

# وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année : 2019

Faculté Sciences de l'Ingénierat  
Département: Electronique

## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : MASTER

**Intitulé:**

**Localisation des sons d'oiseaux  
dans un environnement bruité  
en utilisant les RCSF**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Télécommunication**

**Spécialité : Réseaux et Télécommunication**

**Par :**

**Dali Amira**

**DEVANT Le JURY**

|                              |                   |                   |                   |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Président :</b>           | <b>M.Bousbiaa</b> | <b>Professeur</b> | <b>UBM Annaba</b> |
| <b>Directeur de mémoire:</b> | <b>A.Boulmaiz</b> | <b>MCB</b>        | <b>UBM Annaba</b> |
| <b>Examineur 1:</b>          | <b>D.Messadeg</b> | <b>Professeur</b> | <b>UBM Annaba</b> |
| <b>Examineur 2:</b>          | <b>F.Amara</b>    | <b>MCB</b>        | <b>UBM Annaba</b> |

## REMERCIEMENTS

*Je remercie Dieu qui m'a donné naissance, santé et qui m'a guidé dans le chemin de savoir et de la science.*

*En premier lieu, je remercie mon encadreur de mémoire BOULMAIZ AMIRA qui ma guidé tout au long de mon travail et ma aidé à avancer et à faciliter les difficultés.*

*Je tiens à remercier les membres du jury pour m'avoir fait le plaisir d'accepter d'examiner ce travail.*

*J'ajoute aussi un grand merci à l'enseignant DJALEB DJABER et l'ingénieure MERABET TAWOUS qui ont prisent du temps pour me conseiller. Merci pour leurs disponibilités, leurs patiences et leurs bienveillances.*

*Je remercie tous mes collègues, amis et proches qui ma supportés et soutenus durant la période de doute. Un remerciement spécial pour mon ami Chikhaoui Youcef de bien vouloir partager son expérience avec moi, pour son écoute et son soutien.*

*Enfin, j'adresse mon plus sincère remerciement à ma famille et mes parents qui m'accompagnés, aidés, soutenus et encouragés tout au long de la réalisation de cette mémoire.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail...*

*A ma mère qui ma a comblé et qui me comblent toujours d'amour et qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation ...*

*A mon père qui est toujours un exemple pour moi, et qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté est la clé de succès...*

*A toutes mes amies que Je les aime beaucoup, et qui m'ont aidé de loin ou de près durant les moments difficiles.*

## Résumé (en Arabe) :

يهاجر حوالي 10,000 نوع من الطيور المائية إلى الجزائر كل عام ، خاصة في مناطق الشمال الشرقي و ذلك بسبب رطوبتها ، لكن هذا العدد في تناقص مستمر بسبب انقراض بعض الأنواع ، مثل البط الحديدي و البط أبيض الرأس . فان الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تطوير نظام يعتمد على شبكات الاستشعار اللاسلكية لمراقبة هذه الطيور وتحديد مواقعها وفقاً لأصوات كل نوع منها.

بما أن بينتنا مليئة بالضوضاء، فهذا يمثل عقبة أمام التحديد الدقيق لأنواع الطيور. في الواقع ، عمر البطاريات لأجهزة الاستشعار اللاسلكية محدود إلى حد ما ، لذا يجب أخذ هذا العامل في الاعتبار عند دراسة طريقة تحديد موقع أصوات الطيور من أجل استخدام امثل لطاقة عقد الاستشعار اللاسلكية. أدى ذلك بنا إلى العمل على تقليل هذه الضوضاء البيئية مع استهلاك اقل للطاقة.

في هذا السياق ، أقدم هنا طريقة توطين تستوفي كلا المعيارين ، وتستند هذه الطريقة إلى الفرق في وقت الوصول باستخدام شبكة الاستشعار اللاسلكية المجهزة بالميكروفونات وتعتمد على تشغيل العقدة التي تلتقط أعلى طاقة (الأقرب إلى مصدر الصوت) ووضع الآخرين في وضع الاستعداد لاستهلاك اقل للطاقة لإطالة عمر شبكة الاستشعار اللاسلكية لدينا.

توضح النتائج التجريبية لتحديد موقع أصوات الطيور في بيئة صاخبة أن الطريقة المعتمدة لتقدير مواقع الطيور الحقيقية باستخدام شبكة الاستشعار اللاسلكية فعالة للغاية وتعمل بشكل مرضٍ مقارنة بطرق تحديد الموقع الأخرى. بالإضافة إلى ذلك ، تم تحسين أداء التوطين وحصانة الضوضاء واستهلاك الطاقة بشكل كبير ، مما يشير إلى أن هذا هو النهج المناسب وكذلك أن التعقيد الحسابي لطريقة الفرق في وقت الوصول هو أقل تكلفة مما يجعله مناسباً للتنفيذ على عقد الاستشعار اللاسلكية.

الكلمات الأساسية: شبكات الاستشعار اللاسلكية ، بيئة صاخبة ، الفرق في وقت الوصول ، توطين أصوات الطيور، استهلاك الطاقة

## Résumé (en Français) :

Environ 10 000 espèces d'oiseaux d'eau migrent en Algérie chaque année, en particulier dans les régions du nord-est en raison de leur humidité, mais ce nombre diminue constamment en raison de l'extinction de certaines de ces espèces, telles que Fuligule nyroca et l'érisature à tête blanche. Donc l'objectif principal de ce travail est de développer un système basé sur les réseaux de capteurs sans fil pour surveiller ces oiseaux et déterminer leurs emplacements en fonction des sons de chaque type.

Étant donné que notre environnement est plein de bruit, cela constitue un obstacle à une identification exacte et précise des espèces d'oiseaux. En effet, les batteries des capteurs sans fil ont une durée de vie plus au moins limitées, Ce facteur doit être pris en compte lors d'étude de la méthode de localisation des sons d'oiseaux pour une utilisation optimale de l'énergie des noeuds sans fil. Cela nous a conduit à travailler pour minimiser ce bruit environnemental avec une moindre consommation d'énergie.

Dans ce contexte, je présente ici une méthode de localisation qui répond à ces deux critères, cette méthode est basée sur la différence de temps d'arrivée (TDOA) en utilisant les RCSF équipés de microphones et consiste à mettre en marche le nœud qui capte la plus grande puissance (le plus proche de la source sonore) et mettre en veille les autres qui possèdent une faible puissance afin de prolonger la durée de vie de notre réseau de capteurs sans fil.

Les résultats expérimentaux pour la localisation des sons d'oiseaux dans un environnement bruyant démontrent que la méthode adoptée pour estimer les vraies positions d'oiseaux utilisant les RCSF est très efficace et fonctionne de manière satisfaisante par rapport aux autres méthodes de localisation. De plus, les performances de la localisation, l'immunité au bruit et la consommation d'énergie sont considérablement améliorées, ce qui indique que c'est une approche appropriée ainsi que la complexité de calcul du TDOA est moins coûteuse ce qui le rend adéquat pour une mise en œuvre sur des nœuds de capteurs sans fil.

Mots clés : réseau de capteurs sans fil, environnement bruyant, TDOA, localisation des sons d'oiseaux, consommation d'énergie.

## Résumé (en Anglais) :

---

About 10,000 species of waterbirds migrate to Algeria each year, especially in northeastern regions due to their wetness, but this number is decreasing continuously due to the extinction of some of those species, such as *Aythya nyroca* and white-headed duck.

So the main objective of this work is to develop a system based on wireless sensor networks to monitor these birds and determine their locations according to the sounds of each type.

Since our surroundings are full of noise, this will constitute an impediment to an accurate identification of bird species. In fact, the batteries of wireless sensors have a life more or less limited, This factor must be taken into account when studying the method of locating bird sounds for an optimal use of the wireless nodes energy. This has led us to work to minimize this environmental noise with less energy consumption.

In this context, I present here a method of localization that meets both criteria, this method is based on the time difference in arrival (TDOA) using the WSN equipped with microphones and is to start the node that captures the highest power (the closest to the sound source) and put others on standby with low power to extend the life of our wireless sensor network.

Experimental results for locating bird sounds in a noisy environment demonstrate that the method adopted for estimating true bird positions using WSN is very efficient and functions satisfactorily compared to other locating methods. moreover, localization performances, noise immunity and energy consumption are significantly improved, which indicates that this is an appropriate approach as well as the computational complexity of TDOA is less costly which makes it suitable for implementation on wireless sensor nodes.

Key words: wireless sensors network, noisy environment, TDOA, localization of bird sounds, energy consumption.

## Liste des abréviations

---

**RCSF** Réseaux de Capteurs Sans Fil.

**TDOA** Time Difference Of Arrival : Mesure de la différence des temps d'arrivée.

**AOA** Angle Of Arrival : Angles d'arrivée.

**RSSI** Received Signal Strength Indicator : indicateur de puissance de signal à la réception.

**GPS** Global Positioning System : (Système de positionnement par satellites)

**MUSIC** : Multiple Signal Classification

**TOA** : Time Of Arrival : temps d'arrivée

**SNR** : rapport Signal sur Bruit

## Liste des tableaux

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tableau 1.1:</b> Les points de différence entre réseaux de capteurs sans fil et réseaux ad-hoc. | <b>11</b> |
| <b>Tableau 1.1 :</b> Résumé des principales techniques de radiolocalisation.                       | <b>23</b> |
| <b>Tableau 3.1 :</b> paramètres de simulation.   | <b>29</b> |

## Liste des figures

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure 0.1</b> Erismature à tête blanche, Fuligule nyroca     | <b>1</b>  |
| <b>Figure 1.1</b> Architecture de la communication d'un RCSF     | <b>8</b>  |
| <b>Figure 1.2</b> Réseaux de capteurs sans fil vs réseaux ad_hoc | <b>8</b>  |
| <b>Figure 1.3</b> Composants d'un capteur                        | <b>9</b>  |
| <b>Figure 1.4</b> Exemple d'un capteur                           | <b>10</b> |
| <b>Figure 1.5</b> Déploiement aléatoire                          | <b>12</b> |
| <b>Figure 2.1</b> Taxonomie des méthodes de localisation         | <b>16</b> |
| <b>Figure 2.2</b> Source à la position c                         | <b>20</b> |
| <b>Figure 2.3</b> Triangulation à partir de deux TDOA            | <b>29</b> |
| <b>Figure 2.4</b> La trilatération                               | <b>31</b> |
| <b>Figure 2.5</b> Multi-latération                               | <b>31</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure 2.6</b> Triangulation  | <b>32</b> |
| <b>Figure 3.1</b> Localisation Hyperbolique utilisant la méthode TDOA du son clair de 10 oiseaux( cas idéal)   | <b>28</b> |
| <b>Figure 3.2</b> Localisation Hyperbolique utilisant la méthode TDOA du son de 10 oiseaux perturbé par un bruit continu (exp : le vent) avec (a) SNR= 20 dB, (b) SNR= 15 dB, (c) SNR= 10 dB et (d) SNR= 5 dB                      | <b>29</b> |
| <b>Figure 3.3</b> Localisation Hyperbolique utilisant la méthode TDOA du son de 10 oiseaux perturbé par un bruit intermittent(le son du décollage d'un avion) avec (a) SNR= 20 dB, (b) SNR= 15 dB, (c) SNR= 10 dB et (d) SNR= 5 dB | <b>30</b> |
| <b>Figure 3.4</b> Localisation Hyperbolique utilisant la méthode TDOA du son de 10 oiseaux perturbé par un bruit impulsif (un coup de tonnerre) avec (a) SNR= 20 dB, (b) SNR= 15 dB, (c) SNR= 10 dB et (d) SNR= 5 dB               | <b>31</b> |
| <b>Figure 3.5</b> La variation de l'erreur moyenne par rapport au nombre de nœuds-capteurs   | <b>33</b> |
| <b>Figure 3.6</b> La variation de l'erreur moyenne par rapport au nombre de cible (oiseau)   | <b>34</b> |

# SOMMAIRE

## REMERCIEMENTS

## DEDICACE

### Liste des figures

### Liste des abréviations

### Liste des tableaux

### Résumé(en Français)

### Résumé(en Anglais)

### Résumé(en Arabe)

|   |           |
|---|-----------|
| <b>0 .INTRODUCTION GENERALE</b>   | <b>1</b>  |
| 0.1 Problématique   | 1         |
| 0.2 But de projet   | 1         |
| 0.3 Organisation de mémoire   | 2         |
| <b>CHAPITRE 1. Introduction réseaux de capteurs sans fil</b>                      | <b>3</b>  |
| 1.0. Introduction   | 4         |
| 1.1. Les modèles de propagation du signal   | 4         |
| 1.1.1. Le modèle de propagation de signal conjonctif                              | 4         |
| 1.1.2. Le modèle de propagation de signal à écho unique                           | 5         |
| 1.1.3. Le modèle multi-source et multi-capteur                                    | 5         |
| 1.2. Les réseaux de capteurs sans fil   | 6         |
| 1.2.1. Architecture et fonctionnement d'un RCSF                                   | 7         |
| 1.2.2. Caractéristiques et contraintes des réseaux de capteurs                    | 10        |
| 1.3. Conclusion   | 13        |
| <b>CHAPITRE 2. Localisation des sons des oiseaux dans un environnement bruité</b> | <b>14</b> |
| 2.1. Introduction   | 15        |
| 2.2 Pourquoi localiser  | 15        |
| 2.3 Comment localiser   | 16        |
| 2.4. Le bruit d'environnement   | 16        |
| 2.4.1. Caractéristiques et catégories du bruit                                    | 17        |
| 2.5. Méthodes de localisation de la source sonore                                 | 17        |
| 2.5.1. Indicateur de puissance de signal à la réception (RSSI)                    | 17        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.5.2. Angles d'arrivée (AOA)  | 18        |
| 2.5.3. Estimateurs spectraux spatiaux à haute résolution (MUSIC)               | 18        |
| 2.5.4. Estimateurs basés sur un Beam-former                                    | 19        |
| 2.5.5. Estimateurs de différence de temps d'arrivée                            | 20        |
| 2.6. La méthode de localisation TDOA   | 20        |
| 2.6.1. Principe de la localisation à base de TDOA                              | 21        |
| 2.6.2 Comparaison entre les principales techniques de Radiolocalisation        | 22        |
| 2.6.3 Avantages de la méthode TDOA   | 23        |
| 2.7. Algorithmes de localisation   | 24        |
| 2.7.1. La trilatération  | 25        |
| 2.7.2. La multi-latération   | 25        |
| 2.7.3. La triangulation  | 25        |
| 2.8. Conclusion  | 26        |
| <b>CHAPITRE 3. Implémentation et résultats</b>                                 | <b>27</b> |
| 3.1. Introduction  | 28        |
| 3.2. Base de données   | 28        |
| 3.3 Paramètres de simulation   | 28        |
| 3.4 Résultats et discussion  | 29        |
| 3.5 Impact du bruit d'environnement sur la précision de localisation           | 30        |
| 3.6 Comparaison entre les méthodes de localisation<br>(RSSI, AOA, MUSIC, TDOA) | 34        |
| 3.7 Conclusion   | 36        |

## **Conclusion générale**

## **REFERENCES**

## **Annexe**

# Introduction générale

---

## 0.1 Problématique :

Les oiseaux ont un rôle majeur dans la biodiversité. Parmi les faits essentiels des oiseaux : la consommation d'insectes nuisibles à l'agriculture, la dispersion des graines pour le reboisement et la pollinisation des plantes.

