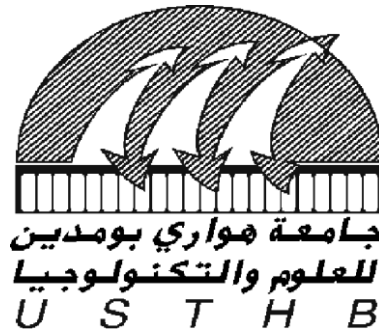


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
HOUARI BOUMEDIENE  
FACULTE D'ELECTRONIQUE ET D'INFORMATIQUE



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER

En : **ELECTRONIQUE**

Option : **Traitement du signal et des images**

Par: **LEFKIR Nacera**

## THÈME

Application des algorithmes de positionnement multidimensionnel (MDS)  
et d'optimisation particulière (PSO) à la localisation des tags RFID à base de  
la puissance reçue (RSS)

Soutenu publiquement, le 24/10/2012 devant le jury composé de :

|                           |                                   |                      |
|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| <b>Mme A.SERIR</b>        | Maître de Conférence/A, à l'USTHB | Présidente           |
| <b>M. B. FERGANI</b>      | Maître de Conférence/A, à l'USTHB | Directeur de mémoire |
| <b>Mme M.KHEDIR TALHA</b> | Maître de Conférence/A, à l'USTHB | Examinatrice         |
| <b>M. M.TOUNSI</b>        | Maître de Conférence/A, à l'USTHB | Examineur            |
| <b>M. A. METREF</b>       | Maître de Conférence/B, à l'USTHB | Invité               |

## *REMERCIEMENTS*

- *je remercie Dieu tout puissant de m'avoir aidé à réaliser ce travail.*
- *je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur B. Fergani pour m'avoir proposé ce sujet et dirigé ma recherche.*
- *je remercie tous les membres du laboratoire de Communication Parlée et Traitement du Signal.*
- *Je remercie tous mes enseignants et en particulier Melle Khedam.*
- *Je remercie tous mes collègues et mes amis de l'Institut National de la Formation Supérieure des Cadres de la Jeunesse (INFSCJ) de Tixeraine.*
- *Un grand merci à ma famille, en particulier mes parents, mon mari et mes enfants pour leur soutien et leurs encouragements.*

## **Résumé**

L'identification par radio fréquence (RFID) est largement utilisée pour la localisation des étiquettes RFID cibles dans un milieu fermé (indoor) où le système de positionnement global GPS fonctionne mal à cause de l'effet d'ombrage (shadowing) dû à la propagation des ondes radio par chemins multiples. La localisation est basée sur le paramètre puissance reçue RSS car l'atténuation de la puissance du signal émis dépend de la distance entre l'étiquette et le lecteur RFID, de même qu'elle est disponible au niveau des équipements déjà installés tel qu'un lecteur RFID.

Dans ce travail, l'algorithme de positionnement multidimensionnel MDS et l'algorithme d'optimisation par essaim de particules PSO sont appliqués à la localisation des étiquettes RFID passives et statiques en milieu fermé à deux dimensions et simulés sous Matlab. L'objectif est de tester la robustesse de chacun d'eux à l'effet d'ombrage. Une comparaison avec l'algorithme de localisation le plus connu Multilateration a été effectuée. L'erreur moyenne et le temps de calcul ainsi que la fonction distribution cumulative de l'erreur moyenne de localisation d'un ensemble d'étiquettes cibles sont les paramètres de mesure de performances de ces algorithmes.

### **Mots clés**

RFID, Localisation, RSS, Indoor, MDS, Optimisation, Essaim particulaire, PSO, erreur moyenne.

## Liste des figures

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1.1:</b> Composition d'un système RFID .....                                                           | 2  |
| <b>Figure 1.2:</b> Exemples d'étiquettes RFID .....                                                              | 3  |
| <b>Figure 1.3:</b> Composition d'un Tag RFID .....                                                               | 4  |
| <b>Figure 1.4:</b> Différents types de lecteurs RFID .....                                                       | 6  |
| <b>Figure 1.5:</b> Structure du code EPCglobal 96 bits.....                                                      | 10 |
| <b>Figure 1.6:</b> Etiquettes RFID BF.....                                                                       | 11 |
| <b>Figure 1.7:</b> Etiquette RFID HF (Tag-it HF de Texas Instrument).....                                        | 11 |
| <b>Figure 1.8:</b> Mode de propagation en onde électromagnétique .....                                           | 12 |
| <b>Figure 1.9:</b> Représentation d'une communication RFID .....                                                 | 13 |
| <b>Figure 1.10:</b> Exemples d'utilisation de la RFID .....                                                      | 15 |
| <b>Figure 2.1:</b> Blocs fonctionnels d'un système RFID.....                                                     | 17 |
| <b>Figure 2.2:</b> Techniques basées sur l'estimation de la distance.....                                        | 18 |
| <b>Figure 2.3:</b> Distance inter-étiquettes: les lecteurs $a_i$ sont déployés dans les coins de la zone d'étude | 23 |
| <b>Figure 2.4:</b> Bornes de la distance inter-étiquettes .....                                                  | 24 |
| <b>Figure 2.5:</b> Zone de déploiement du système RFID .....                                                     | 24 |
| <b>Figure 2.6:</b> Différentes étapes de l'algorithme MDS-RFID.....                                              | 27 |
| <b>Figure 2.7:</b> Distribution aléatoire des particules .....                                                   | 28 |
| <b>Figure 2.8:</b> Erreur de localisation par PSO .....                                                          | 32 |
| <b>Figure 2.9:</b> Critères de mesures de performance d'un algorithme de localisation .....                      | 33 |
| <b>Figure 3.1:</b> Différents types de distances à calculer pour MDS .....                                       | 36 |
| <b>Figure 3.2:</b> Coordonnées relatives, absolues et estimées des trois lecteurs.....                           | 38 |
| <b>Figure 3.3:</b> MDS: Comparaison de l'erreur moyenne pour trois et quatre lecteurs RFID.....                  | 38 |
| <b>Figure 3.4:</b> MDS : Comparaison de la distribution cumulative pour trois et quatre lecteurs RFID.....       | 39 |
| <b>Figure 3.5:</b> Comparaison de l'erreur moyenne entre MDS et Multilateration .....                            | 40 |
| <b>Figure 3.6:</b> Comparaison de la distribution cumulative entre MDS et Multilateration .....                  | 40 |
| <b>Figure 3.7:</b> PSO: Déplacement des particules .....                                                         | 43 |
| <b>Figure 3.8:</b> PSO: Comparaison de l'erreur moyenne selon la surface de la zone de recherche.....            | 44 |
| <b>Figure 3.9:</b> PSO: Comparaison temps de calcul selon la surface de la zone de recherche .....               | 45 |
| <b>Figure 3.10:</b> Comparaison de l'erreur moyenne entre PSO et MDS.....                                        | 45 |
| <b>Figure 3.11:</b> Comparaison de la distribution cumulative entre MDS et PSO.....                              | 46 |
| <b>Figure 3.12:</b> Comparaison de la distribution cumulative entre PSO et Multilateration.....                  | 47 |
| <b>Figure 3.13:</b> Comparaison de l'erreur moyenne entre PSO et Multilateration.....                            | 47 |
| <b>Figure 3.14:</b> Effet de l'écart type de RSS .....                                                           | 48 |
| <b>Figure 3.15:</b> Performances des trois algorithmes en fonction du nombre de lecteurs RFID .....              | 48 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 1.1:</b> Comparaison des caractéristiques des étiquettes actives et passives.....    | 5  |
| <b>Tableau 1.2:</b> Description des distances d'utilisation. ....                               | 7  |
| <b>Tableau 1.3:</b> Gammes des fréquences les plus utilisées. ....                              | 8  |
| <b>Tableau 1.4:</b> Puissances autorisées en fonction des fréquences de communication.....      | 9  |
| <b>Tableau 3.1:</b> Configuration de l'ordinateur utilisé pour la simulation .....              | 34 |
| <b>Tableau 3.2:</b> Les paramètres de simulation .....                                          | 34 |
| <b>Tableau 3.3:</b> Les coordonnées exactes de tous les nœuds du système RFID .....             | 36 |
| <b>Tableau 3.4:</b> Coordonnées relatives et absolues des nœuds par MDS .....                   | 37 |
| <b>Tableau 3.5:</b> MDS : Préservation des distances dans les deux systèmes de coordonnées..... | 37 |
| <b>Tableau 3.6:</b> PSO: Position des particules durant le traitement itératif .....            | 43 |
| <b>Tableau 3.7:</b> Erreur moyenne et temps de calcul par PSO pour trois lecteurs RFID .....    | 44 |

## Liste des acronymes

|      |                                                 |
|------|-------------------------------------------------|
| AIDC | Automatic Identification and Data Capture       |
| EPC  | Electronic Product Code                         |
| ETSI | European Télécommunications Standards Institute |
| FCC  | Federal communications commission               |
| MDS  | Multi Dimensional Scaling                       |
| NLOS | No Line Of Sight                                |
| PL   | Path Loss                                       |
| PSO  | Particule Swarm Optimization                    |
| RFID | Radio Frequency Identification                  |
| RSS  | Received Signal Streingth                       |
| TDOA | Time Difference Of Arrival                      |
| TOA  | Time of Arrival                                 |
| UWB  | Ultra Wide Band                                 |
| WIFI | Wireless Fidelity                               |

# Table des matières

|                                                                  |              |
|------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>INTRODUCTION .....</b>                                        | <b>.....</b> |
| <b>1 Présentation générale de la technologie RFID .....</b>      | <b>1</b>     |
| 1.1. Définition de la technologie RFID .....                     | 1            |
| 1.2. Histoire de la technologie RFID .....                       | 1            |
| 1.3. Composition d'un système RFID .....                         | 2            |
| 1.3.1. Etiquettes.....                                           | 3            |
| 1.3.2. Lecteurs RFID .....                                       | 5            |
| 1.4. Mode de fonctionnement .....                                | 6            |
| 1.5. Régulations des systèmes RFID .....                         | 7            |
| 1.5.1. Distance d'utilisation .....                              | 7            |
| 1.5.2. Fréquence d'utilisation.....                              | 7            |
| 1.5.3. Puissances autorisées.....                                | 8            |
| 1.5.4. Le standard EPCglobal.....                                | 9            |
| 1.6. Classification des systèmes RFID .....                      | 10           |
| 1.6.1. Systèmes RFID à couplage inductif .....                   | 10           |
| 1.6.2. Systèmes RFID UHF et micro-ondes.....                     | 12           |
| 1.7. Protocole de communication des systèmes RFID .....          | 13           |
| 1.8. Domaines d'applications de la RFID .....                    | 13           |
| 1.9. Avantages et inconvénients de la technologie RFID .....     | 15           |
| Conclusion .....                                                 | 16           |
| <b>2 Localisation: Les algorithmes MDS et PSO .....</b>          | <b>17</b>    |
| 2.1 Blocs fonctionnels d'un système de localisation RFID .....   | 17           |
| 2.2 Principes de positionnement indoor .....                     | 18           |
| 2.2.1 Estimation de la distance .....                            | 18           |
| 2.2.2 Analyse de scène .....                                     | 19           |
| 2.2.3 Proximité .....                                            | 19           |
| 2.3 Techniques de localisation RFID.....                         | 19           |
| 2.3.1 Multilateration.....                                       | 19           |
| 2.4 Modèle RSS-Distance.....                                     | 20           |
| 2.5 L'algorithme de positionnement multidimensionnel (MDS) ..... | 21           |
| 2.5.1 Principe.....                                              | 21           |
| 2.5.2 Prétraitement des données .....                            | 22           |