Dans ce projet, nous sommes chargés de trouver une technique performante qui permet de connaître la position de certains types d'oiseaux menacés d'extinction tels que : l'Erismature à tête blanche et le Fuligule nyroca, afin de les protéger.

Dans ce contexte, nous présentons ici une méthode de localisation basée sur la différence de temps d'arrivée (TDOA) en utilisant les RCSF.



**Figure 0.1 : Erismature à tête blanche, Fuligule nyroca**

## 0.2 but de projet :

L'objectif principal de ce travail est de développer un système basé sur les

RCSF pour étudier la localisation d'oiseaux en voie de disparition dans le nord d'Algérie. Ce système doit être capable de faire face à deux contraintes majeures:

# Introduction générale

---

\_ Le bruit d'environnement : les sons d'oiseaux observés sont souvent noyés dans ce bruit de l'environnement (tels que le vent, la pluie, etc...), ce qui affecte le bon fonctionnement de tout système de localisation audio . Il est donc nécessaire de prendre des précautions particulières afin d'obtenir des bonnes et valides mesures.

\_ La capacité énergétique des noeuds-capteurs sans fil : En effet, les batteries des capteurs sans fil ont une durée de vie plus au moins limitées, Ce facteur doit être pris en compte lors d'étude de la méthode de localisation des sons d'oiseaux pour une utilisation optimale de l'énergie des noeuds sans fil.

## **0.3 Organisation de mémoire :**

On trouve dans le premier chapitre, une introduction au réseau de capteurs sans fil.

Le deuxième chapitre est important pour la compréhension de technique de travail, il donne une description précise sur les méthodes de localisation et en mettant surtout sur l'accent sur la méthode TDOA choisie.

Dans le troisième chapitre, on trouve tout ce qui concerne la partie pratique et les résultats de simulation obtenus à partir de l'analyse de la méthode de localisation TDOA.

Enfin, une conclusion générale de ce travail est présentée.

# ***CHAPITRE 1***

***Introduction aux réseaux de  
capteurs sans fil***

## 1.0. Introduction :

Dans ce mémoire, notre principal objectif est de contribuer à protéger les espèces d'oiseaux menacés de disparition en les surveillant d'une manière continue à l'aide d'un système de suivi à base de réseaux de capteurs sans fil (RCSF) déployés dans leurs habitats naturels.

Le signal se propage d'une source émettrice (les oiseaux) à un capteur récepteur de différente manière. Trois modèles de propagation du signal sont couramment utilisés: le modèle de propagation conjonctif du signal, le modèle de propagation du signal an écho ùque<sup>1</sup> et le modèle multi-source et multi-capteur.

Sur les nœuds-capteurs sans fil, une méthode de localisation sonore des espèces d'oiseaux y sera implémentée. Cette méthode consiste à activer le nœud qui capture la plus grande puissance (c.àd le capteur le plus proche de la source sonore) et mettre en veille ceux qui capturent une faible puissance afin de mieux gérer la consommation d'énergie dans le réseau de capteurs sans fil.

## 1.1. Les modèles de propagation de signal :

Un modèle de propagation de signal décrit comment un signal est supposé se propagé d'une source émettrice à un capteur récepteur. Trois modèles de propagation du signal sont couramment utilisés: le modèle de propagation conjonctif du signal, le modèle de propagation du signal an écho ùque et le modèle multi-source et multi-capteur.

### 1.1.1 Le modèle de propagation conjonctif :

Le modèle de propagation conjonctif<sup>2</sup> du signal décrit la propagation du signal et le chemin de la source émettrice au capteur récepteur en tant qu'opération de filtrage. La conjonction est équivalente au filtrage ou l'opération est donnée comme suit :

$$x(t) = s(t) * h(t) + n(t) \quad (1.1)$$

---

<sup>1</sup>An écho ùque : qualifie un local dont les parois sont construites de manière à absorber entièrement les ondes sonores qui les frappent.

<sup>2</sup> Conjonctif : sont des tissus qui ont pour principale fonction de servir de soutien et de protéger les autres tissus corporels.

Le modèle de domaine de fréquence correspondant devient alors:

$$X(f) = S(f) * H(f) + N(f) \quad (1.2)$$

- Le filtre  $h(t)$  modélise les propriétés physiques linéaires du chemin de propagation, tel que le temps de propagation et l'atténuation, la propagation multi-chemins et la réverbération.
- Le signal de bruit  $n(t)$  est ajouté au signal reçu au capteur pour modéliser l'environnement et le bruit du capteur.
- Le bruit est généralement considéré comme un bruit gaussien temporellement et spatialement blanc.

Le chemin de propagation conjonctif du signal est généralement très complexe à modéliser, mais le fait que le chemin de propagation du signal puisse être modélisé par un filtre est assumé [1].

### 1.1.2 Le modèle de propagation de signal anéchoïque :

Le modèle de propagation du signal anéchoïque est une simplification du modèle de propagation conjonctif. On suppose ici que le signal se propage dans un environnement anéchoïque et qu'il n'a qu'un seul chemin direct de propagation entre la source et le récepteur, et qu'il n'y a aucun chemin indirect en raison des réflexions de l'environnement.

Le filtre  $h(t)$  du signal conjonctif est réduit pour ne modéliser que le délai de propagation et l'atténuation :

$$x(t) = as(t - \tau) + n(t) \quad (1.3)$$

Le modèle de domaine de fréquence correspondant devient alors :

$$X(f) = aS(f)e^{j\omega\tau} + N(f) \quad (1.4)$$

En raison de la distance de propagation entre la source émettrice et le capteur récepteur, nommé les paramètres de mélange, le signal source  $s(t)$  est soumis seulement à un facteur d'atténuation  $a$  et à un retard  $\tau$  [1].

### 1.1.3 Le modèle de multi-source et multi-capteur :

La localisation des sons d'oiseaux avec les réseaux de capteurs sans fil est centré sur des matrices composées de multiples capteurs.

Les modèles fondamentaux de propagation du signal eux-mêmes ne changent pas pour prendre en compte plusieurs capteurs, sauf dans la dénomination des paramètres des modèles de propagation du signal. Les capteurs individuels dans un réseau de capteurs peuvent être modélisés indépendamment, avec un indice supplémentaire pour désigner un index de capteur.

D'autre part, plusieurs sources interagissent de manière additive les unes avec les autres en raison de la linéarité des modèles de propagation. Par conséquent, les modèles de propagation de signaux multi-sources doivent être étendus pour prendre en compte plusieurs sources. L'interaction additive est simplement la somme de modèles de propagation de signaux à source unique. Ainsi, le modèle de propagation du signal anéchoïque à sources multiples et à capteurs multiples est défini comme suit:

$$x_j(t) = \sum_{i=0}^{i-1} (a_{ij} * s_i(t - \tau_{ij})) + n(t) \quad (1.5)$$

Le modèle de domaine de fréquence correspondant devient alors :

$$X_j(w) = \sum_{i=0}^{i-1} a_{ij} * s_j(w) * e^{-jw\tau_{ij}} + N(w) \quad (1.6)$$

Puisque chaque localisation de source a sa propre combinaison unique de paramètres de mélange, non seulement de leur emplacement dans l'espace physique, mais également du lieu où se trouvent les capteurs de réception, les paramètres de mélange  $a_{i,j}$  et  $\tau_{i,j}$  de la source  $i$  au capteur  $j$  sont défini pour chaque combinaison source / capteur ;  $s_i$  est le signal obtenu de la source sonore[1].

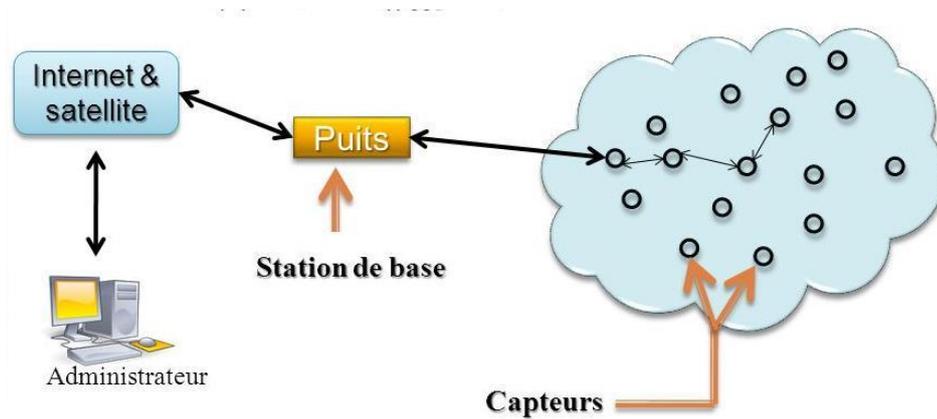
## 1.2. Les réseaux de capteurs sans fil :

Pour protéger certaines espèces d'oiseaux menacés de disparition, nous allons les surveiller d'une manière continue à l'aide d'un système de suivi à base de RCSF déployés dans leurs habitats naturels. Le son émis par les oiseaux sera capté et traité par les nœuds-capteurs sans fil, une méthode de localisation des oiseaux à partir de leurs sons sera implémentée, elle consiste à mettre en marche le nœud qui capte la plus grande puissance (le plus proche de la source sonore) et mettre en veille les autres qui possèdent une faible puissance afin de mieux gérer la consommation énergétique des nœuds et ainsi prolonger la durée de vie de notre réseau de capteurs sans fil.

### 1.2.1. Architecture et fonctionnement d'un réseau de capteurs sans fil:

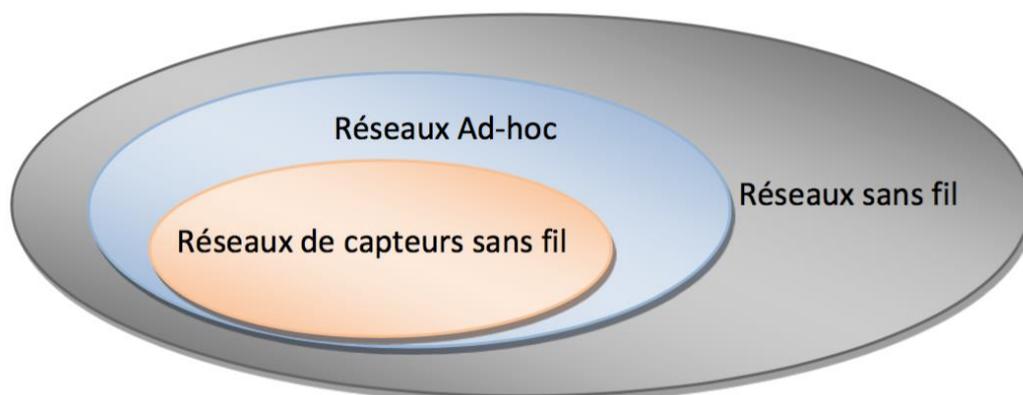
Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) est un réseau ad-hoc d'un grand nombre de nœuds, qui sont des micro-capteurs, communiquant en sans-fil capables de recueillir et de transmettre des données d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée. Ils peuvent être aléatoirement répartis dans une zone géographique, intitulée « champ de captage » correspondant au terrain concerné pour le phénomène capté.

Les données obtenues par les capteurs seront généralement transmises à une entité spécialisée nommée puits. Un puits peut avoir plusieurs fonctions au sein d'un réseau de capteurs. Il peut être un équipement collecteur et disposer d'une puissance de calcul plus élevée ainsi que d'une mémoire de grande capacité pour traiter directement les données reçues. Dans ce cas, un utilisateur pourra donc récupérer manuellement les données à un endroit unique. Le puits peut également disposer d'une interface de communication supplémentaire permettant de le relier aux réseaux standards (réseau privé ou Internet). La portée de transmission des nœuds capteurs peut aller de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres. Cette portée va dépendre de cinq conditions : la localisation (présence d'obstacles, par exemple), la fréquence, la modulation, la puissance d'émission et les conditions météorologiques. Elle représente en quelque sorte le point d'entrée du réseau de capteurs. (Figure 1.1).



**Figure 1.1 :** Architecture de la communication d'un réseau RCSF

Les réseaux de capteurs sans fil ont constitué de milliers des nœuds capteurs (sensors), ils sont considérés comme un type spécial de réseaux ad-Hoc (Figure1.2). Ils s'apportent une perspective intéressante : celle de réseaux capables de s'auto-configurer et de s'autogérer sans qu'il y ait besoin d'interventions humaines. Les nœuds sont généralement déployés de manière aléatoire à travers une zone géographique, appelé zone d'intérêt « *champ de captage* ».



**Figure1.2:** Réseaux de capteurs sans fil vs Réseaux Ad-hoc

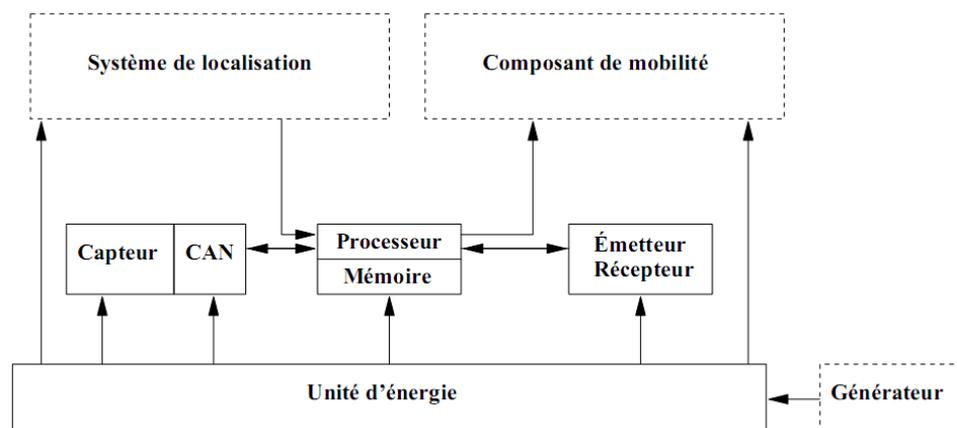
#### a) Les composants logiciels :

La contrainte énergétique des capteurs exige l'utilisation de systèmes d'exploitation légers tels que TinyOS (OpenSource) et son langage de programmation NesC, Contiki et Mantis OS [2]. Cependant, TinyOS reste toujours le plus utilisé et le plus populaire dans le domaine des RCSF. Il est libre et est utilisé par une large communauté de scientifiques dans des Simulations pour le développement et le test des algorithmes et protocoles réseau.

**b) Les composants matériels:**

Un capteur est généralement composé de quatre unités principales [3] illustré dans la Figure 1.3:

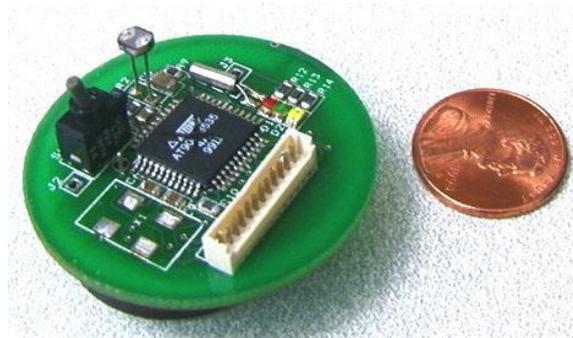
- **L'unité d'acquisition:** l'unité d'acquisition est composée d'un ou plusieurs capteurs qui vont obtenir des mesures numériques sur les paramètres environnementaux (température, pression, humidité, le bruit, les vibrations et les changements du paramètre d'état de la personne, par exemple la pression artérielle et le rythme cardiaque) et d'un convertisseur Analogique/Numérique (CAN) qui va convertir l'information relevée et la transmettre à l'unité de traitement.
- **L'unité de traitement:** l'unité de traitement est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une interface pour l'unité de transmission. Cette unité est également composée d'un processeur et d'un système d'exploitation spécifique. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de transmission.
- **L'unité de transmission :** l'unité de transmission est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication radio.
- **L'unité d'énergie (Power unit) :** C'est la batterie qui, n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de la conception de protocoles pour les réseaux de capteurs.



**Figure 1.3:** Composants d'un capteur [4]

D'autres composants peuvent être ajoutés à un nœud capteur, comme un système de localisation (GPS: *Global Positioning System* qui est un système de géo localisation fonctionnant au niveau mondial et reposant sur l'exploitation de signaux radio émis par des satellites dédiés), un composant de mobilité pour le rendre mobile, un générateur d'énergie, etc.

Les principaux avantages des nœuds capteurs sont : leur taille réduite voir (Figure1.4), leur très faible consommation électrique et surtout leur capacité à communiquer sans fil (ce qui permet une grande liberté de mouvement par rapport aux nœuds filaires).



**Figure1.4** :exemple d'un capteur

Comme nous pouvons le constater, la cadence des processeurs des nœuds capteurs est bien inférieure à celle des derniers terminaux de poche apparus sur le marché (8 ou 16 MHz contre plusieurs cœurs et une vitesse dépassant 1 GHz). La force des réseaux de capteurs ne repose pas sur les capacités d'un seul équipement mais provient de leur capacité à collaborer. Le faible coût des nœuds capteurs permet d'en déployer un grand nombre pour couvrir de larges zones.

### **1.2.2. Caractéristiques et contraintes des réseaux capteurs:**

Les réseaux de capteurs sans fils ont apparentés aux réseaux ad-hoc. En effet, ces deux types de réseaux ont de nombreux points communs:

- réseaux sans infrastructure,
- architecture décentralisée,
- autonomie,
- utilisation d'ondes radio pour communiquer.

Les points de différence entre les deux réseaux illustrés dans le tableau suivant:

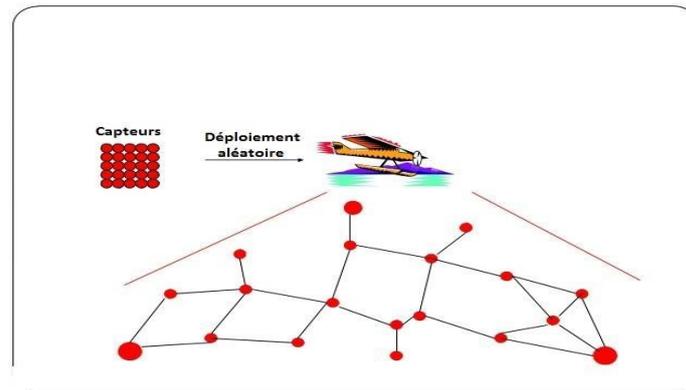
| Capteurs  | Ad-hoc  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• La densité des nœuds d'éployés est beaucoup plus importante</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La densité des nœuds d'éployés moins importante</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les nœuds ont capacités limitées en énergie et mémoire</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacités illimitées</li> </ul>                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les capteurs peuvent ne pas avoir un identifiant global</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Notion d'id</li> </ul>                                     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nœuds collaborent pour remplir un objectif</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chaque nœud a son propre objectif</li> </ul>               |

**Tableau 1.1:** Les points de différence entre réseaux de capteurs sans fil et réseaux ad-hoc [4]

Dans cette section, nous allons montrer les différentes caractéristiques liées aux réseaux de capteur telles que le déploiement, la couverture, l'énergie, la mobilité et l'identification, etc.

#### a) **Déploiement:**

Le déploiement des capteurs est la première opération (phase) dans le cycle de vie d'un réseau de capteurs. On peut envisager plusieurs formes de déploiements selon les besoins des applications. Les nœuds peuvent être déployés aléatoirement d'un avion par exemple, ou bien ils peuvent être placés un par un d'une manière déterministe par un humain ou un robot. Le déploiement peut être fait d'un seul coup ou bien peut être un processus continu en redéployant d'autres capteurs dans une même zone. Dans un grand nombre d'applications, le déploiement manuel est impossible. De plus, même lorsque l'application permet un déploiement déterministe, le déploiement aléatoire est adopté dans la majorité des scénarios à cause de raisons pratiques tels que le coût et le temps (Figure 1.5). Cependant, le déploiement aléatoire ne peut pas fournir une distribution uniforme sur la région d'intérêt, ce qui déclenche de nouveaux problèmes dans les réseaux de capteurs. Les principaux problèmes engendrés sont la localisation, la couverture de la zone, et la sécurité.



**Figure 1.5:** Déploiement aléatoire.

### b) Localisation:

Comme les capteurs sont lâchés aléatoirement, chaque capteur doit définir lui-même sa position, pour pouvoir délivrer une information complète aux administrateurs. La localisation sert en particulier à identifier l'origine géographique de l'information (d'où vient-elle?). La majorité des applications exige la connaissance de la position physique des nœuds pour pouvoir localiser les événements. La question qui suit immédiatement la détection d'un événement est « où se passe-t-il? », sans connaître leurs positions, les nœuds seront incapables de répondre à une telle question.

Plusieurs techniques de localisation sont disponibles. La première et la plus développée est l'utilisation du GPS (Global Positioning System). Cette technique n'est pas applicable à l'ensemble du réseau de capteurs, car elle est bien trop coûteuse du point de vue financier comme du point de vue énergétique. Pour réduire ce coût, on a proposé d'autres approches qui consistent à équiper une partie des capteurs d'un module GPS, permet tant de se localiser grâce aux coordonnées terrestres (longitude et latitude). Une fois leurs coordonnées absolues récupérées, ces nœuds émettent leur position autour d'eux, qui servira ensuite de repères aux autres (ceux n'étant pas équipés de module GPS) pour qu'ils puissent à leur tour se localiser. Une deuxième technique de localisation consiste à déployer un seul nœud mobile au lieu de plusieurs équipés par un GPS. Une fois déployé le mobile traverse toute la zone en diffusant des informations autour de lui pour aider les nœuds à trouver leurs positions.

### c) Couverture :

Un nœud capteur permet de surveiller une zone appelée zone de couverture. Après un déploiement aléatoire une des questions fondamentales qui se pose après la localisation est la couverture. Elle consiste à déterminer le degré de couverture de la zone d'intérêt. On peut

distinguer trois sortes de couverture. La couverture «clairsemée», où les nœuds déployés assurent la couverture d'une partie de la zone d'intérêt. La couverture «dense», dans ce cas la zone est presque complètement couverte. La couverture «redondante», où on peut trouver des zones couvertes plusieurs fois par plusieurs nœuds. En général, la couverture peut être considérée comme la mesure de la qualité de service d'un réseau de capteurs. Par ailleurs, une mauvaise répartition des capteurs engendrera une perte de certains nœuds qui n'auront pas de voisins et qui par conséquent seront isolés et déconnectés du réseau.

#### **d) Sécurité :**

Comme les nœuds sont dispersés dans une zone publique et ouverte, ils doivent être capables de maintenir privées les informations qu'ils recueillent. Par conséquent, la sécurité des données dans les réseaux de capteurs devient encore plus significative. Ceci consiste à concevoir des protocoles pour assurer la sécurité des communications. La difficulté du problème vient de nombreuses limitations dont le déploiement aléatoire ou on ne doit pas présumer une connaissance préalable de voisinage.

#### **e) Énergie et durée de vie :**

La durée de vie est un élément essentiel pour tout réseau de capteurs sans fil. Le but de n'importe quelle application est d'avoir des nœuds placés sur le terrain pour des mois ou des années. Le principal facteur limitant la durée de vie d'un réseau de capteurs est l'énergie. Comme la seule source d'énergie d'un capteur est une batterie à durée de vie limitée, l'optimisation énergétique doit être prise en considération quelque soit le problème traité. Donc il est très important que les batteries durent le plus longtemps possible, étant donné que dans la plupart des applications il est impossible de retourner les changer.

Plusieurs solutions, à la fois matérielles et logicielles, ont été proposées afin d'optimiser

la consommation d'énergie pour maximiser la durée de vie du réseau de capteurs. Par exemple, l'utilisation de piles à combustible qui atteignent des performances bien supérieures aux batteries classiques. Au niveau logiciel, le but est de concevoir des algorithmes non complexes distribués pour minimiser la consommation d'énergie, et des protocoles (routage par exemple) à moindre communication. Diverses approches ont été proposées dans ce domaine.

**1.3 Conclusion :**

La localisation d'une source sonore présente un intérêt considérable et une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information.

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté les modèles de propagation du signal, et les différentes méthodes de localisation d'une source sonore.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons en général les sources sonores et en particulier la localisation des sons d'oiseaux dans leur habitat réel (environnement bruité).

## ***CHAPITRE 2***

### ***Localisation des sons d'oiseaux dans un environnement bruité***

### 2.1 Introduction

L'énergie est la ressource la plus précieuse dans un réseau de capteurs sans fil (RCSF). En général, les nœuds capteurs embarquent une quantité d'énergie très limitée et presque jamais renouvelable dont la ressource est généralement une batterie. La gestion de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil présente un problème complexe à plusieurs contraintes, ce qui a motivé une grande partie des recherches dans cet axe. Le but de la conservation de l'énergie dans les RCSF vise surtout à augmenter la durée de vie d'un nœud capteur et par la suite du réseau tout entier, ce qui assure la disponibilité des différents services fournis par le réseau.

Les réseaux de capteurs sans fil sont composés de plusieurs capteurs (nœuds) et peuvent communiquer entre eux sans fil et qui sont généralement alimentés par une batterie d'une quantité d'énergie très limitée et presque jamais renouvelable, l'objectif d'optimiser la consommation de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil vise surtout à augmenter la durée de vie d'un nœud capteur et le bon fonctionnement du réseau à long terme, ce qui assure la disponibilité des différents services fournis par ces réseaux[5]. Les RCSF sont censés capturer, traiter et transmettre les caractéristiques acoustiques des oiseaux. Dans ce mémoire, nous nous intéressons à la consommation énergétique des nœuds-capteurs sans fil. Un nœud contient souvent un ensemble d'appareils à faible puissance sans entretien tels que microcontrôleur, des mémoires, un ou plusieurs capteurs, pile et un module radio pour la communication, l'objectif est d'augmenter la durée de vie de ces faibles appareils, c'est un problème de la gestion d'énergie (la pile) [6].

Il existe plusieurs techniques de localisation dans les milieux sauvages et nous choisirons la plus appropriée à notre application. De plus, nous allons présenter un état de l'art sur les méthodes de localisation des sons des oiseaux, la TDOA est la méthode choisie qu'on va la voir en détail dans ce chapitre.