|          |                                                                |           |
|----------|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.3    | Traitement des données .....                                   | 25        |
| 2.5.4    | Inscription dans un système de coordonnées .....               | 26        |
| 2.6      | L'algorithme d'optimisation par essaim particulaire (PSO)..... | 27        |
| 2.6.1    | Principe.....                                                  | 28        |
| 2.6.2    | Modèle facteur de constriction.....                            | 29        |
| 2.6.3    | Fonction objectif d'optimisation .....                         | 30        |
| 2.6.4    | Différentes phases .....                                       | 30        |
| 2.7      | Mesure de performance d'un algorithme de localisation .....    | 32        |
|          | Conclusion .....                                               | 33        |
| <b>3</b> | <b>Simulation et évaluation .....</b>                          | <b>34</b> |
| 3.1      | Choix du langage .....                                         | 34        |
| 3.2      | Moyens utilisés .....                                          | 34        |
| 3.3      | Environnement de déploiement .....                             | 34        |
| 3.4      | Estimation de la distance .....                                | 35        |
| 3.5      | L'algorithme MDS .....                                         | 35        |
| 3.5.1    | Matrice des distances.....                                     | 35        |
| 3.5.2    | Traitement des données par MDS .....                           | 36        |
| 3.5.3    | L'algorithme MDS et le nombre de lecteurs RFID .....           | 38        |
| 3.5.4    | Comparaison entre MDS et Multilateration .....                 | 39        |
| 3.6      | L'algorithme PSO .....                                         | 41        |
| 3.6.1    | Démarche à suivre .....                                        | 41        |
| 3.6.2    | Déplacement des particules .....                               | 42        |
| 3.6.3    | Effet de la surface de la zone de déploiement .....            | 44        |
| 3.6.4    | Comparaison entre PSO et MDS.....                              | 45        |
| 3.6.5    | Comparaison entre PSO et Multilateration .....                 | 46        |
| 3.7      | Effet de l'écart type de RSS.....                              | 47        |
| 3.8      | Effet du nombre de lecteurs RFID.....                          | 48        |
|          | Conclusion .....                                               | 49        |
|          | <b>Conclusion générale .....</b>                               | <b>51</b> |
|          | <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>                                     | <b>53</b> |
|          | <b>Annexe</b>                                                  |           |

## INTRODUCTION

Les réseaux sans fil largement déployés pour des besoins de communication sont aujourd'hui exploités pour satisfaire les besoins des utilisateurs en termes de localisation qui consiste à déterminer la position d'une ou plusieurs cibles dans un espace à deux ou à trois dimensions.

La technologie RFID est une technologie sans fil qui permet l'identification à distance et sans contact physique d'une étiquette attachée ou incorporée à une cible et grâce à la combinaison des données d'identification avec celles de localisation, l'application de cette technologie pour une localisation en intérieur où le système de positionnement global GPS fonctionne mal à cause du phénomène d'ombrage (shadowing) dû à la propagation des ondes radio par chemins multiples, est actuellement l'un des principaux domaines de recherche active.

L'identifiant de l'étiquette n'est autre que le code électronique du produit EPC enregistré sur sa puce et qui remplace l'ancien code-barres et qui identifie d'une manière unique chaque produit au niveau mondial et il peut être associé à d'autres informations utiles concernant le produit tel que sa date de fabrication. Donc il s'agit d'un réseau global des objets appelé « internet des objets » dont l'objectif est suivre tout ce que peut être expédié, stocké ou vendu.

L'application de cette technologie à la localisation en intérieur nécessite l'introduction des algorithmes de localisation. Ces derniers sont nombreux et utilisent plusieurs technologies sans fil, ils sont très différents les uns des autres et répondent en général à des besoins différents en termes de précision, d'échelle, de cible statique ou de suivi de cible.

L'objectif de ce mémoire est la localisation des étiquettes statiques d'un système RFID passif à base de la puissance reçue dans un espace fermé à deux dimensions en appliquant l'algorithme de positionnement multidimensionnel (MDS) et l'algorithme d'optimisation par essaim particulaire (PSO).

L'algorithme MDS initialement destiné à explorer les similarités ou les dissimilarités dans les données pour leur représentation graphique est adapté à la localisation RFID. La matrice des distances entre tous les nœuds de ce système est la donnée d'entrée de cet algorithme. Néanmoins la communication inter-étiquette n'est pas possible dans un système RFID pour estimer la distance inter-étiquette alors une méthode triangulaire est adoptée pour calculer cette distance manquante en fonction des puissances reçues au niveau des différents lecteurs RFID.

Une fonction objectif est la clé d'adaptation de l'algorithme PSO à un problème de localisation RFID. Cette fonction dépend fortement des puissances reçues au niveau des différents lecteurs, l'optimisation au sein de cet algorithme consiste à minimiser cette fonction objectif pour rechercher la position optimale de l'étiquette cible.

L'erreur moyenne de localisation d'un ensemble d'étiquettes cibles, sa fonction de distribution cumulative, ainsi que le facteur temps de calcul sont les paramètres d'évaluation des performances des algorithmes présentés dans ce mémoire.

L'application des algorithmes MDS et PSO à la localisation des étiquettes RFID passives et statiques dans un milieu fermé fait l'objet de ce travail. Les applications de localisation dans les milieux fermés sont diverses: trouver un médecin ou un patient dans un hôpital, surveiller le déplacement d'un objet ou d'une personne, trouver un objet ou un matériel perdu, localiser des objets dans un entrepôt, faire l'inventaire dans un grand magasin.

Ce mémoire est constitué de la présente introduction, de trois chapitres et d'une conclusion.

Dans le premier chapitre, une présentation générale de la technologie RFID et ses applications ont été réalisées ainsi que les avantages et les inconvénients de cette technologie.

Le second chapitre est consacré à la présentation de la métrique RSS qui dépend de la distance tag-lecteur RFID et au principe et différentes étapes des deux algorithmes MDS et PSO alimentés par cette métrique et appliqués à la localisation RFID suivi par les critères d'évaluation de performances.

Le troisième chapitre est dédié à la simulation des trois algorithmes de localisation Multilateration, MDS et PSO sous Matlab. Il présente d'abord les différents paramètres de simulation et les moyens utilisés ainsi que l'environnement indoor de déploiement du système RFID. Vu la nature aléatoire de la métrique RSS, plusieurs simulations ont été menées et à chaque simulation, l'erreur moyenne de localisation d'un ensemble d'étiquettes cibles est calculée. L'évaluation de performances de ces algorithmes est basée sur la fonction de distribution cumulative de cette erreur, sa moyenne ainsi que le temps de calcul estimé pour chaque algorithme.

Finalement, la conclusion résumera les résultats obtenus par simulation et les avantages et les limites de chaque algorithme de localisation et des perspectives à ce travail ont été proposées

# 1 Présentation générale de la technologie RFID

Actuellement, le code à barres est progressivement remplacé par des puces radio fréquence ou « étiquettes » communicantes ayant la possibilité de stocker de l'information de manière dynamique et de communiquer sans fil avec leur environnement ambiant. De plus, depuis quelques années, bon nombre de chercheurs et industriels ont montré que l'on pouvait tirer parti de cette « instrumentation des produits » via cette technologie. Celle-ci s'avère, en effet, d'un grand apport dans des domaines tels que la traçabilité, la lutte contre les « contrefaçons », le pilotage de la production, la domotique ont été démontrés.

## 1.1. Définition de la technologie RFID

L'abréviation RFID signifie « Radio Frequency Identification ». En français elle signifie « Identification par Radio Fréquence ». Cette technologie permet d'identifier un objet, de suivre son cheminement et de connaître ses caractéristiques à distance grâce à une étiquette émettant des ondes radio, attachée ou incorporée à cet objet. Ces dispositifs électroniques sont principalement utilisés pour des applications d'identification, d'antivol, et de suivi de production, d'individus, d'animaux, et de chemins. Les RFID font partie des technologies d'identification automatique, que l'on appelle aussi AIDC telles que la reconnaissance optique de caractères, les codes barre et les cartes à puce [Ha 09] [Yg 08]. Il s'agit donc d'une méthode d'identification basée sur l'extraction sans fil des données contenues dans des dispositifs appelés tags RFID ou transpondeurs [En 04].

## 1.2. Histoire de la technologie RFID

La technologie RFID existe depuis plus de 60 ans. Utilisée pour la première fois dans le domaine militaire, elle est généralisée à tous les secteurs à partir de 1980. Dans le but de présenter l'évolution de la RFID, quelques avancements chronologiques sont donnés ci-dessous [Fr 08][Ni 05]:

Dans les années 1940, La première application RFID remonte à la seconde guerre mondiale, parallèlement au développement de la radio et du radar (1935: Watson-Watt): Pour vérifier l'appartenance « amie » ou « ennemie » des avions arrivant dans l'espace aérien Britannique, les alliés placent des balises répondant aux demandes des radars. Ce système dit IFF (Identify: Friend or Foe) est toujours la base utilisée pour le contrôle du trafic aérien.

Dans les années 80, Les avancées technologiques permettent l'apparition du tag passif. L'absence de source d'énergie embarquée rend le tag moins coûteux. Le tag reçoit son énergie par le signal du lecteur. Les distances de lecture obtenues sont de quelques centimètres.

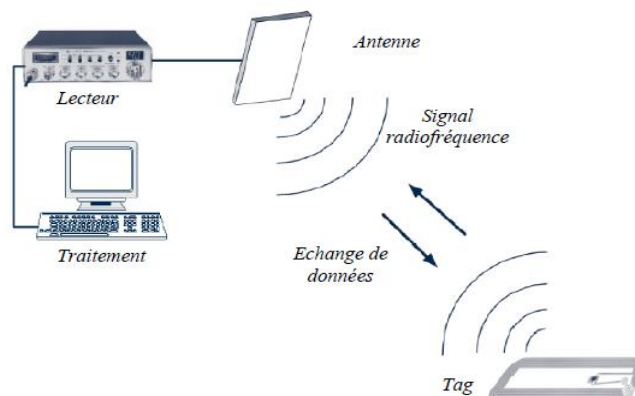
Dans les années 1990, la conception des systèmes à 125 kHz prévus pour être produits en masse démarre réellement. Il s'agit des systèmes dits « immobilizer » ou encore « anti démarrage », initialisés par le groupe d'assurance allemand Allianz afin de lutter contre le vol des véhicules automobiles.

De 1998 à 1999, une période qui marque le début d'une compétition entre l'Europe et les Etats-Unis pour les applications de gestion de chaîne logistique et d'articles, avec des technologies et des bandes de fréquences différentes: BF/HF en Europe et UHF aux Etats-Unis.

En 2004, l'organisation EPC global est apparue ayant pour mission première de développer un standard définissant un système d'identifiant unique par objet EPC, destiné à être intégré dans une étiquette électronique identifiable par radio fréquence (RFID). L'étiquette RFID sera le support du système EPC, soit le code électronique du produit, représentant « Le réseau de la traçabilité des objets ».

### 1.3. Composition d'un système RFID

Un système RFID utilise les ondes radio pour transmettre et recevoir de l'information afin de permettre l'identification automatique d'objets, il se compose de deux entités: les étiquettes et les lecteurs qui communiquent entre eux comme le montre la Figure 1.1



**Figure 1.1:** Composition d'un système RFID [An 08]

- Un tag ou étiquette intelligente (aussi appelé transpondeur) est associé à l'élément à identifier. Il est capable de répondre à une demande venant d'un lecteur.

- Une station de base ou lecteur RFID qui a pour mission d'identifier le tag. Le lecteur envoie une onde électromagnétique en direction de l'élément à identifier. En retour, il reçoit l'information renvoyée par le tag.

### 1.3.1. Etiquettes

Les étiquettes RFID sont des petites puces programmées comprenant les informations relatives à un produit, qui sont entreposées dans une base de données. L'architecture de ces dispositifs RFID est constituée d'un étage de modulation / démodulation du signal support de la communication, d'un étage de mémorisation des informations transmises par le signal modulant ou des informations stockées localement, et d'une intelligence locale dévolue à un microcontrôleur [Na 08]. Le tout est alors imprimé sur un support pliable, souvent adhésif.