### 2.2 Pourquoi localiser ?

La localisation dans les réseaux de capteurs déployés de manière aléatoire dans la zone de surveillance, en raison soit de l'hostilité de la zone à surveiller, soit de son immensité est donc nécessaire pour les raisons suivantes :

- ✓ L'utilisation des capteurs équipés du GPS est trop coûteuse du point de vue financier comme du point de vue énergétique.

- ✓ Identifier l'origine de l'information (d'où vient-elle?) et détecter la place d'un événement est « où se passe-t-il? »
- ✓ Aidera le bon fonctionnement des services des réseaux tels que le routage et les services géolocalisation.

### 2.3 Comment localiser ?

D'une manière générale, presque tous les algorithmes de localisation de réseaux de capteurs partagent deux phases principales :

- Estimation des distances : Cette phase comprend des techniques de mesure pour estimer la distance relative entre les nœuds.
- Algorithme de localisation : les algorithmes de localisations ont utilisés à fin de calculer les positions finales en se basant sur d'une part les positions de quelques nœuds du réseau (appelés ancres ou « beacons ») et d'autre part sur les estimations inter-nœuds. La taxonomie des méthodes de localisation est illustré dans la Figure 2.1.

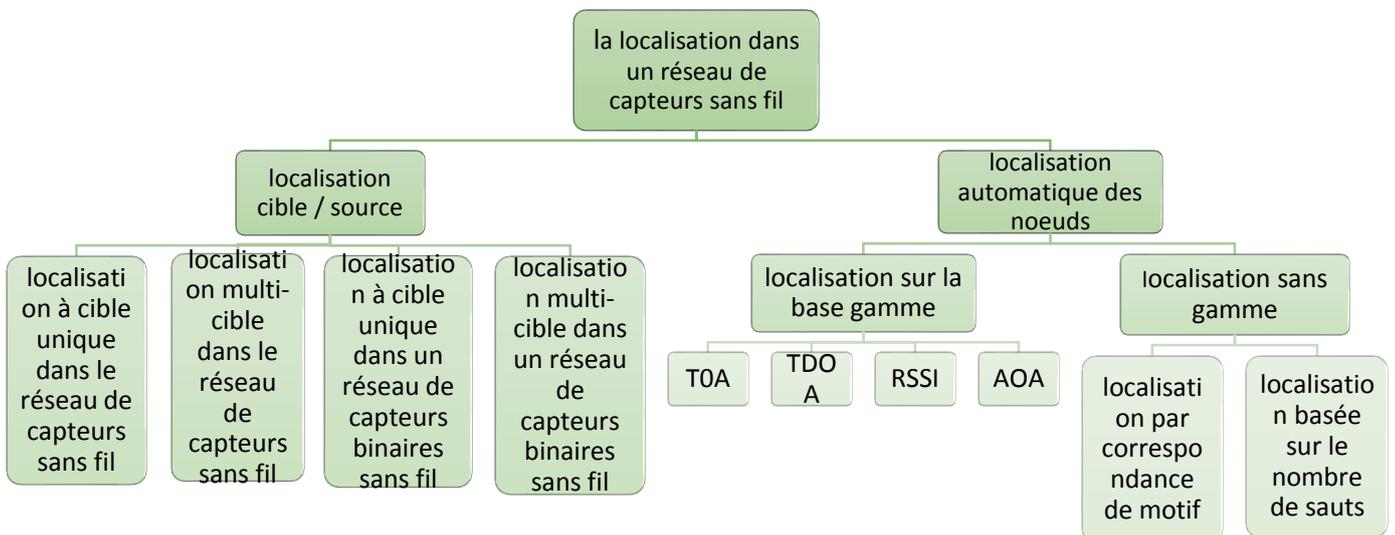


Figure2.1 Taxonomie des méthodes de localisation

### 2.4 Le bruit d'environnement

L'enregistrement d'un son clair n'est pas une tâche facile lorsqu'il s'agit d'enregistrer celui d'un oiseau vivant dans un environnement bruyant comme il est le cas des oiseaux que nous souhaitons étudier. En effet, les oiseaux sont entourés par divers sons incluant la parole humaine, les cris d'animaux, la circulation mais aussi les sons créés par les phénomènes naturels comme les intempéries (par exemple :le vent, la pluie et le tonnerre).

Le bruit de l'environnement, quelle que soit sa nature, rend difficile, voire impossible la mesure et l'acquisition des sons d'oiseaux dans leurs habitats naturels. En effet, les sons d'oiseaux observés sont souvent noyés dans ce bruit d'environnement. Il est donc nécessaire de prendre des précautions particulières afin de réaliser des mesures valides. Ceci peut être réalisé avec des équipements spéciaux, tels que des microphones directionnels, pour assurer un bon SNR [7].

#### 2.4.1 Caractéristiques et catégories du bruit

On peut diviser les bruits d'environnement selon leur évolution temporelle en trois catégories : Le bruit continu, le bruit intermittent et le bruit impulsif.

- *Le bruit continu* est globalement constant dans le temps, de même que le niveau de pression acoustique et le spectre. Exemple : la pluie, le vent, etc.
- *Le bruit intermittent* se caractérise par une succession de phases de bruits comportant chacune un niveau et un spectre de fréquences différents. Exemple : le passage d'un avion ou d'un véhicule, le cri d'un animal, etc.
- *Le bruit impulsif* est un événement sonore bref caractérisé par une haute valeur de crête de la pression acoustique. Exemple : le tonnerre, l'explosion d'une mine, etc. [7].

### 2.5 Méthodes de localisation de la source sonore :

Plusieurs techniques sont développées pour les estimations des distances entre les nœuds voisins. Parmi lesquelles nous trouvons:

### 2.5.1 Indicateur de puissance de signal à la réception (*ReceivedSignal Strength Indication*RSSI)

La mesure de la puissance d'un signal radio reçu ou RSSI est très simple, gratuite et non intrusive. Chaque nœud peut mesurer la puissance du signal reçu pour chaque paquet de données entrant sans impacter ni la bande passante ni l'énergie. Une estimation de la distance entre l'émetteur du paquet et le récepteur est obtenue à partir de cette puissance du signal reçu en connaissant la puissance du signal émis et le modèle d'atténuation utilisé «Pathloss». Le modèle le plus utilisé est basé sur le log normal shadowing.

### 2.5.2 Angles d'arrivée (*Angle of Arrival*AoA)

L'angle d'arrivée (AoA) n'est pas basé sur le signal radio seulement, est une technique permettant d'estimer l'AoA du signal de l'ancre par rapport à une référence. Cette méthode consiste à définir une direction entre deux nœuds. La direction (l'angle) est généralement recueillie par la radio et un ensemble de microphones, qui permettent à un nœud écouteur de déterminer sa direction par rapport à l'émetteur et avec des relations géométriques simple son peut calculer les positions des nœuds.

### 2.5.3 Estimateurs spectraux spatiaux à haute résolution (MUSIC) :

Les méthodes basées sur une estimation spectrale spatiale à haute résolution peuvent être décrites grossièrement comme des méthodes basées sur la matrice de corrélation spatiale des signaux de capteur reçus.

Ces méthodes d'estimation de la direction d'arrivée sont étroitement liées à l'estimation du spectre temporel mais sont utilisées dans le domaine spatial plutôt que dans le domaine temporel, raison pour laquelle elles sont appelées estimateurs spectraux spatiaux.

L'estimateur MUSIC (Multiple Signal Classification) est un exemple d'estimateur spectral spatial à haute résolution pour la localisation de la source. Il est basé sur la décomposition de la matrice de corrélation spatiale en vecteurs propres qui couvrent l'espace d'un ensemble de signaux à bande étroite et l'espace de bruit restant. C'est un algorithme proche de corrélation, il satisfait les conditions de consommation d'énergie afin de prolonger la vie des nœuds de capteurs.

Dans sa forme initiale, il s'agissait d'une méthode d'estimation de la direction d'arrivée par champ lointain utilisant un réseau de capteurs linéaires uniformes, mais elle a ensuite été étendue pour l'estimation de l'emplacement de la source du réseau de capteurs arbitraires.

Bien qu'elle se concentre sur les sources à bande étroite, une source à large bande telle que la parole peut être décomposée en signaux à bande étroite par une décomposition temps-fréquence, tels que les signaux de sous-bande d'un banc de filtres.

MUSIC est limité par le fait que le nombre de sources doit être inférieur au nombre de capteurs.

Bien que les estimateurs spatiaux spectraux puissent être utilisés pour la localisation de sources de la voix, ils sont généralement sensibles aux erreurs de positionnement des capteurs et aux signaux cohérents provenant des trajets de réflexion.

### 2.5.4 Estimateurs basés sur un Beam-former<sup>1</sup> :

Si nous avons plusieurs microphones agencés pour constituer un réseau de microphones, nous pouvons combiner les signaux de ces microphones de telle sorte que l'effet sera d'écouter dans la direction de la source sonore souhaitée. Cela signifie également que le faisceau doit être orienté selon la direction souhaitée. Ce processus s'appelle *Beamforming*. Un réseau de microphones est capable de changer électroniquement la direction de la recherche et de suivre les mouvements du son.

*Beamforming* est l'une des méthodes les plus simples d'amélioration de parole pour discriminer les signaux en fonction de l'emplacement physique de la source. Elle est utilisée pour la transmission ou la réception directionnelle de signaux. Un appareil de *Beamforming* ajuste la phase des signaux de telle sorte que les signaux provenant de la direction souhaitée soient alignés pour former un motif d'interface constructif. Les sons provenant d'autres directions ont un effet destructeur, ce qui signifie que dans la plupart des cas, une source sonore provenant d'une direction différente de la direction souhaitée sera supprimée dans une certaine mesure. En utilisant la technique de formation de faisceau, le réseau de microphones tente d'obtenir des signaux de parole de haute qualité pour la communication en champ lointain.

La base d'un *beamformer* est donnée par l'équation suivante:

$$y(t) = \sum_{j=0}^{j-1} x_j(t + T(p_{j,s})) \quad (2.1)$$

---

<sup>1</sup>Beam-former : ou le filtrage spatial est une technique de traitement de signal utilisée dans des réseaux de capteurs pour la transmission ou la réception de signaux directionnels.

Le nom est dérivé des opérations qu'il effectue: retarder les signaux du capteur et les additionner pour produire la sortie du *beamformer*. Les signaux reçus par le capteur sont alignés dans le temps par rapport au retard de propagation  $T(p_j, s)$  entre l'emplacement de la source  $s$  et l'emplacement du capteur  $p$ , et sommés de manière cohérente pour produire le signal de sortie du *beamformer*. Les signaux capturés sont ensuite alignés dans le temps et ajoutés de manière constructive pendant la phase de sommation.

Les signaux provenant d'autres emplacements ne seront pas alignés dans le temps et seront ajoutés de manière destructive lors de la phase de sommation, à condition qu'aucun pseudonyme spatial ne se produise. Cela atténue efficacement les signaux provenant de l'extérieur du point de focalisation du *Beamformer*[8].

### 2.5.5 Estimateurs de différence de temps d'arrivée

Dans cette catégorie, la différence entre les temps d'arrivée du signal à deux microphones est estimée à géométrie connue du réseau de microphones. Un exemple pour estimer la différence de temps entre deux capteurs aux positions  $p_i$  et  $p_j$  est donné par:

$$T(p_i p_j, c) = \frac{(\|c-p_i\| - \|c-p_j\|)}{v} \quad (2.2)$$

Les estimateurs spectraux à haute résolution seront laissés de côté et la discussion précédera avec TDOA estimateurs ainsi que des estimateurs de puissance à réponse pilotée.

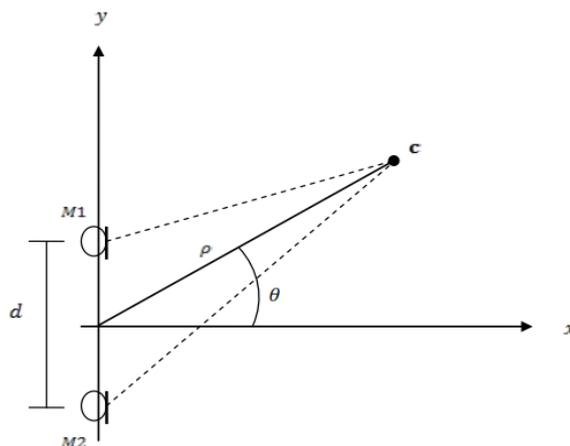


Figure 2.1. Source à la position  $c$

La figure 2.2 montre une configuration avec une matrice de 2 capteurs (M1 et M2) pour la capture du son. La direction de la source en position  $c$  correspond à l'angle qu'il ajoute

entre le centre des 2 capteurs et l'axe perpendiculaire à l'axe de la matrice. Le facteur de décomposition  $\rho$ .

### 2.6 La méthode de localisation TDOA :

L'approche classique de l'estimation TDOA consiste à calculer la corrélation croisée entre les signaux arrivant à deux stations de base. L'estimation TDOA est considéré comme le délai, ce qui maximise la fonction de corrélation croisée. La fonction de corrélation croisée est également utilisé pour déterminer à quelle station de base le signal arrive en premier. Ces deux informations donnent une courbe de localisation hyperbolique.

Nous pouvons localiser l'émetteur sans fil en résolvant deux équations de courbe hyperbolique. Il est nécessaire que les générateurs de code de chaque récepteur soient synchronisés afin que les estimations TDOA aient une base de temps commune. Cette forme de localisation radio est utile dans un système asynchrone, car le temps de transmission n'a pas besoin d'être connu. En interprétation géométrique, cette procédure se réduit à la recherche de l'intersection d'hyperboles dont les foyers sont situés au niveau des récepteurs. Pour déterminer l'emplacement d'un émetteur en deux dimensions, il faut au moins trois récepteurs.