La Figure 1.2 présente un exemple de tag où l'on distingue ses éléments constitutifs.



**Figure 1.2:** Exemples d'étiquettes RFID [He SD]

Les étiquettes RFID peuvent être différenciées en fonction de la source d'alimentation. Trois catégories ont été distinguées: les étiquettes actives, les étiquettes passives et les étiquettes semi-passives :

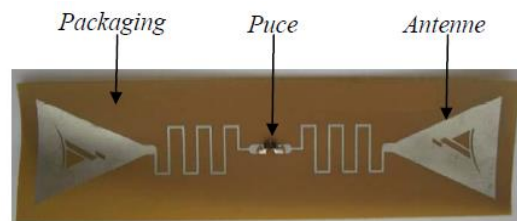
#### 1.3.1.1. Etiquettes actives

Les tags actifs possèdent une alimentation, un transmetteur et un récepteur radiofréquence qui leur sont propres. Ils sont principalement utilisés dans des applications de télémétrie, pour communiquer un grand nombre d'informations sur de grandes distances mais leur coût avoisine 25\$ pour l'unité. Ce type de transpondeur possède une batterie embarquée qui permet l'alimentation du circuit intégré de commande et la transmission/réception d'un signal. Il permet d'atteindre des distances de fonctionnement de l'ordre de quelques centaines de mètres [An 08]. Ils fonctionnent sur des bandes UHF et sont surtout utilisés dans un contexte de

gestion d'actifs à valeur élevée et, où la distance de lecture est importante. Par exemple, la localisation de containers dans les ports ou les paiements automatisés dans les postes de péages routiers sont des applications établies [Yg 08].

#### 1.3.1.2. Etiquettes passives

Les étiquettes passives ont une conception plus simple et permet d'obtenir des coûts unitaires bien plus bas entre 0,1\$ et 2\$ pour l'unité. Elles ne possèdent ni batterie, ni transmetteur radiofréquence et ne génèrent donc pas d'ondes radiofréquence. Leurs circuits s'alimentent à partir de l'énergie électromagnétique rayonnante qu'elles reçoivent des lecteurs RFID et qu'elles collectent par leurs antennes. Elles utilisent le principe de modulation par rétro-réflexion pour transmettre leurs données aux lecteurs. Par contre, les distances de lecture de ce type d'étiquettes sont bien plus courtes que dans le cas des étiquettes actives, de 3 à 10 mètres en fonction de la puissance de transmission du lecteur. La Figure 1.3 ci-dessous illustre un tag RFID UHF passif. Ce type de tag est constitué d'une antenne et d'une puce électronique, tous deux assemblés dans un packaging. La puce contient l'identifiant du tag et réalise les opérations de communication.



**Figure 1.3:** Composition d'un Tag RFID [An 08]

#### 1.3.1.3. Etiquettes semi-passives

Les tags semi-passifs sont un compromis entre les tags actifs et les tags passifs. Ils disposent comme les tags actifs de sources d'alimentation qui leur sont propres. Cependant, ils utilisent comme les tags passifs le principe de modulation par rétro-réflexion pour transmettre leurs informations aux lecteurs. Ils ne disposent donc pas de transmetteur radio fréquence. Le coût de ce type de tag est moins élevé. Il est compris entre 5\$ et 40\$. Ce type de tag est généralement d'une conception simple. Toutefois, on peut leur trouver plusieurs inconvénients [An 08] :

- ✓ Leurs fiabilités : il est impossible de savoir si leurs batteries sont encore opérationnelles.
- ✓ Leurs coûts : la connexion de leurs batteries avec leurs circuits augmente le coût comparativement à un tag passif.

- ✓ Leurs impacts environnementaux : leurs proliférations représentent un danger pour l'environnement, leurs batteries contenant des substances très polluantes.

Cependant, ce type de transpondeur s'avère être un bon compromis car leur coût est moindre, relativement aux tags actifs, et que leur distance de lecture est plus grande que celle des tags passifs. Le tableau 1.1 présente les différentes caractéristiques des étiquettes actives et passives [Ne 10].

**Tableau 1.1:** Comparaison des caractéristiques des étiquettes actives et passives

| Caractéristiques                                       | Etiquette Passive | Etiquette Active |
|--------------------------------------------------------|-------------------|------------------|
| Taille petite                                          | <b>X</b>          |                  |
| Durée de vie importante                                | <b>X</b>          |                  |
| Coût faible                                            | <b>X</b>          |                  |
| Portée importante                                      |                   | <b>X</b>         |
| L'information peut être effacée, réécrite ou modifiée. |                   | <b>X</b>         |

### 1.3.2. Lecteurs RFID

Les lecteurs RFID sont des dispositifs électroniques qui émettent et reçoivent des signaux par radio fréquence. Ils sont couplés à une ou plusieurs antennes et utilisent un mécanisme de communication qui permet de reconnaître et de différencier automatiquement les transpondeurs RFID se trouvant dans leur champ de lecture [Wa 09]. Les lecteurs RFID ont deux interfaces. La première est une interface RF permettant la communication avec les tags dans leur champ de lecture afin de récupérer leurs identités. La deuxième est une interface de communication généralement IEEE 802.11 ou 802.3 pour communiquer avec les serveurs. Les principaux types de lecteurs sont mobiles, fixes ou portatifs illustrés par la Figure 1.4.



**Figure 1.4:** Différents types de lecteurs RFID

Un lecteur RFID exécute une variété de fonctions ; il permet :

- ✓ L'activation des puces passives en envoyant les signaux nécessaires ;
- ✓ Le codage et le décodage de l'information nécessaire.

Historiquement, les lecteurs RFID sont destinés à lire les données d'un seul type d'étiquette, mais aujourd'hui les lecteurs existant sur le marché sont appelés des lecteurs multi-modes qui peuvent lire différents types de données. La puissance du lecteur combinée avec celle d'une antenne adéquate, permet de déterminer sa portée optimale.

### 1.4.Mode de fonctionnement

Il existe plusieurs types de fonctionnement et de communication possibles pour les transpondeurs [Fr 08]:

**Lecture seule:** il est uniquement possible de lire le transpondeur. Ses informations peuvent être préalablement inscrites par le fabricant, mais il arrive que, le transpondeur soit livré vierge et c'est l'utilisateur qui en détermine le contenu. Dans ce dernier cas, il s'agit d'une seule écriture, et de multiples lectures WORM (Write Once, Read Multiple). Les étiquettes des produits vendus en hypermarchés en sont un exemple.

**Lectures et écritures multiples:** l'objectif est la réutilisation du transpondeur et/ou la mise à jour de ses informations. Certaines zones mémoires sont programmées soit pour une durée déterminée, dans le cas du mode MTP (Multiple Time Programmable), soit de manière illimitée (ou seulement par la technologie) dans le cas du mode R/W (Read/Write). Le suivi sur les chaînes de productions des produits (fabrication, puis mise au point, test, etc.) en est un exemple.

**Lectures et/ou écritures protégées:** la protection des données « secrètes » lues ou écrites peut être faite de manière logicielle (mots de passe) ou matérielle (timing particulier) et appliquée pour tout ou pour une partie de la mémoire. Dans le cas de l'écriture il peut aussi y

avoir des zones mémoires programmables de manière unique dite OTP (One Time Programmable) indépendamment du type de lecture possible.

**Lecture et/ou écriture sécurisées, cryptées:** la sécurisation tient à l'authentification des partenaires (station de base-transpondeur) habilités à correspondre ensemble par des codes évolutifs ou tournants par exemple. Le cryptage des données échangées entre la station de base et le transpondeur sert à contrer les écoutes clandestines et pirates.

### 1.5. Régulations des systèmes RFID

La réglementation régissant les systèmes RFID dépend des autorités publiques. Elle est différente d'un pays à l'autre ce qui ne facilite pas la mise en place d'un système universel particulièrement intéressant dans le contexte actuel de la mondialisation. Les régulations ont pour objectif d'harmoniser le secteur de la RFID afin de faciliter l'accès au marché et donc d'augmenter les volumes des ventes. De plus, elles doivent garantir l'interopérabilité des systèmes RFID et bien sûr, protéger l'utilisateur des dangers que cette technologie peut éventuellement provoquer au niveau de la santé et du respect de la liberté individuelle [RA 07].

#### 1.5.1. Distance d'utilisation

Parmi les premières caractéristiques importantes du cahier des charges d'une application RFID, la distance d'utilisation est en bonne place, et son découpage (liée aux caractéristiques physiques des éléments ou procédés mis en jeux) est illustrée au tableau 1.2. [Fr 08]

**Tableau 1.2:** Description des distances d'utilisation

|                      | <b>Distance</b>          | <b>Objectif/ exemple d'application</b>            |
|----------------------|--------------------------|---------------------------------------------------|
| Très courte distance | Du contact au < 5 mm     | Isolation galvanique souhaitée. Contrôle d'accès. |
| Courte distance      | Du contact à 30 mm       | Immobiliseur de véhicule, contrôle d'accès        |
| Proximité            | De $\approx$ 5 à 15 cm   | Carte de paiement, de transport                   |
| Voisinage            | De $\approx$ 30 cm à 1 m | Suivi de chariots, de bagages en aéroport         |
| Longue distance      | De $\approx$ 1 à 10 m    | Lecture de palettes, inventaire de petits locaux  |
| Très longue distance | A partir de 10 mètres    | Identification container, gestion en entrepôt     |

#### 1.5.2. Fréquence d'utilisation

La fréquence utilisée est « relativement libre » et son choix reste un compromis selon le type d'application visée et les performances recherchées. En général, il en existe plusieurs types. Les fréquences les plus importantes et les plus utilisées sont les basses fréquences (BF: 125 KHz), les hautes fréquences (HF: 13,56 MHz), les ultra-hautes fréquences (UHF: 860-930 MHz)

et les fréquences micro-ondes ou super-haute fréquence (SHF: 2,45 GHz) [Wa 09].

L'existence d'une fréquence dépend du pays et du continent, sa performance est en fonction de plusieurs facteurs dont l'environnement d'utilisation, la distance et la viabilité de lecture. Par exemple, les BF sont moins sensibles aux contraintes de l'environnement d'utilisation (poussière, métal, liquide, etc.), mais elles ne permettent qu'une lecture à quelques centimètres. Les UHF, par contre, permettent des lectures à des distances plus importantes mais elles sont par exemple très sensibles à la poussière, aux liquides et aux métaux. Le tableau 1.3 présente les gammes des fréquences les plus utilisées par région géographique.

En général, le choix de la fréquence d'opération d'un système RFID dépend de nombreux facteurs dont le type d'application, le type du produit, l'environnement d'opération et le pays d'opération.

**Tableau 1.3:** Gammes des fréquences les plus utilisées

| Caractéristiques                                            | Gammes de fréquences |          |                                                                          |                  |
|-------------------------------------------------------------|----------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------|------------------|
|                                                             | BF                   | HF       | UHF                                                                      | SHF              |
| Europe et Afrique                                           | 125-134KHz           | 13,56MHz | 865-868 MHz                                                              | 2 ,446-2,454 GHz |
| Amérique du Nord et du Sud                                  |                      |          | 902-928 MHz                                                              | 2 ,4-2,4835 GHz  |
| Asie et Océanie                                             |                      |          | En cours de normalisation (ex.865-956MHz en Inde et 950-956MHz au Japon) | 2 ,427-2,47 GHz  |
| Type de transpondeur                                        | Passif               | Passif   | Actif et passif                                                          | Actif et passif  |
| Taux de transfert de données                                | Lent                 | Moyen    | Rapide                                                                   | Très rapide      |
| Capacité de lecture près du métal ou des surfaces mouillées | Meilleur             | Mieux    | Pire                                                                     | Le pire          |

### 1.5.3. Puissances autorisées

Les réglementations sur les puissances autorisées varient fortement en fonction des pays. Les puissances maximales autorisées sont exprimées en Watt pour les fréquences UHF et micro-ondes. Mais ces puissances sont calculées différemment en Europe et aux Etats-Unis. Les puissances permises aux Etats-Unis sont supérieures à celle permises en Europe. En Europe, l'unité est le Watt calculé en ERP (Effective Radiated Power) alors qu'aux Etats-Unis, l'unité est toujours le Watt mais calculé en EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power).

Le tableau 1.4 donne un aperçu des puissances maximales autorisées en Europe et aux Etats-Unis pour les différentes fréquences de communication. Ces données sont celles proposées par les instances de régulation ETSI pour l'Europe et FCC pour les Etats-Unis [Fi 03] [Pa 01]. La méthode de calcul américaine se base sur une normalisation de la puissance par rapport à une antenne témoin isotrope. Le rapport entre les deux unités est le suivant:  $1W_{ERP} = 1,62 W_{EIRP}$ . En ce qui concerne les systèmes fonctionnant en champ proche (autour de 13,56 MHz), c'est l'intensité maximale du champ en A/m qui est spécifiée.

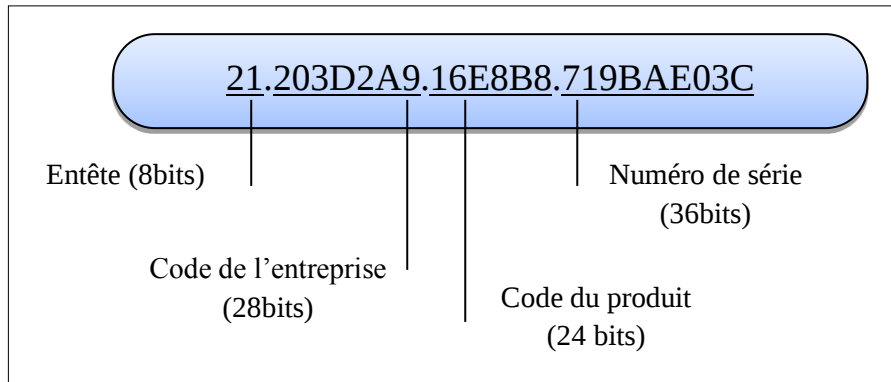
**Tableau 1.4:** Puissances autorisées en fonction des fréquences de communication

| Région     | Bande de fréquence | Puissance autorisés    |
|------------|--------------------|------------------------|
| Europe     | 13,56 MHz          | 42 dB $\mu$ A/m        |
| Europe     | 865,5-867,6 MHz    | 2 W ERP                |
| Europe     | 869,4-869,5 MHz    | 0,5 W ERP              |
| Europe     | 2,4-2,4835 MHz     | 0,5 W ERP en extérieur |
| Europe     | 2,4- 2,4835 MHz    | 4 W ERP en intérieur   |
| Etats-Unis | 902-928 MHz        | 4 W ERP                |
| Etats-Unis | 2,4-2,4835 MHz     | 4 W ERP                |

#### **1.5.4. Le standard EPCglobal**

L'EPCglobal est l'organisation en charge du développement des standards pour permettre l'interopérabilité au niveau de l'encodage, de la communication et de la synchronisation des données RFID. En 2003, à la suite d'un accord survenu entre le centre de recherche Auto-ID du Massachusetts Institute of Technology (MIT), EAN international et UCC (Uniform Code Council), l'EPCglobal est chargé d'assurer le déploiement du système EPC à travers le monde [Fr 08].

Le standard EPC se compose d'un système de codification séquentielle des produits, l'Electronic Product code, d'un standard d'étiquette RFID et d'un réseau de partage d'informations, l'EPC Network. Ces trois éléments constituent ainsi des solutions de traçabilité et de gestion de la chaîne d'approvisionnement. Comme le code barre, l'EPC (voir Figure 1.5) est un nombre, il est plus long que celui de code barre et, au lieu d'être imprimé sous la forme de barres parallèles, il est stocké dans un tag RFID.



**Figure 1.5:** Structure du code EPCglobal 96 bits

Entête: version du standard EPC utilisé.

Code de l'entreprise: code du fabricant.

Code du produit: type de produit, par exemple « Boîte de conserve».

Numéro de série: numéro unique : « cette Boîte de conserve».

En d'autres termes, l'EPC permet virtuellement de numérotter tous les objets de la planète. Le but est bien sûr, pour les industriels, d'anticiper la demande, de réduire les stocks et de prévoir les pénuries. Bref, les perspectives économiques sont énormes [Ni 05].

## 1.6. Classification des systèmes RFID

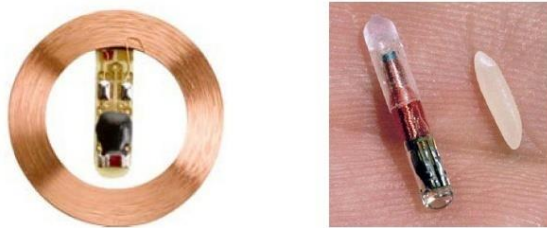
En fonction des différentes fréquences, les principes physiques mis en œuvre ne sont pas les mêmes. Ainsi les systèmes RFID ont une très grande diversité leur permettant de répondre à de nombreux besoins. Chacune de ces technologies a été introduite en les différenciant par les principes physiques qu'elles utilisent.

### 1.6.1. Systèmes RFID à couplage inductif

Cette famille de système RFID comprend les systèmes BF et HF. Leurs transpondeurs utilisent des antennes magnétiques. En effet, le lien RF entre les antennes du lecteur et du tag se fait par couplage inductif ou capacitif. Dans ces conditions, la distance entre le lecteur et le tag est très petite devant la longueur d'onde du signal, c'est le cas de champ proche. Ils sont constitués d'une bobine inductive d'inductance  $L$  réalisant le rôle d'antenne, d'une puce électronique contenant l'identifiant de tag et réalisant les opérations de communication, et enfin d'une capacité  $C$  permettant de faire résonner le circuit  $LC$  à la fréquence de travail.

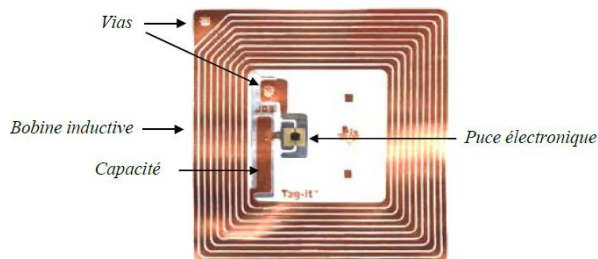
Pour les systèmes BF, la distance d'opération est limitée à quelques centimètres, dans la boucle magnétique du lecteur. L'avantage principal vient de l'habileté des ondes BF à se propager à travers les tissus biologiques. Ces systèmes sont donc particulièrement appropriés pour des applications RFID médicales ou vétérinaires.

La Figure 1.6 illustre deux tags BF. Le premier est constitué d'une bobine en fil de cuivre connectée à un circuit, lui-même constitué d'une puce et d'une capacité. Il est usuellement moulé dans un matériau plastique. Le second est constitué d'une bobine enroulée sur une ferrite afin de réduire sa taille, d'une puce et d'une capacité, le tout encapsulé dans du verre pour une application vétérinaire [An 08].



**Figure 1.6:** Etiquettes RFID BF [An 08]

Les systèmes HF sont quant à eux, à l'heure actuelle, les systèmes de radio-identification les plus répandus. La Figure 1.7 ci-dessous illustre un tag HF. Cette bande de fréquences a l'avantage d'offrir une bonne pénétration du signal à travers les obstacles et un fonctionnement à une distance de l'ordre du mètre.



**Figure 1.7:** Etiquette RFID HF (Tag-it HF de Texas Instrument) [An 08]

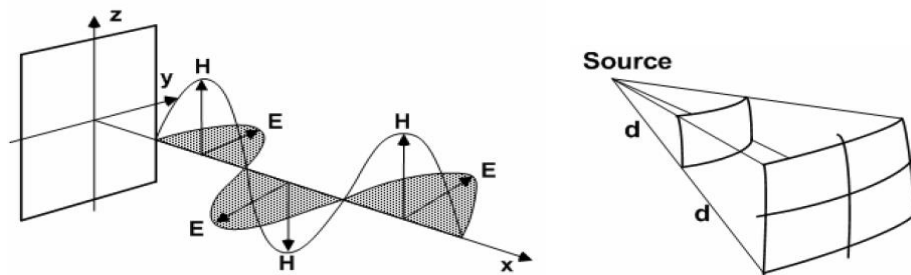
Pour ces deux types de systèmes, la modulation est réalisée en variant le couplage magnétique existant entre le lecteur et le tag. Cela se fait par la puce en modifiant un des éléments du circuit de résonance  $LC$  du tag qui peut être sous la forme d'un circuit série ou parallèle [An 08].

- ✓ **Résonance série:** cette configuration résulte en une impédance minimum à la fréquence de résonance. On a donc un courant maximum à la résonance. Cette configuration simple est utilisée pour la lecture à proximité du lecteur.

- ✓ **Résonance parallèle:** A l'opposé, ce type de configuration résulte en une impédance maximum à la fréquence de résonance. Cela permet d'avoir une tension maximum. Cette configuration est de loin la plus utilisée.

### 1.6.2. Systèmes RFID UHF et micro-ondes

Dès que l'application impose de plus grandes distances de communication ou un plus grand débit d'échange d'information, les systèmes RFID fonctionnant en UHF et microondes sont préférés. Dans ce cas, les phénomènes de rayonnement n'obéissent plus aux lois du couplage inductif mais à ceux de la propagation ; on dit que la communication se produit en champ lointain. Ainsi, l'amplitude du champ propagé décroît en  $1/d$ ,  $d$  étant la distance entre le lecteur et le tag au lieu d'une décroissance en  $1/d^3$  pour le champ proche [Je 06] [RA 07].



**Figure 1.8:** Mode de propagation en onde électromagnétique [Je 06]

La frontière théorique entre le champ proche et le champ lointain se situe à une distance de  $(\lambda/2\pi)$  de l'antenne,  $\lambda$  étant la longueur d'onde du signal. Là encore, le tag récupère l'énergie contenue dans l'onde électromagnétique émise par le lecteur pour s'alimenter.

Quant à la communication descendante du tag vers le lecteur, elle est assurée par la technique de rétro-modulation ou « backscattering ». Cette technique est basée sur le principe de la réflexion d'une partie de l'onde électromagnétique envoyée par le lecteur. En effet, en variant le coefficient de réflexion au niveau de l'interface entre l'antenne du tag et la puce, l'onde incidente est plus ou moins densément réfléchi. La variation de ce coefficient de réflexion résulte d'une variation de l'impédance d'entrée de la puce, créant ainsi une désadaptation d'impédance. C'est pourquoi cette technique est aussi appelée la technique de modulation de charge [RA 07]

Ce mode d'interaction permet donc de communiquer sur des distances plus grandes et de transmettre des débits de données plus importants avec des antennes, en fonction de la longueur d'ondes qui seront plus petites. En contrepartie, ces systèmes sont plus complexes que les systèmes inductifs. La propagation des ondes est plus difficile à prévoir, parfois aléatoire, et les phénomènes d'interférence sont plus délicats à traiter.