#### 2.6.1 Principe de la localisation à base de TDOA

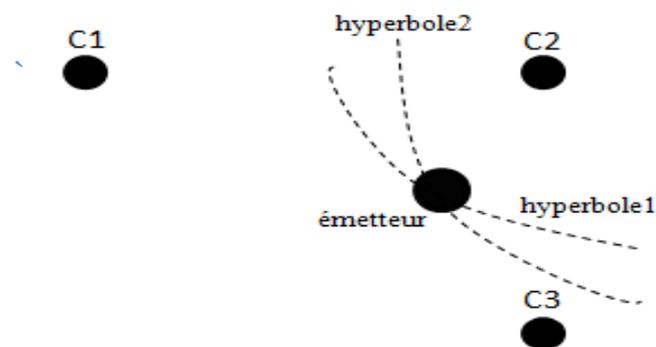
Les systèmes dits hyperboliques sont basés sur l'exploitation de la différence du temps d'arrivée entre les éléments de deux ou plusieurs paires de récepteurs. La TDOA entre les éléments d'un couple de récepteurs  $i$  et  $j$  est exprimée sous la forme:

$$TDOA_{i,j} = \tau_i - \tau_j = \frac{d_i - d_j}{c} = \frac{d_{i,j}}{c} \quad (2.3)$$

Avec  $c$  la vitesse de propagation des ondes dans le milieu considéré et  $d$  la distance de chaque trajet. Une façon d'accéder à la TDOA est de mesurer le retard des signaux arrivant au niveau de chaque récepteur et effectuer leur différence. Comme généralement dans le cas des systèmes utilisant cette technique, les récepteurs ne sont pas synchronisés avec l'émetteur mais uniquement entre eux, la TDOA mesurée ainsi va inclure des résultats qui sera en revanche identique à cause de la synchronisation entre les récepteurs. Une autre technique d'estimer la TDOA est la corrélation entre les signaux reçus au niveau des différents

récepteurs. L'inconvénient de cette méthode est que, dans les environnements multi-trajets avec du bruit colorés les performances se dégradent considérablement [9].

Dans cette technique, on se base sur la différence de distance entre l'objet à détecter et un couple de capteurs. Cette différence de distances est équivalente à la différence entre les temps d'arrivée du signal au couple de capteurs (TDOA). En combinant l'information obtenue à partir de plusieurs couples de capteurs, il est possible de déterminer la position exacte de l'objet à détecter. Cette position correspond à l'intersection des lieux (hyperboles) obtenus à partir de la TDOA estimée par chaque couple comme indiqué en Figure 2.3. A titre d'exemple, l'hyperbole 1 de la Figure 1 correspond à la différence entre les distances émetteur-C1 et émetteur-C2.



**Figure 2.3 Triangulation à partir de deux TDOA**

L'avantage principal de cette méthode est qu'il n'est pas nécessaire d'effectuer une synchronisation entre l'émetteur et le récepteur. Par contre, une synchronisation entre les différents capteurs est classiquement requise. En effet, l'estimation de la TDOA est effectuée en calculant la corrélation entre les signaux reçus par les capteurs [10].

### 2.6.2 Comparaison entre les principales techniques de Radiolocalisation :

| Techniques de radiolocalisation  | Avantages   | Inconvénients   |
|--|---|---|
| Technique basée sur la puissance des signaux reçus (RSS)                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût d'implantation peu élevé</li> <li>- Disponibilité des modèles mathématiques d'atténuation</li> <li>- Algorithme de positionnement simple</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessité d'avoir le trajet direct</li> <li>- Précision faible</li> <li>- Performance mauvaise dans un canal ayant un profil de propagation par trajets multiples sévère</li> </ul>                                      |
| Technique basée sur l'angle d'arrivée des signaux reçus (AOA)                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Moins de stations de base fixes nécessaires</li> <li>- Algorithme de positionnement simple</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessité d'avoir le trajet direct</li> <li>- Coût d'implantation élevé</li> <li>- Précision faible</li> <li>- Performance mauvaise dans un canal ayant un profil de propagation par trajets multiples sévère</li> </ul> |
| Technique basée sur le temps d'arrivée des signaux reçus (TOA)                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paramètres généralement bien estimés</li> <li>- Algorithme de positionnement simple</li> <li>- Précision plus élevée en milieu confiné</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Synchronisation d'horloge nécessaire entre le mobile et les stations de base</li> <li>- Nécessité d'avoir le trajet direct</li> <li>- Nécessité d'une résolution temporelle élevée au récepteur</li> </ul>               |
| Technique basée sur la différence des temps d'arrivée des signaux reçus (TDOA) - | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paramètres généralement bien estimés</li> <li>- Algorithme de positionnement simple</li> <li>- Précision plus élevée en milieu confiné</li> <li>- Pas besoin de synchronisation d'horloge entre le mobile et la station de base</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessité d'avoir le trajet direct</li> <li>- Synchronisation d'horloge nécessaire entre les paires de stations de base</li> <li>- Nécessité d'une résolution temporelle élevée au récepteur</li> </ul>                  |

**Tableau 1.1 : Résumé des principales techniques de radiolocalisation.[10]**

### 2.6.3. Avantages de la méthode TDOA :

Cette méthode offre de nombreux avantages par rapport aux autres techniques concurrentes, parmi elles on peut citer [11] :

- Caractéristique d'antenne plus simple : les récepteurs TDOA peuvent employer une seule antenne simple.
- Critère plus simple pour l'emplacement et l'étalonnage : nécessite peu de pas d'étalonnage, les récepteurs supplémentaires peuvent être utilisés pour pallier aux effets d'écran dus aux structures hautes.
- Donne des bons résultats dans le cas des signaux large bande, signaux à faible rapport signal/bruit et les signaux de courte durée.
- Les récepteurs et les antennes des systèmes sont moins complexes : un récepteur TDOA a besoin d'au moins un canal RF en temps réel pour éviter toute interruption dans le traitement.
- Rejet du bruit et brouillage non corrigé : le traitement par corrélation utilisé dans la TDOA permet de supprimer les signaux de bruit et de brouillage co-canal simultanés qui ne sont pas corrigés. Ainsi le système peut géolocaliser les signaux pour lesquels le rapport signal/bruit est faible.
- Le système TDOA peut être utilisé pour géolocaliser des signaux large bande en intérieur ou en extérieur dans des zones peu étendues (<100 mètres de côté) et où les trajets multiples sont nombreux.
- Bien adapté pour une utilisation dans les réseaux de capteurs RF car les récepteurs sont peu complexes de petite dimension et utilisent des puissances faibles, les antennes sont simples, et les critères de choix d'emplacement est simples.

## 2.7. Algorithmes de localisation:

Les techniques de base utilisées dans ces algorithmes sont:

### 2.7.1. La trilatération

Elle est la méthode la plus simple. Elle est fondée sur le même principe qu'un système GPS: chaque nœud connaissant les positions de trois de ses voisins peut se localiser par l'intersection de trois cercles (utilisant la distance entre le nœud et leur voisin), comme le montre la figure 2.4.

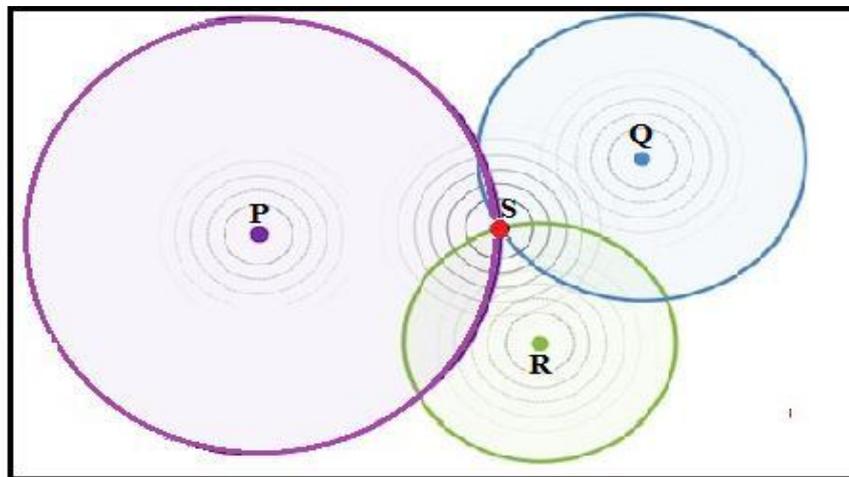


Figure 2.4 La trilatération

### 2.7.2. La Multi-lat ération

La position d'un nœud inconnu peut également être estimée avec multi-lat ération avec plus de trois distances (plus de trois points de référence(ancres)), par la résolution d'un système d'équations.

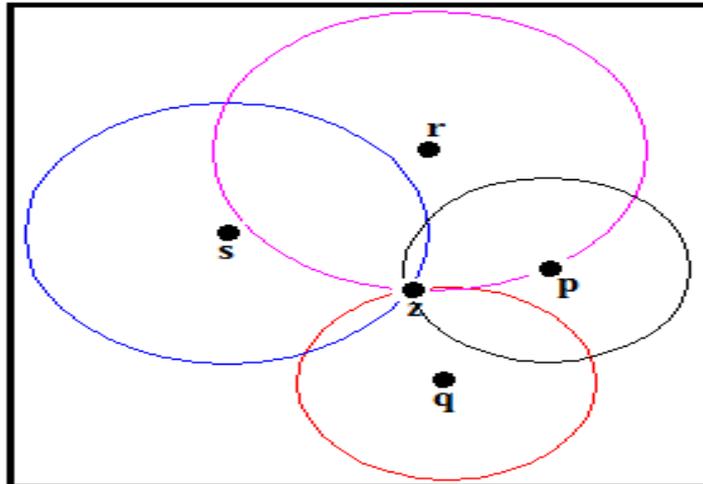


Figure2.5 multi-lat ération

### 2.7.3. La triangulation :

La triangulation est une technique permettant de déterminer la position d'un point en mesurant les angles entre ce point et d'autres points de référence dont la position est connue, et ceci plutôt que de mesurer directement la distance entre les points. Ce point peut être considéré comme étant le troisième sommet d'un triangle dont on connaît deux angles et la longueur d'un côté comme le montre la figure2.6.

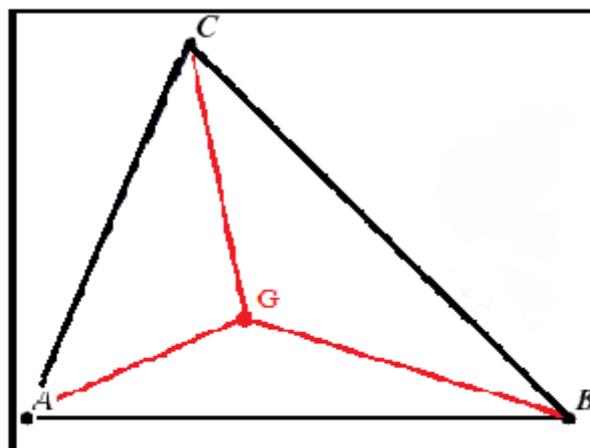


Figure2.6 triangulation[12]

### **2.8 Conclusion :**

Dans le deuxième chapitre nous avons choisi la technique TDOA pour la localisation des espèces d'oiseaux sur des nœuds-capteurs sans fil dans un environnement bruité. Compte tenu de ses nombreux avantages, la technique TDOA semble être une solution adéquate à notre application. La simulation présente de nombreux avantages puisqu'elle permet d'isoler le système pour étudier les performances des solutions proposées, et elle est faite pour vérifier les performances des techniques. C'est ce que nous allons voir dans le prochain chapitre.

## ***CHAPITRE 3***

# ***Implémentation et Résultats***

### 3.1 Introduction

Le but de simulation informatique est de limiter le risque et d'éviter le coût d'une série d'épreuves réelles. Elle peut offrir un aperçu sur le développement d'un système trop complexe en les simulant avec de simples formules mathématiques.

Le choix d'outils de simulation se diffère selon le phénomène à simuler. Dans notre cas le problème est de simuler un algorithme de localisation distribué dans les réseaux de capteurs sans fil où chaque nœud calcule sa propre position d'une façon autonome c.à.d. il existe dans un moment donné plusieurs nœuds exécutent le processus de calcul de la position en parallèle, ce calcul est basé sur la trilatération. Dans ce chapitre, nous avons choisi de réaliser nos simulations et expérimentations à l'aide du logiciel MATLAB.

### 3.2 Base de données

Les évaluations expérimentales présentées tout au long de ce mémoire ont été réalisées à partir d'enregistrements de sons d'oiseaux provenant de la base de données Xeno-Canto<sup>1</sup>. Tous les sons ont été convertis à une fréquence d'échantillonnage de 44,10 kHz et à une résolution de 16 bits par échantillon sous forme d'onde.

La base de données est composée de 20 espèces d'oiseaux ; chaque oiseau ayant quatre(4) sons :deux cri et deux cri de vol.

### 3.3 Paramètres de simulation

Nous allons dans ce qui suit analyser les performances de fonctionnement de l'algorithme de mesure de la différence des temps d'arrivée (TDOA). Nous avons généré de manière aléatoire un emplacement dans un réseau de nœud-capteurs sans fil et simulé les signaux reçus par ces capteurs en ajustant le délai d'arrivée. Cet algorithme tente de localiser la source du signal (l'oiseau).

Les résultats obtenus ont été obtenus à partir de l'équation (3.1).

$$c * T = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - \sqrt{(x - b)^2 + x^2 + y^2} \quad (3.1)$$

---

<sup>1</sup><http://www.xeno-canto.org/>

Où  $(x, y, z)$  représente la position de l'émetteur et  $b$  la distance entre les capteurs au niveau des récepteurs.

Afin de mettre en évidence l'erreur en positionnement correspondant à l'erreur d'estimation de la TDOA, l'équation (3.1) a été différenciée.

$$c * \Delta T = \left( \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} - \frac{x-b}{\sqrt{(x-b)^2+y^2+z^2}} \right) \quad (3.2)$$

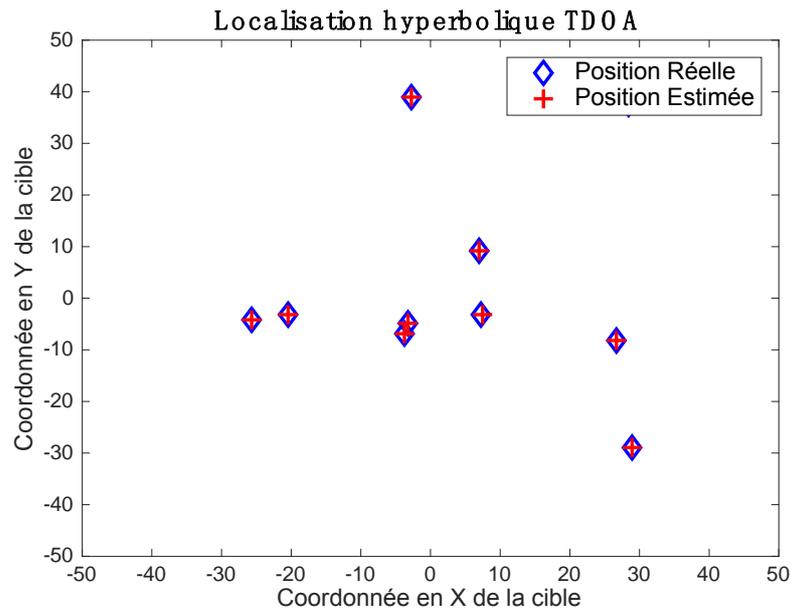
Nous avons simulé un nombre d'emplacements aléatoires et essayé de les localiser avec l'algorithme de localisation TDOA et de tracer la position réelle et la position estimée.

| Paramètres                      | Valeurs                     |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Taille du réseau                | 500m *500m                  |
| Nombre de nœuds                 | Variable (de 8 jusqu'à 100) |
| Rayon de communication          | Variable (de 20 à 100 m)    |
| Erreur d'estimation de distance | Variable (0.08, 0.05, 0.1)  |

**Tableau 3.1 paramètres de simulation**

### 3.4 Résultats et discussion

En appliquant la méthode TDOA sur le son clair de 10 oiseaux, nous obtenons le résultat comme illustré dans la Figure 3.1. Notez que l'échelle sur les axes x et y est en mètres.



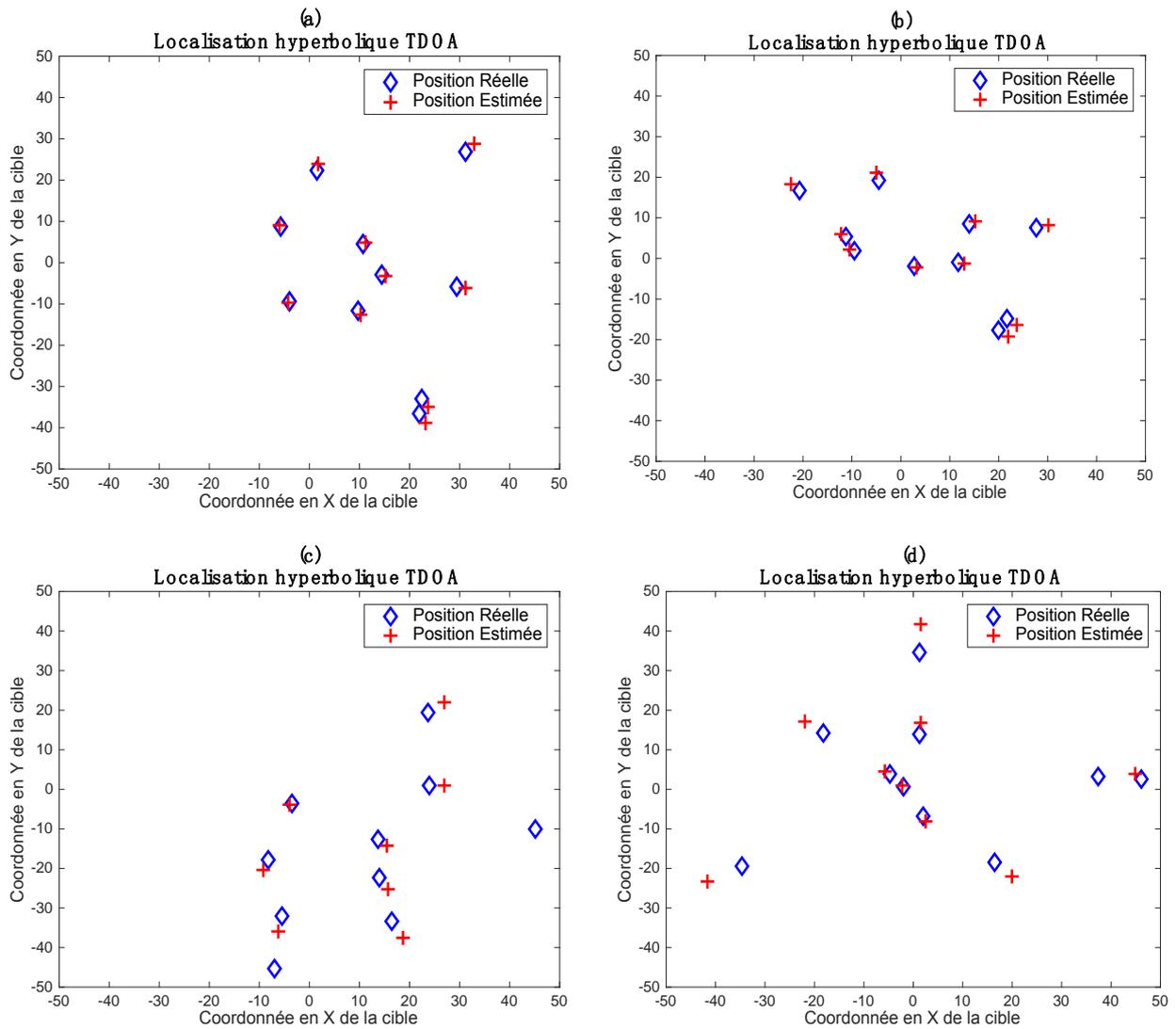
**Figure 3.1** Localisation Hyperbolique utilisant la méthode TDOA du son clair de 10 oiseaux(cas idéal)

On observe que la localisation Hyperbolique en utilisant la méthode TDOA du son clair de 10 oiseaux est parfaite, où les positions réelles sont identiques aux positions estimées sans aucune erreur, vu qu'il n'y a pas de bruit qui affecte le bon fonctionnement du système.

### 3.5 Impact du bruit d'environnement sur la précision de localisation

#### a) Le bruit continu :

Prenons l'enregistrement du son de 10 espèces d'oiseaux et on lui ajoute un sifflement du vent comme bruit d'environnement continu. La Figure 3.2 présente le résultat de la localisation Hyperbolique de ce cas en utilisant la méthode TDOA avec un SNR global de «5 à20 »dB par pas de 5 dB.

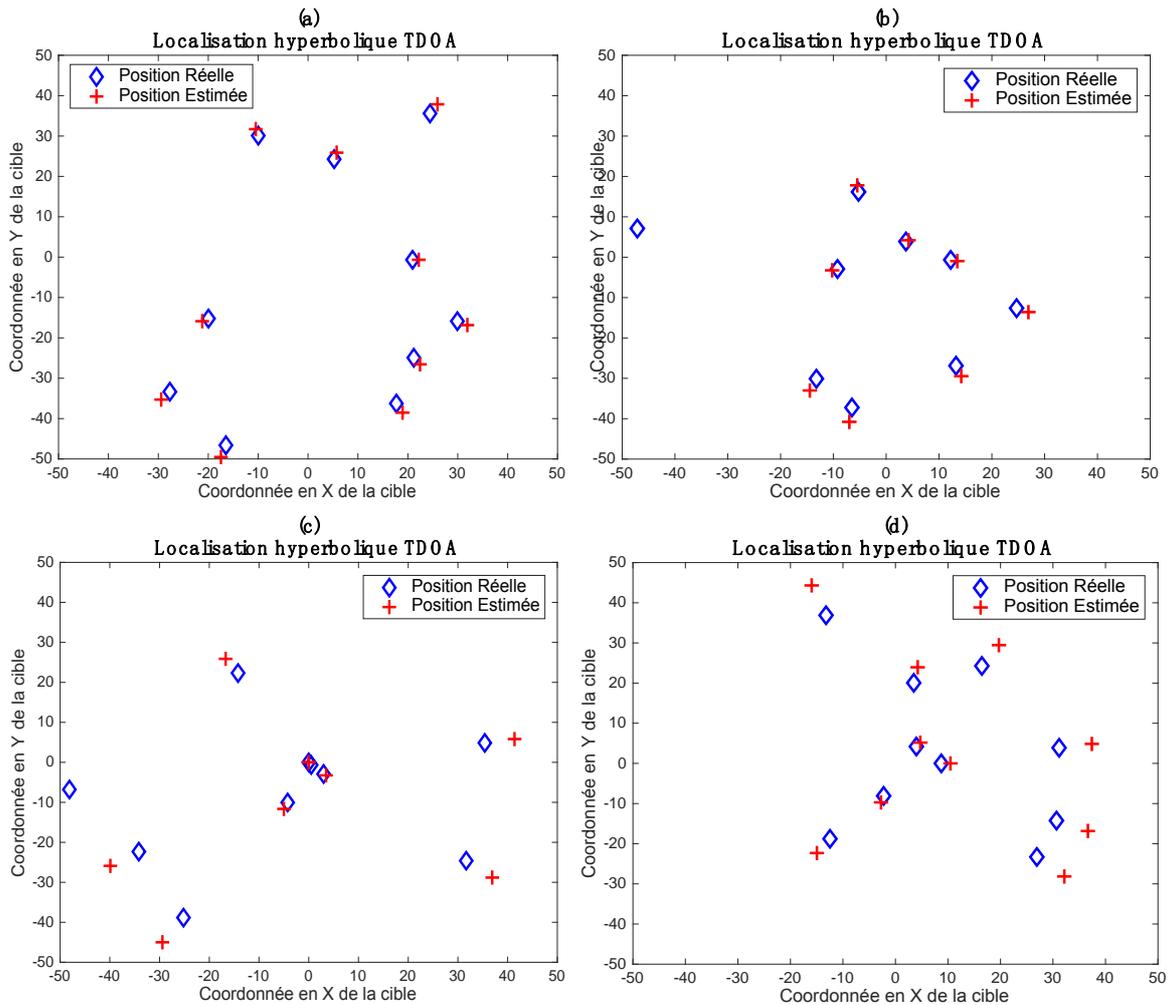


**Figure 3.2** Localisation Hyperbolique utilisant la méthode TDOA du son de 10 oiseaux perturbé par un bruit continu (exp : le vent) avec (a) SNR= 20 dB, (b) SNR= 15 dB, (c) SNR= 10 dB et (d) SNR= 5 dB

D’après la Figure 3.2, quand le SNR est élevé (15 et 20 dB) on observe de temps en temps quelques erreurs aberrantes. Par contre au faible SNR (5 et 10 dB), la précision de localisation descend très bas. Donc on déduit qu’à chaque fois que le SNR diminue, la précision de localisation diminue sous le bruit de l’environnement.

## b) Le bruit intermittent :

Dans ce cas, on va prendre le son du décollage d'un avion comme exemple de bruit d'environnement intermittent avec le son de 10 espèces d'oiseaux et à différent niveau de SNR entre 5db et 20db avec un pas de 5 dB. Les résultats de cette simulation sont présentés dans la Figure 3.3



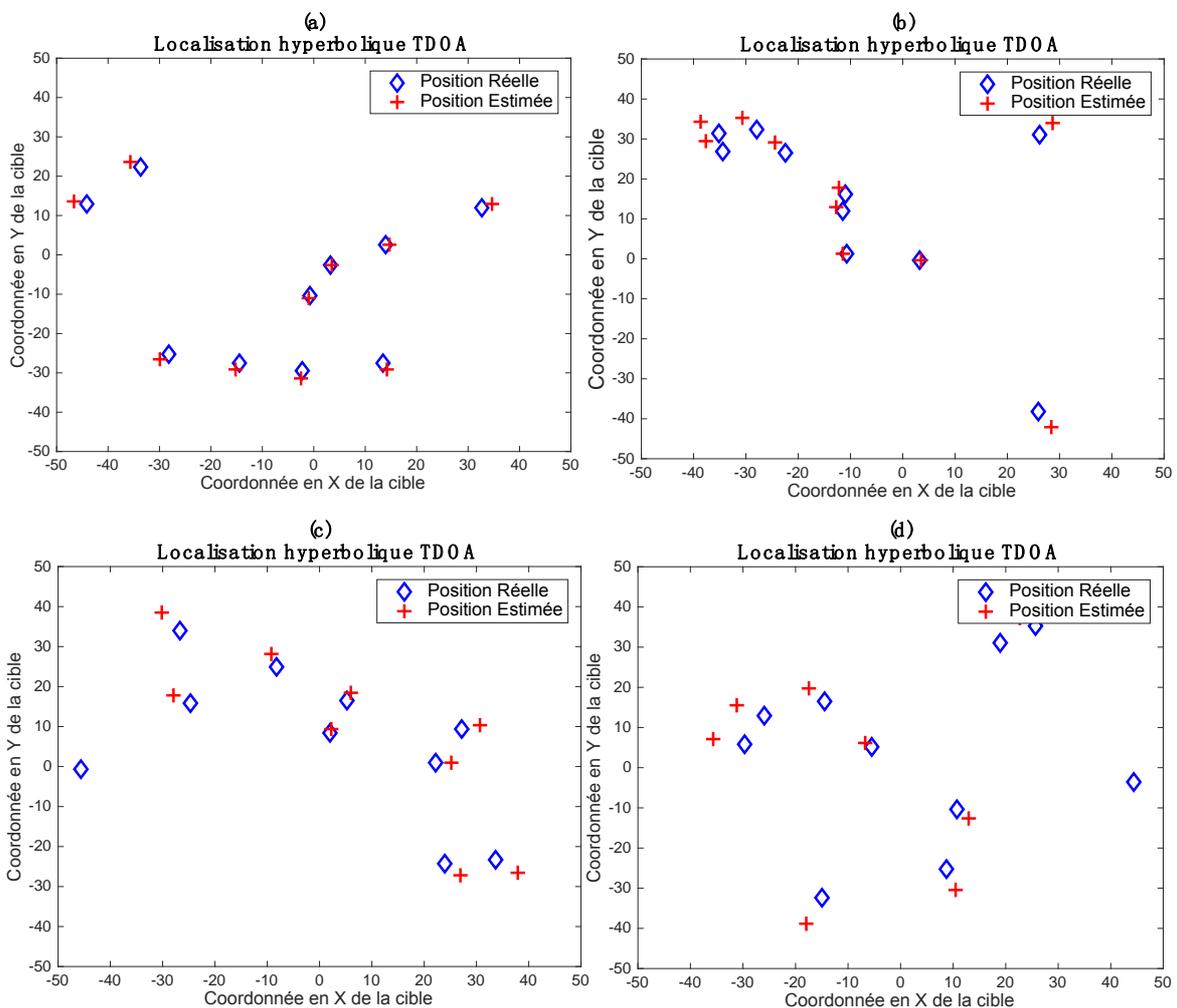
**Figure 3.3** Localisation Hyperbolique utilisant la méthode TDOA du son de 10 oiseaux perturbé par un bruit intermittent (le son du décollage d'un avion) avec (a) SNR= 20 dB, (b) SNR= 15 dB, (c) SNR= 10 dB et (d) SNR= 5 dB

Nous constatons parmi les résultats obtenus par la Figure 3.3 que la méthode TDOA utilisée pour déterminer les positions des oiseaux ne donne pas une mesure précise lors d'une perturbation par un bruit intermittent surtout lorsque le bruit est plus grand que le signal, en

observant un déséquilibre dans les résultats (les positions estimées sont différents aux positions réelles). Donc on déduit que la précision de la localisation diminue avec la diminution de la valeur de SNR.