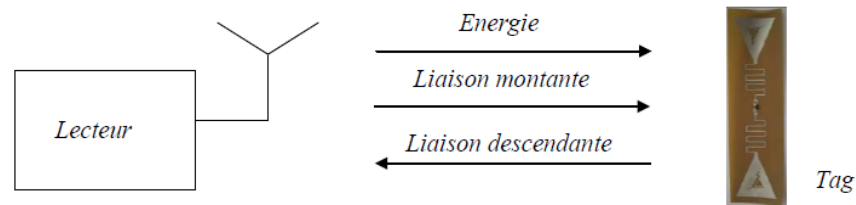
Cependant, en opérant à des fréquences de 900 MHz, il est possible de réduire fortement la taille des antennes ce qui contribue à la miniaturisation des équipements [Je 06].

### 1.7. Protocole de communication des systèmes RFID

Une communication commence dès que le premier interlocuteur parle. Le tout étant maintenant de savoir qui, le lecteur ou le tag RFID, va, peut ou doit parler en premier. Deux possibilités s'offrent et s'opposent :

- ✓ Le tag parle en premier: TTF (Tag Talk First) ou ATR (Answer To Reset).
- ✓ Le lecteur parle en premier: RTF (Reader Talk First) ou ATQ (Answer To reQuest).

Le protocole RTF est celui qui est mis en œuvre dans le standard EPCglobal Class 1 génération 2 (ou C1 Gen2). Lorsqu'un tag RTF entre dans un champ d'un lecteur, il attend une requête avant de transmettre son identifiant [An 08][Fr 08]. La communication des données est bidirectionnelle : la communication du lecteur vers le tag est appelée liaison montante (uplink) et la réponse du tag vers le lecteur est appelée liaison descendante (downlink) [An 08]. La Figure 1.9 illustre le principe d'une communication RFID.



**Figure 1.9:** Représentation d'une communication RFID [An 08]

Une fois la communication engagée, le dialogue peut être alterné (Half duplex), ou simultané (Full Duplex) entre les liaisons montantes et descendantes. Une écrasante majorité des systèmes RFID utilise le mode alterné. La communication est toujours numérique (0 ou 1) entre les deux entités.

### 1.8. Domaines d'applications de la RFID

Les systèmes RFID sont utilisés, depuis plusieurs années, dans des applications relativement classiques comme les systèmes d'antivol dans les magasins. Récemment, les évolutions technologiques ont favorisé leur apparition dans des domaines moins classiques ; ce qui soulève d'importantes questions relatives au respect de la vie privée, de la protection des données et des libertés individuelles [Ne 10].

**Dans le domaine commercial:** Le système RFID permet aux fabricants et aux fournisseurs non seulement de diriger et de distribuer efficacement leurs produits mais aussi de contrôler la sécurité à travers l'identification des délais potentiels et des carences. Ainsi, la technologie RFID permet aux autorités de vérifier la sécurité et la certification d'articles transportés.

**Dans le domaine militaire:** La technologie RFID permet d'identifier les appareils. En effet, les militaires ont besoin d'identifier à longue distance. La technologie RFID a été fortement utilisée durant la guerre en Irak pour distinguer les avions par radar.

**Dans le domaine industriel:** Un système RFID sert à relever les données des capteurs et à contrôler les équipements industriels. Il permet également un suivi des produits en usine, le stockage et l'achat. Par ailleurs, il y a quelques temps, les entreprises testaient le suivi de leurs employés grâce à une puce RFID glissée sous la peau.

**Dans le domaine de traçabilité:** La sécurité alimentaire constitue une préoccupation de plus en plus aiguë.

**1. La traçabilité logistique (Tracking):** C'est une forme de traçabilité qui désigne le suivi quantitatif des produits. Elle dépend du bon enregistrement des liens entre les produits successifs dans la filière. La traçabilité logistique porte surtout sur le positionnement géographique des unités logistiques.

**2. La traçabilité produit (Tracing):** C'est une forme de traçabilité qui désigne le suivi qualitatif des produits. Elle dépend surtout du bon enregistrement et de l'exhaustivité des données liées au produit. Un fabricant l'utilise notamment pour rechercher les causes d'un problème qualité. La traçabilité produit porte surtout sur les caractéristiques des unités consommateurs.

L'utilisation de la technologie RFID s'étend progressivement à tous les domaines où le souci de traçabilité prend une importance particulière : produits toxiques, industrie pharmaceutique etc.

**Dans le domaine de sécurité:** Le contrôle d'accès est l'une des applications les plus connues de la technologie RFID. Grâce à cette technologie, il n'y a pas besoin d'utiliser des clés ou des cartes magnétiques. Il suffit de passer une carte d'accès devant un lecteur et la porte s'ouvre ou ne s'ouvre pas en fonction des droits dont dispose le porteur. La Figure 1.10 montre des exemples d'utilisation de la technologie RFID pour le contrôle d'accès au métro, l'identification des personnes, des matériels et des cartes magnétiques.



**Figure 1.10:** Exemples d'utilisation de la RFID [Ne 10]

## 1.9. Avantages et inconvénients de la technologie RFID

### ❖ Avantages

La RFID est une technologie flexible, commode, facile à utiliser et parfaitement adaptée aux opérations automatisées. Elle combine des avantages que l'on ne retrouve pas dans d'autres technologies d'identification. La RFID ne requiert aucun contact ni aucune visibilité directe entre le lecteur et l'objet à identifier. Elle fonctionne dans des environnements rudes, permet la lecture simultanée de plusieurs étiquettes et fournit un haut niveau d'intégrité des données. La RFID offre en outre une sécurité accrue et permet l'authentification des produits grâce au placement discret des étiquettes et à la difficulté de les contrefaire.

La technologie RFID [Ta 12]:

- ✓ Permet de stocker un nombre considérablement plus élevé de données que les étiquettes de code à barres ;
- ✓ Élimine l'erreur humaine ;
- ✓ Accroît la vitesse et l'efficacité d'identification et de traitement;
- ✓ Augmente la disponibilité des informations;
- ✓ Offre une sécurité accrue ;
- ✓ Permet d'accéder aux données avec ou sans connexion réseau.

**❖ Inconvénients**

Comme toute technologie, les systèmes RFID présentent quelques inconvénients, parmi lesquels [Ta 12]:

- ✓ La perturbation par l'environnement physique: La lecture des étiquettes radio fréquences est perturbée par la présence, par exemple, des métaux dans leur environnement.
- ✓ Les perturbations induites par les étiquettes entre elles : Dans de nombreuses applications, plusieurs étiquettes radio fréquences peuvent se présenter en même temps dans le champ du lecteur.
- ✓ La sensibilité aux ondes électromagnétiques parasites : Les systèmes de lecture RFID sont dans certaines circonstances sensibles aux ondes électromagnétiques parasites émises par des équipements informatiques (des écrans d'ordinateurs).
- ✓ Les interrogations sur l'impact de la radio fréquence sur la santé : Cette question fait débat depuis quelques années. Les études portent essentiellement perturbations sur les équipements de santé tels que les pacemakers mais aussi sur l'organisme humain.

**Conclusion**

Dans ce premier chapitre, quelques généralités sur les systèmes RFID ont été présentées en mettant l'accent sur leurs procédés physiques mis en œuvre et leurs avantages. Ceci afin de mieux comprendre cette technologie et découvrir tout ce qu'elle peut apporter de plus dans les différents domaines à savoir : la sécurité, la gestion des stocks, et l'amélioration de la chaîne d'approvisionnement....

Comme nous l'avons mentionné, les applications de la RFID sont extrêmement nombreuses et s'enrichissent tous les jours de nouvelles idées. Parmi le nombre quasi illimité d'applications possibles, nous nous intéresserons, dans le deuxième chapitre, à la localisation des étiquettes RFID dont elle joue un rôle important dans un grand nombre d'applications.

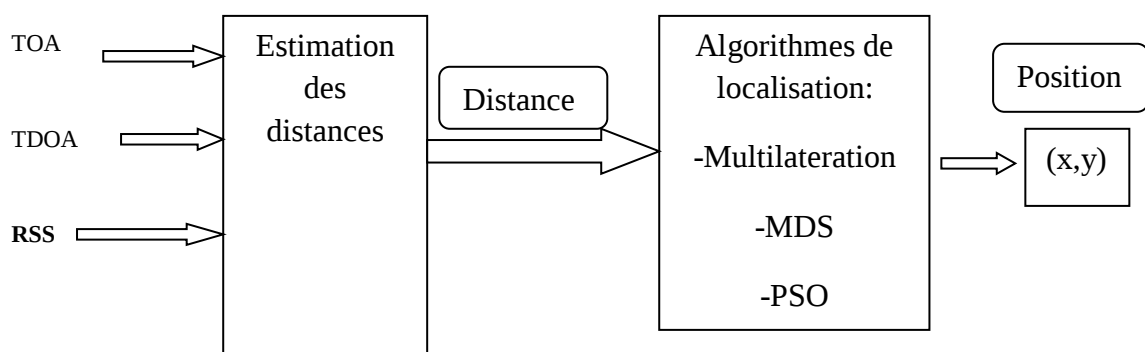
## 2 Localisation: Les algorithmes MDS et PSO

Les techniques d'estimation de la distance reposent sur un des paramètres de détection tel que la puissance du signal reçu (RSS) ou le temps d'arrivée (TOA) du signal entre le lecteur et l'étiquette RFID. Une de ces données peut être le seul paramètre d'entrée de l'algorithme de localisation ou la fusion avec un autre pour estimer la position d'une cible. Certains algorithmes se basent sur la résolution d'un système d'équations surdéterminé grâce à plusieurs points de référence pour améliorer la précision de la localisation, d'autres estiment la position de la cible dans un système de coordonnées relatif puis les transforment dans le système actuel, cependant un autre type de ces algorithmes définit une fonction objectif à atteindre pour déterminer la solution optimale à un problème de localisation.

Dans ce chapitre, les algorithmes de localisation MDS et l'algorithme PSO à base de RSS ont été étudiés dans un espace à deux dimensions. Le premier détermine la position de la cible dans un autre système de coordonnées puis la transforme en coordonnées absolues tandis que le deuxième estime la position en optimisant une fonction objectif.

### 2.1 Blocs fonctionnels d'un système de localisation RFID

Un système de localisation RFID comporte généralement deux grands blocs fonctionnels, qui sont le bloc de détection de l'emplacement et le bloc de traitement de positionnement [Zh 10]. Le bloc de détection de l'emplacement extrait les informations sur la position de l'étiquette en termes de portée dépendante de l'un des paramètres métriques tels que la puissance du signal (RSS), le temps de parcours (TOA), la différence des temps d'arrivée entre différents points (TDOA) comme le montre la Figure 2.1



**Figure 2.1:** Blocs fonctionnels d'un système RFID

L'objectif du bloc de traitement de positionnement est de déterminer l'emplacement d'une étiquette ou d'un lecteur RFID basé sur les informations obtenues à partir du premier bloc en exécutant un des algorithmes de localisation.