**c) Le bruit impulsif**

Maintenant, on va prendre les mêmes paramètres que les cas précédents mais on va perturber le son clair des oiseaux par un coup de tonnerre comme un exemple de bruit d'environnement impulsif. La figure 3.4 illustre les résultats obtenus.



**Figure 3.4** Localisation Hyperbolique utilisant la méthode TDOA du son de 10 oiseaux perturbé par un bruit impulsif (un coup de tonnerre) avec (a) SNR= 20 dB, (b) SNR= 15 dB, (c) SNR= 10 dB et (d) SNR= 5 dB

Selon la Figure 3.4, nous déduisons que la méthode de localisation hyperbolique TDOA ne donne pas des résultats corrects lorsque le son clair est plus faible que le bruit et ça apparaît aux résultats obtenus (les positions estimées par cette méthode sont décorrélées aux positions réelles surtout dans le cas où SNR est faible). Donc, Plus nous réduisons la valeur de SNR, plus les erreurs de mesure de la localisation sont nombreuses.

### 3.6 Comparaison entre les méthodes de localisation (RSSI, AOA, MUSIC et TDOA)

La variation de l'erreur moyenne en fonction de nombre de nœud-capteur de différentes méthodes de localisation est représenté dans la courbe de la Figure 3.5 où nous remarquons que chaque fois quand nous augmentons le nombre de nœud de capteurs, l'erreur moyenne augmente pour les quatre méthodes. La méthode TDOA possède les plus faibles valeurs de l'erreur moyenne par rapport aux autres méthodes.

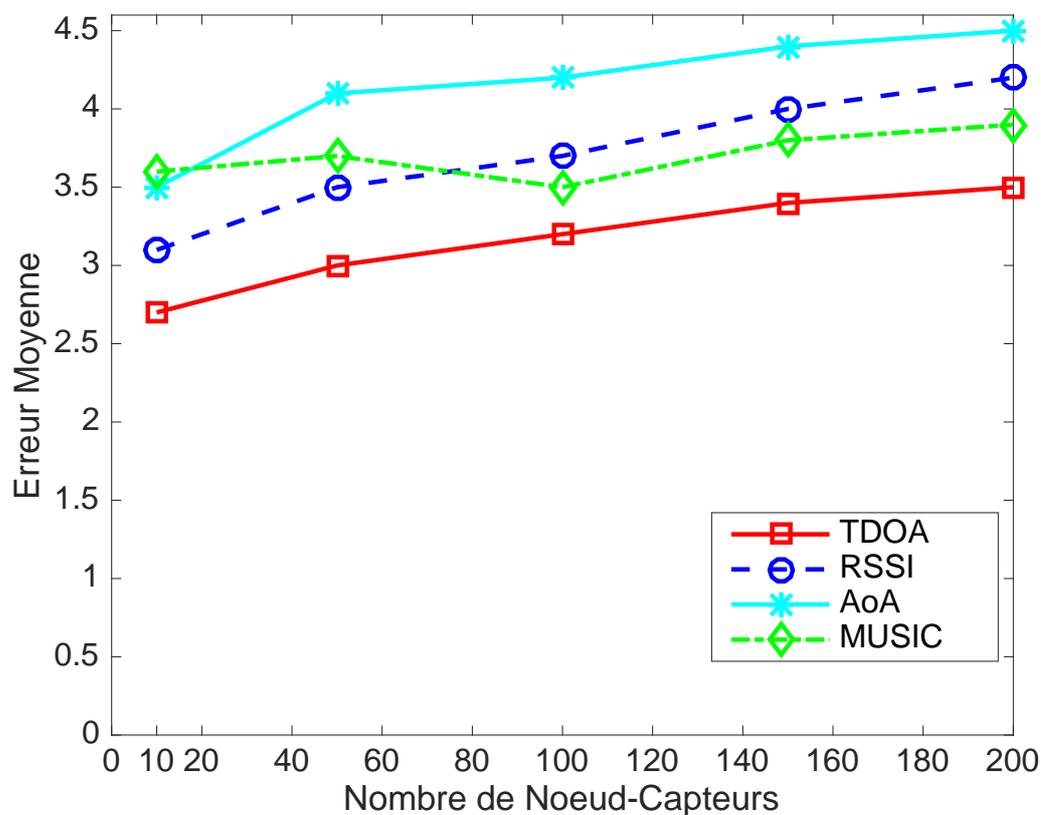
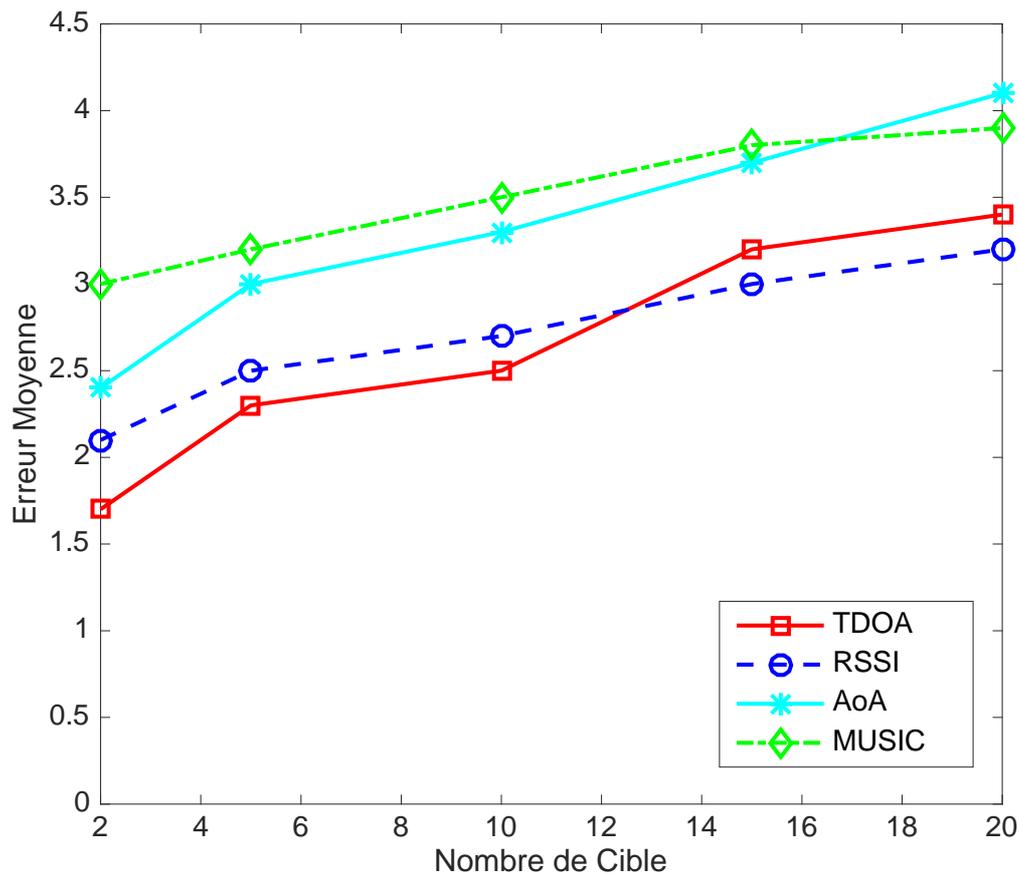


Figure 3.5 La variation de l'erreur moyenne par rapport au nombre de nœud-capteurs

La courbe de la Figure 3.6 présente La variation de l'erreur moyenne par rapport au nombre de cible avec les différentes méthodes de localisation. Nous étudions le cas lorsqu'on prend 2 oiseaux jusqu'à 20 espèces et nous remarquons que l'erreur moyenne augmente avec l'augmentation du nombre des oiseaux pour les quatre méthodes. Mais l'erreur moyenne obtenue par la méthode TDOA est la plus faible par rapport aux autres méthodes.



**Figure 3.6** La variation de l'erreur moyenne par rapport au nombre de cible (oiseau)

### 3.7 Conclusion :

Les résultats expérimentaux pour la localisation des sons d'oiseaux dans un environnement bruité démontrent que la méthodologie adoptée pour estimer les vraies positions d'oiseaux utilisant les RCSF est très efficace et fonctionne de manière satisfaisante par rapport aux autres méthodes. De plus, les performances de la localisation, l'immunité au bruit et la consommation d'énergie sont considérablement améliorées, ce qui indique que c'est une approche appropriée ainsi que la complexité de calcul du TDOA est moins coûteuse ce qui le rend adéquat pour une mise en œuvre sur des nœuds de capteurs sans fil. Bien que les résultats proposés dans ce chapitre ne représentent qu'une étude préliminaire sur le problème complexe posé par la localisation des oiseaux en utilisant les RCSF. Il a été démontré que la méthode TDOA en particulier dans les conditions d'environnement bruité en offrant une meilleure gestion de consommation d'énergie dans les nœuds de capteurs sans fil. Mais ce qui limite cette méthode c'est qu'elle ne donne pas des résultats précis lorsque le bruit est supérieur au son c'est-à-dire avec un faible SNR.

## Conclusion générale

---

La localisation est l'une des technologies clés dans les réseaux de capteurs sans fil, car elle fournit une identification de l'origine des informations (d'où vient-elle?), une détection de place d'un événement est «où se passe-t-il?» et un soutien fondamental pour de nombreux protocoles et applications de géo-localisation. Les contraintes de coût et de consommation d'énergie rendent impossible d'équiper chaque nœud de capteur dans le réseau avec un système de positionnement global (GPS), en particulier pour les réseaux de capteurs à grande échelle. Donc la réduction de la consommation énergétique est le facteur commun de la préoccupation principale dans pratiquement la majorité des travaux sur les réseaux de capteurs.

Premièrement, on a conclu que le signal se propage d'une source émettrice à un capteur récepteur de trois manières: un modèle de propagation conjonctif, un modèle de propagation du signal à écho et un modèle multi-source et multi-capteur.

Après, nous avons fait une étude détaillée sur les réseaux de capteur sans fil, leurs différentes caractéristiques telles que le déploiement, la couverture, l'énergie, la mobilité, l'identification, etc. Nous avons conclu que leur petite taille représente un point fort. Leurs batteries, non remplaçables et non rechargeables, sont la principale contrainte des RCSF.

D'autre part, les sons d'oiseaux observés sont souvent noyés dans le bruit d'environnement. On a divisé ce bruit selon son évolution temporelle en trois catégories : Le bruit continu tel que la pluie et le vent, le bruit intermittent comme le passage d'un avion et le bruit impulsif comme le tonnerre.

Ensuite, on a déduit qu'il existait plusieurs méthodes de localisation d'une source sonore tel que :

- Indicateur de puissance de signal à la réception ( Received Signal Strength Indication(RSSI)):
- Angles d'arrivée (Angle of Arrival (AoA)):
- Estimateurs spectraux spatiaux à haute résolution (MUSIC)
- Estimateurs basés sur un Beam-former
- Estimateurs de différence de temps d'arrivée .

D'après notre étude on déduit que la réduction de la consommation énergétique est une préoccupation principale dans pratiquement la majorité des travaux sur les réseaux de capteurs. L'algorithme que nous avons implémenté dans ce mémoire optimise la consommation d'énergie des nœuds, du fait que durant toute la phase de localisation les nœuds ne communiquent jamais, sachant que les communications sont de loin les plus coûteuses en énergie. Cette approche de localisation consiste à mesurer l'instant d'arrivée d'un signal RF en plusieurs points de l'espace et à comparer la différence entre les instants mesurés à chaque récepteur, et qu'il ne nécessite pas d'effectuer une synchronisation entre l'émetteur et le récepteur. Nous avons évalué par une série de simulations les performances de quatre méthodes de localisation selon plusieurs métriques en utilisant le logiciel matlab. Les résultats expérimentaux prouvent que la méthode d'estimation de différence de temps d'arrivée est la plus performante comparée aux méthodes considérées dans ce travail pour ses performances en matière de localisation et pour sa souplesse.

Les futures recherches dans le domaine de la localisation des sons des oiseaux dans un environnement bruité éventuellement sont les suivantes :

- 1) Trouvé une proposition d'un algorithme de comptage des individus à partir de leur vocalisation.
- 2) Appliqué un algorithme de localisation collaborative qui utilise les ancres mobiles devrait être spécifiquement conçu pour réduire le temps de localisation et d'améliorer la précision de la localisation.