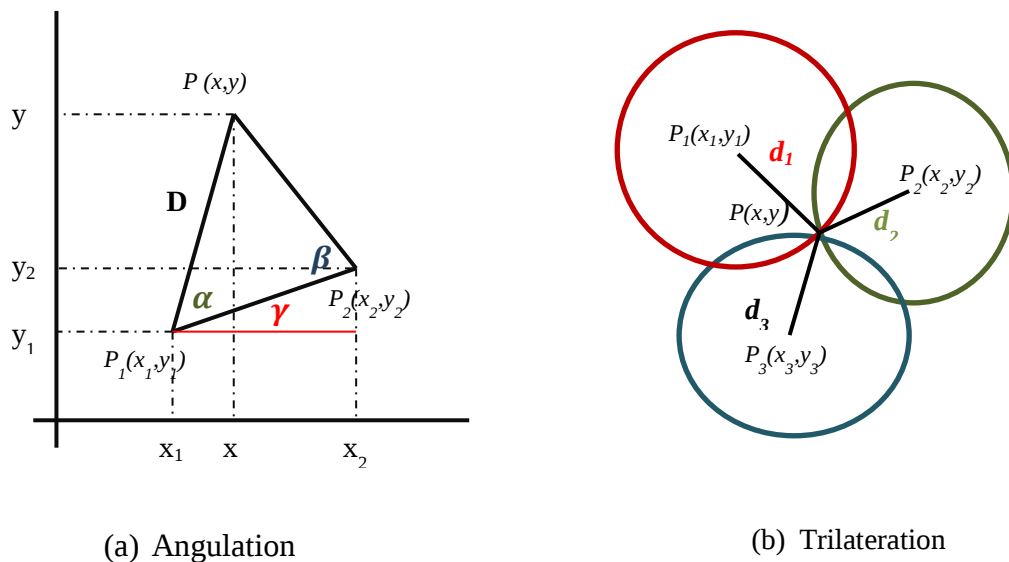
## 2.2 Principes de positionnement indoor

La propagation radio dans les environnements indoor est soumise à de nombreux problèmes tels que les chemins multiples (multipath), ligne de visée rare (NLOS), absorption, diffraction et réflexion. Comme le signal ne peut pas être mesuré très précisément, plusieurs algorithmes de localisation indoor ont été proposés dans la littérature. Ils peuvent être classés en trois familles : estimation de la distance, l'analyse de scène et la proximité.

### 2.2.1 Estimation de la distance

L'approche par triangulation illustrée par la Figure 2.2 (a) consiste à mesurer l'angle d'incidence (AOA) d'au moins deux points de référence. La position estimée correspond à l'intersection des lignes définies par les angles. Au contraire, l'approche de latération illustrée par la Figure 2.2 (b) estime la position de la cible en évaluant ses distances par rapport au moins trois points de référence.[Bo 08] [Zh 10]

Les techniques de mesure de la portée utilisent la puissance du signal reçu (RSS), le temps d'arrivée (TOA), la différence (décalage) de temps d'arrivée (TDOA) ou la phase du signal reçu.



**Figure 2.2:**Techniques basées sur l'estimation de la distance

### 2.2.2 Analyse de scène

Les approches analyse de scène sont composées de deux étapes distinctes. Premièrement, les informations concernant l'environnement sont recueillies. Ensuite, la localisation de la cible est estimée par correspondance (matching) entre les mesures en ligne avec l'ensemble approprié des empreintes digitales (fingerprints). Généralement les empreintes à base de RSS sont utilisées.

Les deux principales techniques basées sur les empreintes sont l'algorithme k plus proches voisin et l'approche probabiliste [Zh 10].

### 2.2.3 Proximité

Le dernier type des techniques de localisation indoor est basé sur la proximité. Cette approche repose sur le déploiement dense d'antennes. Quand la cible est dans la portée radio d'une seule antenne, son emplacement est supposé être le même que son récepteur. Quand plus d'une antenne détecte la cible, la cible est supposée être au même endroit que celui qui reçoit le signal le plus fort. Cette approche est très simple et facile à implémenter. Toutefois, la précision est médiocre [Zh 10].

## 2.3 Techniques de localisation RFID

En utilisant l'information d'estimation de la distance, une étiquette ou un lecteur peut être localisé en exploitant la technique de localisation Multilateration.

### 2.3.1 Multilateration

La méthode de trilatération/multilatération détermine la position d'une étiquette ou d'un lecteur à l'aide des informations de la portée estimée à plusieurs points de référence séparés dans l'espace, cette portée peut être estimée à l'aide de la métrique RSS. La Figure 2.2 (b) montre ce principe.

La position de l'étiquette cible  $p$  peut être estimée en utilisant la méthode trilatération. Les distances entre cette étiquette et les points de référence (antennes lecteur)  $p_1(x_1, y_1)$ ,  $p_2(x_2, y_2)$  et  $p_3(x_3, y_3)$  sont estimées à  $d_1$ ,  $d_2$  et  $d_3$  respectivement. L'emplacement de  $p$ , noté  $p(x, y)$  peut être déterminé en résolvant les trois équations suivantes :

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = d_i^2, i = 1, 2, 3 \quad (2.1)$$

Si le nombre de point de référence est  $n$  dont les coordonnées  $(x_i, y_i)$  sont connues à priori, et les distances entre l'étiquette inconnue  $(x, y)$  et les points de référence sont estimées à  $d_i$ , on peut obtenir le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} d_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \\ d_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \\ \dots \dots \\ d_n^2 = (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 \end{cases} \quad (2.2)$$

En soustrayant chacune des équations de la première équation et en notant :

$$b_{i1} = \frac{1}{2}(x_1^2 - x_i^2 + y_1^2 - y_i^2 + d_i^2 - d_1^2), \quad i=1,2,\dots,n \quad (2.3)$$

Le système d'équation est linéarisé pour obtenir le nouveau système suivant:

$$\begin{cases} (x_1 - x_2)x + (y_1 - y_2)y = b_{21} \\ (x_1 - x_3)x + (y_1 - y_3)y = b_{31} \\ \dots \dots \\ (x_1 - x_n)x + (y_1 - y_n)y = b_{n1} \end{cases} \quad (2.4)$$

Ce dernier système peut être écrit sous la forme matricielle suivante :

$$A \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = b \quad (2.5)$$

$$\text{Sachant que } A = \begin{pmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 \\ x_1 - x_3 & y_1 - y_3 \\ \dots & \dots \\ x_1 - x_n & y_1 - y_n \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} b_{21} \\ b_{31} \\ \dots \\ b_{n1} \end{pmatrix}$$

En tenant compte des erreurs dues à l'estimation des distances  $d_i$ , plus de points de références doivent être considérés pour améliorer la précision de la localisation. Le système d'équations  $A \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = b$  devient un système surdéterminé et en appliquant la méthode des moindres carrés, la solution aura la forme suivante :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (2.6)$$

L'amélioration de la précision de localisation de ces techniques est assurée par un nombre important de points de référence. L'estimation des coordonnées de la cible repose sur la résolution d'un système d'équations surdéterminé par la méthode des moindres carrées.

## 2.4 Modèle RSS-Distance

La puissance du signal reçu est un paramètre d'estimation de la distance entre le lecteur et l'étiquette RFID. Elle est proportionnelle à la distance parcourue par le signal.

La propagation radio dans les environnements indoor est soumise à de nombreux problèmes tels que les effets de multi-trajets, ligne de visée rare (NLOS), absorption, diffraction et réflexion. Plusieurs modèles empiriques et théoriques ont été proposés pour traduire la différence entre l'intensité du signal transmis et reçu en estimation des distances.

Le bon choix d'un modèle de bilan de liaison (link budget) du système de communication est un facteur influençant qui affecte la précision de la localisation dont l'indice d'affaiblissement et la variance de l'effet d'ombrage (shadowing) dépendent fortement de l'environnement de déploiement du système RFID [We SD]

L'affaiblissement de trajet (*Path Loss*)  $PL(d)$  à un endroit particulier est aléatoire et distribué selon une loi log-normale (normale en dB) au voisinage de la valeur moyenne qui dépend de la distance  $d$ . Dans un tel cas :

$$PL(d)dB = PL(d_0)(dB) + 10 n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma(dB) \quad (2.7)$$

$PL(d)$  est la perte en termes de puissance à une distance  $d$  entre le lecteur et l'étiquette.

$n$  est l'indice d'atténuation. Il est généralement déterminé de façon empirique par des mesures en environnement réel.

$PL(d_0)$  est la perte en termes de puissance à une distance de référence  $d_0=1m$ .

$X_\sigma(dB)$  représente la variable aléatoire gaussienne associée à l'effet d'ombrage  $X_\sigma \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$  de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$  en dB. La distribution log-normale reflète la nature aléatoire de l'effet d'ombrage qui se produit à différents points de mesure de même séparation entre le lecteur et l'étiquette. Donc la puissance reçue à une distance  $d$  est décrite par :

$$RSS(d)[dBm] = P_t[dBm] - PL(d) \quad (2.8)$$

$P_t[dBm]$  est la puissance de transmission.

L'expression :  $C = P_t - PL(d_0) + 10n \log(d_0)$  est une constante.

La distance estimée peut être écrite sous la forme:

$$\hat{d} = 10^{\frac{C-RSS}{10n}} \quad (2.9)$$

A partir des valeurs RSS enregistrées au niveau de chaque lecteur RFID, les distances  $\hat{d}$  seront les données calculées par les algorithmes de la localisation présentés dans ce chapitre.

## 2.5 L'algorithme de positionnement multidimensionnel (MDS)

### 2.5.1 Principe

Le positionnement multidimensionnel (multidimensional scaling) ou MDS est une méthode utilisée pour l'analyse de données de similarité ou de dissimilarité sur un ensemble d'objets. Elle permet de déduire les positions des objets depuis les distances inter-objets.

Dans le contexte de la localisation, le MDS peut être utilisé pour résoudre efficacement le problème de la localisation où les mesures de similarité dans le MDS correspondent à des distances euclidiennes.

Le MDS permet d'associer à chaque objet des positions dans un espace de dimension donnée, de telle sorte que les similarités estimées entre les objets respectent au mieux les similarités originales. Les techniques utilisées pour la recherche de cet espace et des configurations de points associées forment le MDS.

Dans le MDS classique métrique, les similarités entre les paires d'objets sont les distances euclidiennes entre ces objets.

### 2.5.2 Prétraitement des données

Le positionnement multidimensionnel (MDS) permet de passer d'une matrice de distances entre tous les lecteurs et les étiquettes RFID aux coordonnées de ces mêmes éléments dans un espace à  $p$  dimensions par une transformation linéaire (Rotation, Translation, dilatation) dans un système de coordonnées relatif car les distances sont préservées par celle-ci.

Soient deux configurations de points  $X$  et  $Y$  représentant les mêmes points dans deux espaces différents. L'objectif est de transformer la configuration  $X$  pour correspondre au mieux à la configuration  $Y$  [Jo 05].

Si la coordonnée  $x_r$  après transformation est  $\widehat{x}_r$  alors :

$$\widehat{x}_r = \rho R^T x_r + b \quad (2.10)$$

$R$  est une matrice de rotation orthogonale,  $b$  est un vecteur de translation et  $\rho$  est la dilatation. L'objectif est la détermination de ces variables pour minimiser la somme des erreurs entre les distances inter-nœuds.

La Figure 2.5 illustre la zone de déploiement du système RFID, Les lecteurs RFID  $a_i$  sont placés dans les coins de cette zone et les étiquette  $t_i$  sont positionnées à l'intérieur entre les différents lecteurs.

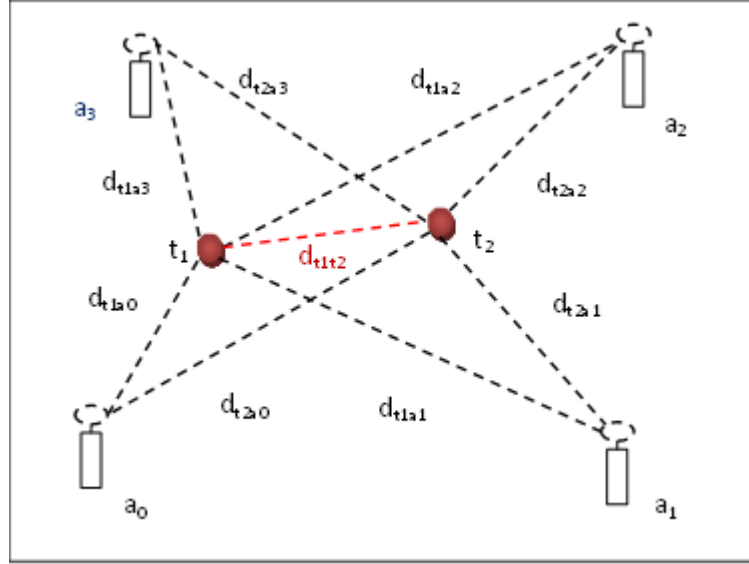
Deux types de distances sont à déterminer comme le montre la Figure 2.3 à savoir:

**Distance lecteur-étiquette:** les puissances reçues de toutes les étiquettes sont disponibles au niveau de chaque lecteur, ces données permettent de déterminer ces distances selon l'équation(2.9).