## Références

- [1].Swartling, M. (2012). *Direction of arrival estimation and localization of multiple speech sources in enclosed environments*(Doctoral dissertation, Blekinge Institute of Technology).
- [2].Brandstein, M. S. (1995). A framework for speech source localization using sensor arrays.
- [3].IMANE, N. L. *Analyse graphique pour la surveillance dans un RCSF* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie-Mohamed Boudiaf d'Oran).
- [4].Makhoul, A. (2008). *Réseaux de capteurs: localisation, couverture et fusion de données* (Doctoral dissertation, Besançon).
- [5].Benkhelil, E., & Gherbi, A. (2011). Modélisation et simulation d'un générateur photovoltaïque avec un étage d'adaptation DC/DC. *Revue des Energies Renouvelables ICESD'11 Adrar*, 159-170.
- [6].Kacimi, R. (2009). *Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil* (Doctoral dissertation).
- [7].Boulmaiz Amira, «Traitement et Reconnaissance Automatique des Cris et Chants des Oiseaux dans les Zones Humides Annaba-El Taref »,2017, université Badji Mokhtar,annaba.
- [8].Thaljaoui, A., Brulin, D., Val, T., & Nasri, N. (2014, May). Localisation d'une source sonore par un réseau de microphones. In *Journées Nationales des Communications Terrestres-JNCT 2014* (No. ISBN 978-3, pp. pp-95).
- [9].Teniou, M., Mavridis, T., Sarrazin, J., Petrillo, L., De Doncker, P., & Benlarbi-Delai, A. (2015, June). Evaluation des performances de la localisation à base de TDOA pour applications indoor à 60 GHz. In *XIX èmes Journées Nationales Microondes 2015*.
- [10]. Evennou, F. (2007). *Techniques et technologies de localisation avancées pour terminaux mobiles dans les environnements indoor* (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
- [11]. Knapp, C. H., & Carter, G. C. The generalized cross correlation method for estimation of time delay. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 320-327.
- [12]. Roth, D. (2012). *Gestion de la mobilité dans les réseaux de capteurs sans fil* (Doctoral dissertation, Université de Strasbourg).

## Annexes

### %%%%%%%%%% Le programme TDOA %%%%%%%%%%

```
function TDOAshell

[Name_Bird,PathName,FilterIndex]=uigetfile({'*.wav','Sélectionnez un
fichier'},'Choisissez le son de l"oiseau à étudier en format .wav');
bird_original=audioread([PathName Name_Bird]);
bird_original = bird_original(:,1);
[Name_noise,PathName,FilterIndex]=uigetfile({'*.wav','Sélectionnez un
fichier'},'Choisissez le bruit d environnement en format .wav');
noise=audioread([PathName Name_noise]);
% Entrez la valeur de SNR souhaité
SNR = input('Entrez la valeur de SNR : ');
noisy = addnoise(bird_original, noise, SNR);
wave = noisy(:,1);
scale = 0.8/max(wave);
wave = scale*wave;
Trials = 10;
Radius = 50;
N = 8;
Theta = linspace(0,2*pi,N+1);
X = Radius * cos(Theta(1:end-1));
Y = Radius * sin(Theta(1:end-1));
Z = [1:N];
Z = (-1).^Z;
Z = 5*Z+5;
Sen_position = [X.',Y.',Z.'];
Sen_position = [Sen_position];
True_position = zeros(Trials, 3);
Est_position = zeros(Trials,3);

% Generate position of source

for i=1:Trials
    r = rand(1)*50;
    t = rand(1)*2*pi;
    x = r*cos(t);
    y = r*sin(t);
    z = rand(1)*20;
    True_position(i,1) = x;
    True_position(i,2) = y;
    True_position(i,3) = z;
end

% Generate distances

Distances = zeros(Trials,8);
for i=1:Trials
    for j=1:8
        x1 = True_position(i,1);
        y1 = True_position(i,2);
        z1 = True_position(i,3);
        x2 = Sen_position(j,1);
        y2 = Sen_position(j,2);
        z2 = Sen_position(j,3);
        Distances(i,j) = sqrt((x1-x2)^2 + (y1-y2)^2 + (z1-z2)^2);
    end
end
```

```

end
end

Distances;
TimeDelay = Distances./310.29;
Padding = TimeDelay*44100;

% Generate the signals
for i=1:Trials
    x = True_position(i,1);
    y = True_position(i,2);
    z = True_position(i,3);
    xstr = num2str(round(x));
    ystr = num2str(round(y));
    zstr = num2str(round(z));
    istr = num2str(i);
    name = strcat('Trial_', istr, '_', xstr, '_', ystr, '_', zstr,
'_mdove.wav');
    mic1 = [zeros(round(Padding(i,1)),1) ; wave];
    mic2 = [zeros(round(Padding(i,2)),1) ; wave];
    mic3 = [zeros(round(Padding(i,3)),1) ; wave];
    mic4 = [zeros(round(Padding(i,4)),1) ; wave];
    mic5 = [zeros(round(Padding(i,5)),1) ; wave];
    mic6 = [zeros(round(Padding(i,6)),1) ; wave];
    mic7 = [zeros(round(Padding(i,7)),1) ; wave];
    mic8 = [zeros(round(Padding(i,8)),1) ; wave];
    l1 = length(mic1);
    l2 = length(mic2);
    l3 = length(mic3);
    l4 = length(mic4);
    l5 = length(mic5);
    l6 = length(mic6);
    l7 = length(mic7);
    l8 = length(mic8);
    lenvec = [l1 l2 l3 l4 l5 l6 l7 l8];
    m = max(lenvec);
    c = [m-l1, m-l2, m-l3, m-l4, m-l5, m-l6, m-l7, m-l8];
    mic1 = [mic1; zeros(c(1),1)];
    mic2 = [mic2; zeros(c(2),1)];
    mic3 = [mic3; zeros(c(3),1)];
    mic4 = [mic4; zeros(c(4),1)];
    mic5 = [mic5; zeros(c(5),1)];
    mic6 = [mic6; zeros(c(6),1)];
    mic7 = [mic7; zeros(c(7),1)];
    mic8 = [mic8; zeros(c(8),1)];

    mic1 = mic1./Distances(i,1);
    mic2 = mic2./Distances(i,2);
    mic3 = mic3./Distances(i,3);
    mic4 = mic4./Distances(i,4);
    mic5 = mic5./Distances(i,5);
    mic6 = mic6./Distances(i,6);
    mic7 = mic7./Distances(i,7);
    mic8 = mic8./Distances(i,8);

    multitrack = [mic1, mic2, mic3, mic4, mic5, mic6, mic7, mic8];
    % wavwrite(multitrack, 44100, name);

[x y z] = Locate(Sen_position, multitrack);

```

```

Est_position(i,1) = x;
Est_position(i,2) = y;
Est_position(i,3) = z;

end

plot(True_position(:,1),True_position(:,2),'bd',Est_position(:,1),Est_position(:,2),'r+', 'LineWidth',2);
legend('Position Réelle', 'Position Estimée');
xlabel('Coordonnée en X de la cible');
ylabel('Coordonnée en Y de la cible');
title('Localisation hyperbolique TDOA');
axis([-50 50 -50 50]);

```

end

```

function [x y z] = Locate(Sen_position, multitrack)
% sensor index shift of 1 occurs here

s = size(Sen_position);
len = s(1);
timedelayvec = zeros(len,1);
for i=1:len
    timedelayvec(i) = timedelayfunc(multitrack(:,1),multitrack(:,i));
end

timedelayvec;

Amat = zeros(len,1);
Bmat = zeros(len,1);
Cmat = zeros(len,1);
Dmat = zeros(len,1);
for i=3:len
    x1 = Sen_position(1,1);
    y1 = Sen_position(1,2);
    z1 = Sen_position(1,3);
    x2 = Sen_position(2,1);
    y2 = Sen_position(2,2);
    z2 = Sen_position(2,3);
    xi = Sen_position(i,1);
    yi = Sen_position(i,2);
    zi = Sen_position(i,3);
    Amat(i) = (1/(340.29*timedelayvec(i)))*(-2*x1+2*xi) -
(1/(340.29*timedelayvec(2)))*(-2*x1+2*x2);
    Bmat(i) = (1/(340.29*timedelayvec(i)))*(-2*y1+2*yi) -
(1/(340.29*timedelayvec(2)))*(-2*y1+2*y2);
    Cmat(i) = (1/(340.29*timedelayvec(i)))*(-2*z1+2*zi) -
(1/(340.29*timedelayvec(2)))*(-2*z1+2*z2);
    Sum1 = (x1^2)+(y1^2)+(z1^2)-(xi^2)-(yi^2)-(zi^2);
    Sum2 = (x1^2)+(y1^2)+(z1^2)-(x2^2)-(y2^2)-(z2^2);
    Dmat(i) = 340.29*(timedelayvec(i) - timedelayvec(2)) +
(1/(340.29*timedelayvec(i)))*Sum1 - (1/(340.29*timedelayvec(2)))*Sum2;
end

```

```

M = zeros(len,3);
D = zeros(len,1);

```

```

for i=1:len
    M(i,1) = Amat(i);
    M(i,2) = Bmat(i);
    M(i,3) = Cmat(i);
    D(i) = Dmat(i);
end

M = M(3:len,:);
D = D(3:len);

D = D.*-1;

Minv = pinv(M);
T = Minv*(D);
x = T(1);
y = T(2);
z = T(3);

end

function out = timedelayfunc(x,y)
% suppose sampling rate is 44100
% Let Tx be transit time for x
% Let Ty be transit time for y
% out is Ty - Tx

c = xcorr(x, y);
[C I] = max(c);
out = ((length(c)+1)/2 - I)/44100;

end

```

## %%%%%%%%%%%%%% Fonction pour ajout éle bruit %%%%%%%%%%%%%%%

```

function [ noisy, noise ] = addnoise( audio, noise, snr)
% ADDNOISE Add noise to signal at a prescribed SNR level.
%
% [NOISY,NOISE]=ADDNOISE(SIGNAL,NOISE,SNR) adds NOISE to SIGNAL
% at a prescribed SNR level. Returns the mixture signal as well
% as scaled noise such that NOISY=SIGNAL+NOISE.
%
% Inputs
%     SIGNAL is a target signal as vector.
%
%     NOISE is a masker signal as vector, such that
%         length(NOISE)>=length(SIGNAL). Note that
%         in the case that length(NOISE)>length(SIGNAL),
%         a vector of length length(SIGNAL) is selected
%         from NOISE starting at a random sample number.
%
%     SNR is the desired signal-to-noise ratio level (dB).
%
% Outputs
%     NOISY is a mixture signal of SIGNAL and NOISE at given SNR.
%
%     NOISE is a scaled masker signal, such that the mixture
%         NOISY=SIGNAL+NOISE has the desired SNR.

```

```

%
% Example
%
% inline function for SNR calculation
% SNR = @(signal,noisy) ( 20*log10(norm(signal)/norm(signal-
noisy)) );
%
% fs = 16000; % sampling frequency (Hz)
% freq = 1000; % sinusoid frequency (Hz)
% time = [ 0:1/fs:2 ]; % time vector (s)
% signal = sin( 2*pi*freq*time ); % signal vector (s)
% noise = randn( size(signal) ); % noise vector (s)
% snr = -5; % desired SNR level (dB)
%
% generate mixture signal: noisy = signal + noise
% [ noisy, noise ] = addnoise( signal, noise, snr );
%
% check the resulting signal-to-noise ratio
% fprintf( 'SNR: %0.2f dB\n', SNR(signal,noisy) );
%
% See also TEST_ADDNOISE_SINUSOID, TEST_ADDNOISE_SPEECH.
%
% Author: Kamil Wojcicki, UTD, July 2011
%
% inline function for SNR calculation
SNR = @(audio,noisy) ( 20*log10(norm(audio)/norm(audio-noisy)) );
%
% needed for older releases of MATLAB
%randi = @(n) ( round(1+(n-1)*rand) );
%
% ensure masker is at least as long as the target
S = length( audio );
N = length( noise );
if( S>N ), error( 'Error: length(audio)>length(noise)' ); end;
noise = noise(1:S);
%
% generate a random start location in the masker signal
%R = randi(1+N-S);
%
% extract random section of the masker signal
%noise = noise(R:R+S-1);
%
% scale the masker w.r.t. to target at a desired SNR level
noise = noise / norm(noise) * norm(audio) / 10.0^(0.05*snr);
noisy = audio + noise;
%noisy = noisy./max(abs(noisy(:)))*(1-(2^-(16-1)));
% generate the mixture signal
%
% for n=1:length(signal)
% if sign(signal(n))==sign(noise(n)) && abs(signal(n)+noise(n))>1
% noise=-noise;
% noisy = signal + noise;
% else
% noisy = signal + noise;
% end
% end
%
% sanity check
assert( abs(SNR(audio,noisy)-snr) < 1E10*eps(snr) );

```

```
%%% EOF
```

## %%%%%%%% Comparaison des différentes méthodes de localisation %%%%%%%%%

```
nn=[10 50 100 150 200];  
TDOA=[2.7 3 3.2 3.4 3.5];  
RSSI=[3.1 3.5 3.7 4 4.2];  
AoA=[3.5 4.1 4.2 4.4 4.5];  
MUSIC=[3.6 3.7 3.5 3.8 3.9];
```

```
figure  
plot(nn, TDOA, 'r+', nn, RSSI, 'b--o', nn, AoA, 'c-*', nn, MUSIC, 'g-.d')
```

```
%%  
nc=[2 5 10 15 20];  
TDOA=[1.7 2.3 2.5 3.2 3.4];  
RSSI=[2.1 2.5 2.7 3 3.2];  
AoA=[2.4 3 3.3 3.7 4.1];  
MUSIC=[3 3.2 3.5 3.8 3.9];
```

```
figure  
plot(nc, TDOA, 'r+', nc, RSSI, 'b--o', nc, AoA, 'c-*', nc, MUSIC, 'g-.d')
```