**Distance inter-étiquettes:** Toutefois, puisqu'une étiquette ne peut communiquer avec une autre, une méthode triangulaire a été proposée pour le calcul de cette distance [We SD]

Les inégalités triangulaires peuvent être utilisées pour trouver une limite supérieure et une limite inférieure pour la distance inter-étiquettes  $d_{t_i t_j}$  à l'aide du triangle formé par les deux étiquettes  $t_i$ ,  $t_j$  et le lecteur  $a$  selon l'équation (2.11).

$$|d_{t_i a} - d_{t_j a}| < d_{t_i t_j} < |d_{t_i a} + d_{t_j a}| \quad (2.11)$$



**Figure 2.3:** Distance inter-étiquettes: les lecteurs  $a_i$  sont déployés dans les coins de la zone d'étude

La distance inter-étiquettes  $d_{t_1 t_2}$  peut être estimée par la borne inférieure  $|d_{t_1 a} - d_{t_2 a}|$  lorsque les deux étiquettes sont placées sur le même côté du lecteur Figure 2.4 (a), cette borne est donnée par l'équation (2.12).

$$d_{t_i t_j}^l = \frac{\sum_{a \in A} (|\hat{d}_{t_i a} - \hat{d}_{t_j a}|)}{|A|} \quad (2.12)$$

La limite supérieure de la distance entre  $t_1$  et  $t_2$  correspond au scénario où le lecteur est situé au milieu des étiquettes Figure 2.4 (b) donnée par la relation suivante :

$$d_{t_i t_j}^u = \frac{\sum_{a \in A} (|\hat{d}_{t_i a} + \hat{d}_{t_j a}|)}{|A|} \quad (2.13)$$

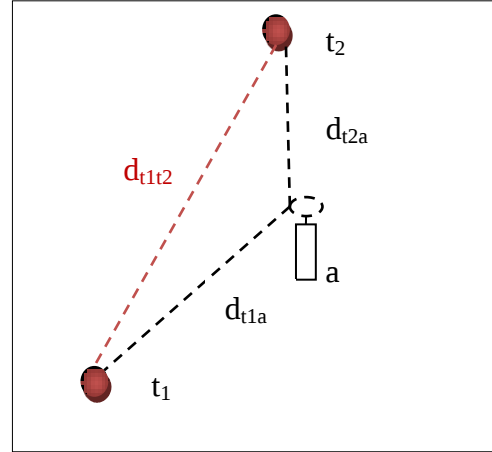
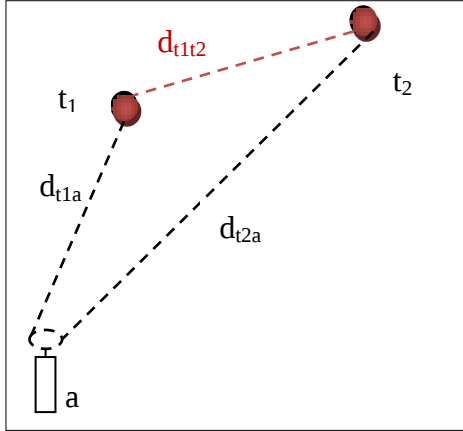
$|A|$  est le nombre de lecteurs RFID.

Quand les lecteurs sont placés dans les coins de la zone de déploiement, il est impossible pour les lecteurs de se trouver au milieu de deux étiquettes. Seule la borne inférieure est efficace pour estimer la distance inter-étiquettes. Dans ce cas, la distance  $d_{t_i t_j}$  peut être estimée seulement par la borne inférieure.

$$\hat{d}_{ti tj} = d_{titj}^l \quad (2.14)$$

Dans le cas où les lecteurs sont déployés de façon aléatoire, la distance  $\hat{d}_{ti tj}$  peut être estimée par :

$$\hat{d}_{ti tj} = \frac{(d_{titj}^l + d_{titj}^u)}{2} \quad (2.15)$$

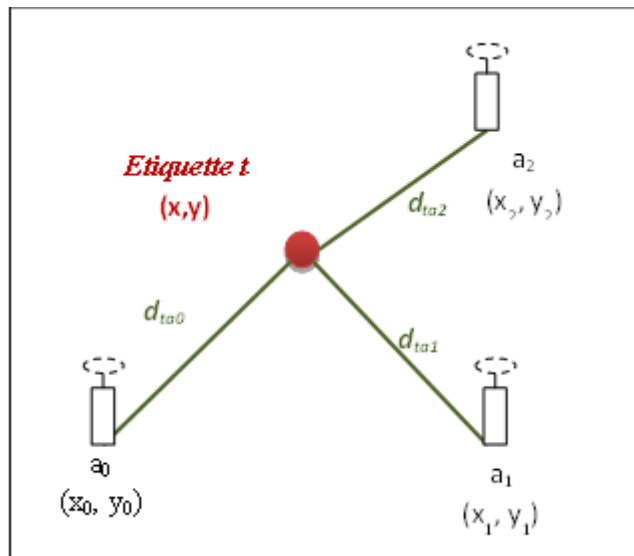


**(a)** Borne inférieure de la distance  $d_{titj}$  quand les étiquettes  $t_i, t_j$  sont du même côté que le lecteur  $a$ .

**(b)** Borne supérieure de la distance  $d_{titj}$  quand le lecteur  $a$  est placé entre les étiquettes  $t_i, t_j$ .

**Figure 2.4:** Bornes de la distance inter-étiquettes

L'équation (2.12) sera utilisée par l'algorithme MDS-RFID pour calculer les distances inter-étiquettes car les lecteurs RFID sont déployés dans les coins de la zone d'étude montrée par la Figure 2.5.



**Figure 2.5:** Zone de déploiement du système RFID

### 2.5.3 Traitement des données

Les mesures de similarité dans l'algorithme MDS sont traitées comme des distances dans l'espace Euclidien. L'objectif de l'algorithme est de trouver un ensemble de points dans l'espace multidimensionnel comme étant un meilleur ajustement aux mesures de similarité par une transformation linéaire [We SD]

Les lecteurs et les étiquettes RFID sont considérés tous comme des nœuds. Il est supposé qu'il y a  $m$  nœuds ayant des positions  $x_i$ ,  $i=1, 2, \dots, m$ . Soit la matrice  $X=[x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m]$ . La dimension de  $X$  est  $2 \times m$ , où il est considéré le problème de la localisation à deux dimensions.

Soit  $D = [\hat{d}_{ij}]$  qui désigne la matrice des mesures de distance entre chaque paire de nœuds, où correspond à la distance mesurée entre les nœuds  $x_i$  et  $x_j$  pour  $i=j$ ,  $\hat{d}_{ii} = 0$  pour tout  $i$ . L'objectif de MDS est de trouver une affectation de  $X$  dans un espace à deux dimensions qui minimise une fonction de contrainte donnée par l'équation suivante:

$$\hat{X} = \underset{X}{\operatorname{argmin}} \operatorname{Stress}(X) \quad (2.16)$$

Où la fonction de contrainte mesurant la qualité de l'ajustement est définie comme suit :

$$\operatorname{Stress}(X) = \sqrt{\frac{\sum (\hat{d}_{ij} - \|x_i - x_j\|)^2}{\sum \|x_i - x_j\|^2}} \quad (2.17)$$

$\|x_i - x_j\|$  est la distance euclidienne entre les deux nœuds  $x_i, x_j$

En MDS classique, les éléments de  $\hat{X}$  peuvent être calculés en utilisant la décomposition en valeurs propres de la matrice des carrés des distances double centrée.

La matrice carrée  $D^2$  est définie comme  $[\hat{d}_{ij}^2]$

Les éléments de la matrice des carrés des distances double centrée sont décrits par la formule suivante :

$$b_{ij} = -\frac{1}{2} \left( \hat{d}_{ij}^2 - \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \hat{d}_{kj}^2 - \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \hat{d}_{ik}^2 + \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m \hat{d}_{kl}^2 \right) = \hat{x}_i^T \hat{x}_j \quad (2.18)$$

$B$  est la matrice définie positive ayant  $m$  valeurs propres positives.

$$B = UVU^T = \hat{X}^T \hat{X} \quad (2.19)$$

$$\hat{X} = UV^{1/2} \quad (2.20)$$

Il en résulte  $\hat{X}$  en utilisant  $U$  et  $V$  qui sont les résultats de calcul des vecteurs et des valeurs propres de la matrice  $B$ . Les éléments de la solution  $\hat{X}$  sont définis dans un espace de  $m$  dimensions. Pour le réduire à un espace de deux dimensions, seulement, les deux plus grandes valeurs propres de  $V$  et leurs vecteurs propres correspondants  $U$  sont conservés.

#### 2.5.4 Inscription dans un système de coordonnées

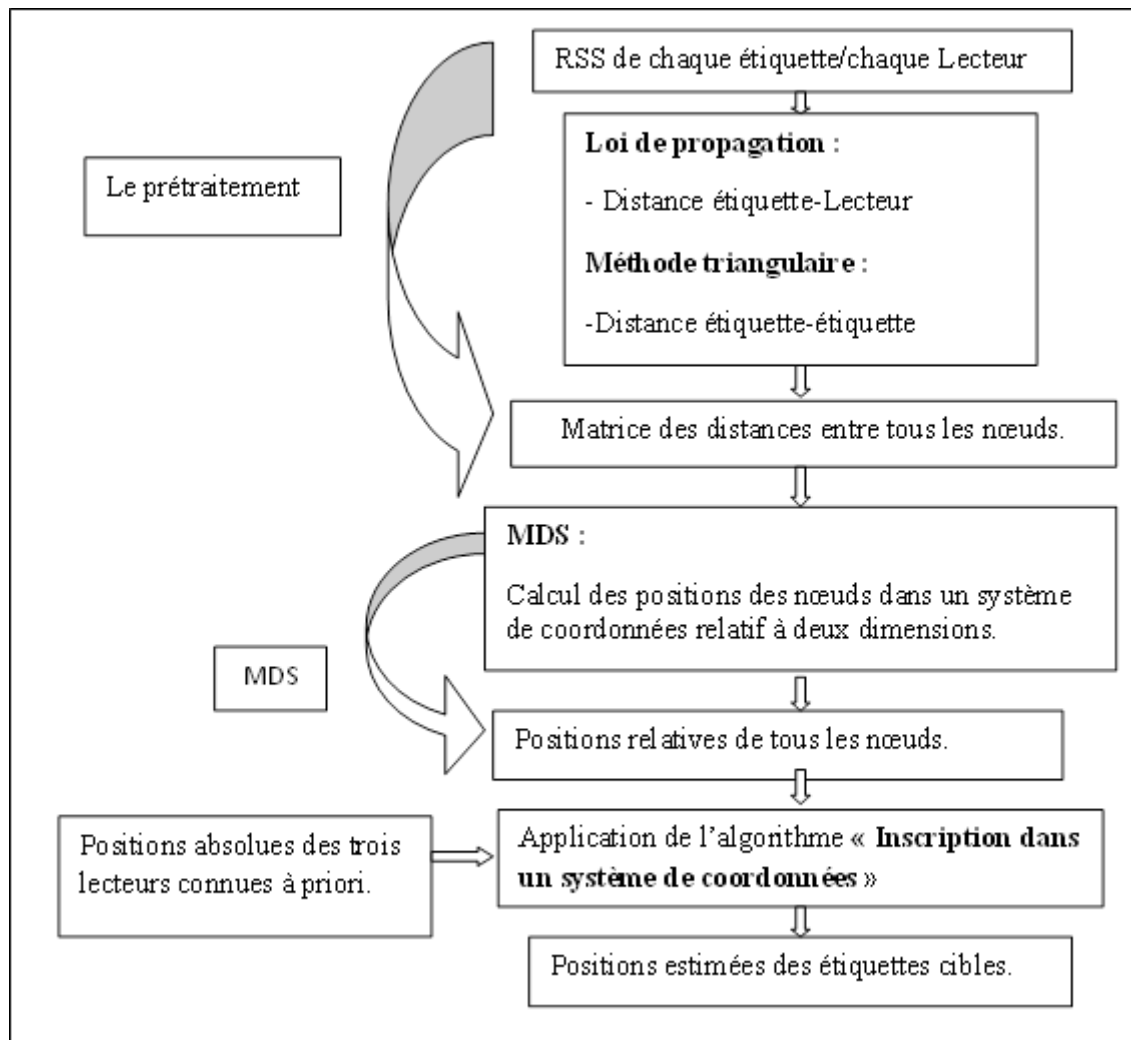
La détermination des coordonnées absolues des étiquettes cibles dans un espace à deux dimensions nécessite la connaissance à priori des coordonnées de trois lecteurs RFID afin de trouver une transformation optimale, en utilisant l'algorithme d'inscription dans un système de coordonnées [Jo 05].

Pour ce faire, l'algorithme calcule un vecteur de translation, un facteur d'échelle, et une matrice de rotation orthogonale qui définissent la transformation d'un système de coordonnées à l'autre. Le processus de recherche de ces quantités est connu sous le nom «système d'enregistrement de coordonnées». L'inscription peut être effectuée à un système à deux dimensions d'où la nécessité de fournir trois points de référence dont des coordonnées sont connues dans les deux systèmes. La version en trois dimensions nécessite naturellement quatre points.

Donc l'approche de localisation MDS-RFID est composée d'une étape de prétraitement des données suivi par le calcul multidimensionnel. Pendant la première étape, le modèle log-normale perte de puissance est utilisé pour déduire les distances étiquette-lecteur à partir des mesures RSS, ensuite les distances inter-étiquettes sont évaluées par la méthode triangulaire, la matrice distance inter-nœuds est le paramètre d'entrée pour fournir les coordonnées de tous les nœuds mais dans un système de coordonnées relatives.

L'application de l'algorithme « inscription dans un système de coordonnées » est nécessaire pour déterminer les coordonnées des étiquettes cibles dans le système de coordonnées absolues. Ces dernières seront les coordonnées estimées par l'algorithme MDS de ces étiquettes.

La Figure 2.6 résume les différentes étapes à suivre pour l'estimation des coordonnées des étiquettes cibles par MDS.



**Figure 2.6:** Différentes étapes de l'algorithme MDS-RFID

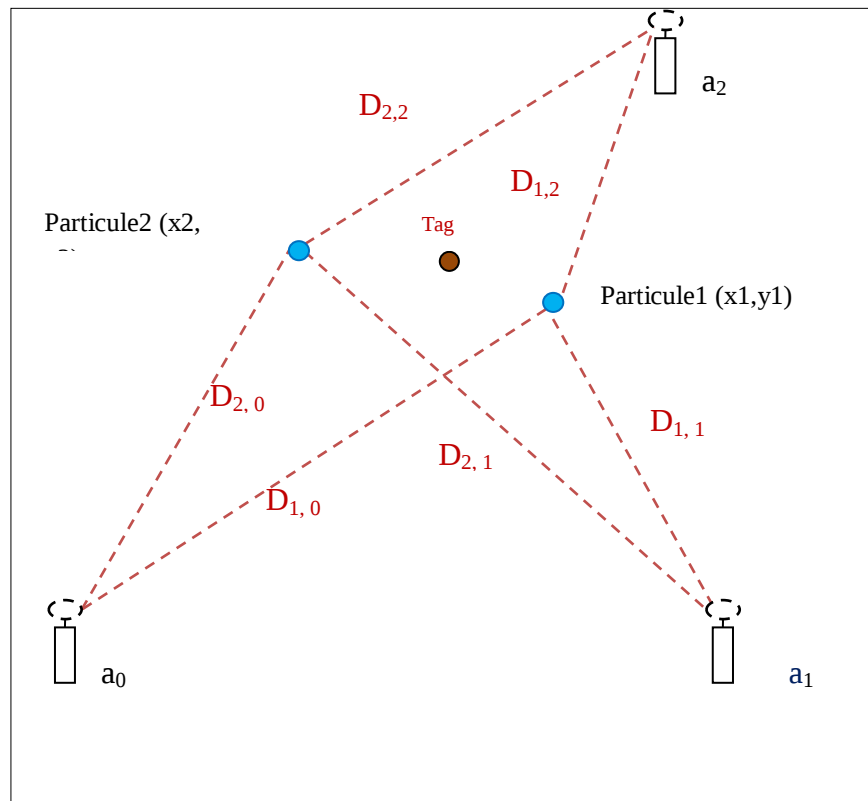
L'algorithme MDS-RFID localise les étiquettes cibles dans un système de coordonnées relatif, puis il utilise les coordonnées des nœuds ancres pour déterminer une transformation optimale des coordonnées relatives en coordonnées absolues.

## 2.6 L'algorithme d'optimisation par essaim particulaire (PSO)

L'optimisation est une branche des mathématiques qui permet de résoudre des problèmes en déterminant la meilleure solution selon certains critères prédéfinis. Résoudre un problème d'optimisation consiste à trouver la ou les meilleures solutions vérifiant un ensemble de contraintes et d'objectifs définis par l'utilisateur. Pour déterminer si une solution est meilleure qu'une autre, il est nécessaire que le problème introduise un critère de comparaison.

### 2.6.1 Principe

L'optimiseur essaim de particules est une technique d'optimisation inspirée du comportement collectif des oiseaux, des abeilles ou des poissons [An SD], basée sur une population de particules qui peut être appliquée à un large éventail d'applications, la localisation en fait partie. Pour appliquer l'algorithme PSO, il faut définir un espace de recherche constitué de particules et une fonction objectif à optimiser. La Figure 2.7 décrit la zone de déploiement des étiquettes cibles [Se 07] et des lecteurs RFID avec une distribution aléatoire initiale des particules.



**Figure 2.7:** Distribution aléatoire des particules

Les particules de l'algorithme PSO représentent des solutions candidates pour le problème d'optimisation. Initialement, elles sont affectées aléatoirement à des positions initiales dans l'espace de recherche. Le principe de l'algorithme est de déplacer ces particules afin qu'elles trouvent l'optimum.

Le déplacement de ces particules est régi par des règles systématiques pour ajuster leurs vitesses et leurs positions, en réponse à l'expérience de l'essaim en termes de qualité de localisation. Chacune de ces particules est dotée :

- D'une position dans l'ensemble de définition.
- D'une vitesse qui permet à la particule de se déplacer.

De cette façon, au cours des itérations, chaque particule change de position. Elle évolue en fonction de la meilleure position de l'essaim, de sa meilleure position et de sa position précédente. C'est cette évolution qui permet de tomber sur une particule optimale.

### 2.6.2 Modèle facteur de constriction

L'algorithme de base de la PSO est itératif. A chaque itération, les particules se déplacent en prenant en compte leur meilleure position mais aussi la meilleure position de l'essaim. Plusieurs versions de PSO ont été proposées dans la littérature [Se 07], selon le modèle facteur de constriction appliqué à la localisation, les équations suivantes décrivent la position et la vitesse de chaque particule à chaque itération [Ra 10] [Bh 10]:

$$v_i(t+1) = \gamma * (v_i(t) + c1 * r1 * (LBP_i(t) - p_i(t)) + c2 * r2(GBP(t) - p_i(t))) \quad (2.21)$$

$$p_i(t+1) = p_i(t) + v_i(t+1) \quad (2.22)$$

Chaque particule est caractérisée par :

Sa position courante  $p_i(t+1)$  et précédente  $p_i(t)$ .

Sa vitesse courante  $v_i(t+1)$  et précédente  $v_i(t)$ .

Sa meilleure position  $LBP_i(t)$

La meilleure position globale  $GBP(t)$  identifiée dans le processus de recherche pour toutes les particules de l'essaim.

Le facteur de constriction  $\gamma = 0,729$

$r1$  et  $r2$  sont des variables aléatoires générées d'une distribution uniforme dans l'intervalle  $[0, 1]$  afin de fournir un poids stochastique aux différentes composantes participant dans la définition de la vitesse de la particule.

$c1$  et  $c2$  sont deux constantes d'accélération positives régulant les vitesses relatives par rapport aux meilleures positions locales et globales avec  $c1+c2 \leq 4$  [An SD]. Ces paramètres sont considérés comme des facteurs d'échelle utilisés pour déterminer les mouvements relatifs de la meilleure position de la particule ainsi que de la meilleure position globale. Ce sont des facteurs qui déterminent le degré d'influence des positions passées de la particule elle mêmes et celles des autres particules dans l'essaim. Pour cette étude  $c1=c2=2$ .

A chaque itération, chacune des particules connaît :

- Sa meilleure position visitée.
- La meilleure position de l'essaim.

- La valeur qu'elle donne à la fonction objectif car à chaque itération, il faut une comparaison entre la valeur du critère donnée par la particule courante et la valeur optimale.

### 2.6.3 Fonction objectif d'optimisation

La fonction objectif pour le problème de localisation est dérivée dans le but de minimiser la somme des carrés des erreurs entre les valeurs RSS à l'emplacement de l'étiquette cible (x, y) et les valeurs de la même mesure qui seraient obtenues pour les différentes positions des particules à partir du modèle de propagation donné par l'équation (2.1) calculées au niveau de tous les lecteurs RFID [Gi 11].

Elle est donnée par la relation suivante :

$$f = \sum_{\forall \text{ lecteur}} (RSS(\text{étiq}) - RSS(\text{part}))^2 \quad (2.23)$$

RSS(étiq) est la puissance reçue par le lecteur RFID de l'étiquette cible.

RSS(part) est la puissance reçue par le lecteur RFID de la particule.

### 2.6.4 Différentes phases

On peut décomposer cet algorithme en trois étapes principales :

#### 2.6.4.1 La phase d'initialisation

Les particules sont distribuées aléatoirement sur la zone de déploiement.

La vitesse initiale de chaque particule est nulle.

La meilleure position initiale de chaque particule correspond à sa position initiale.

La meilleure position globale de l'essaim est celle qui correspond au minimum de la fonction objectif de toutes les particules.

#### 2.6.4.2 La phase de traitement

L'objectif de cette phase est la détermination d'un minimum de la fonction objectif décrite par l'équation (2.6). Pendant cette phase, le traitement est itératif jusqu'à ce qu'un minimum soit atteint.

A chaque itération :

La position et la vitesse de chaque particule sont actualisées selon les équations (2.21) et (2.22).

La meilleure position de la particule dépend de sa fonction objectif actuelle et précédente.

La meilleure position de l'essaim dépend du minimum de la fonction objectif actuelle et précédente.

### 2.6.4.3 La phase de la localisation

Les coordonnées estimées de l'étiquette cible correspond à la meilleure position globale trouvée par l'essaim de particules et qui dépend principalement de la fonction objectif définie pour ce problème de localisation. Les paramètres d'entrée de cette fonction sont les puissances reçues par les différents lecteurs de l'étiquette cible et des particules déplacées sur la zone de déploiement pour rechercher une solution optimale.

L'algorithme suivant illustre les étapes successives de l'approche PSO-RFID appliqué à la localisation:

Initialisation aléatoire des positions et des vitesses de chaque particule

Pour chaque particule  $i$ ,  $LBP_i = p_i$

Tant que le critère d'arrêt n'est pas atteint faire

Pour  $i = 1$  à  $N$  faire

Déplacement de la particule  $i$  à l'aide de (2.21) et (2.22)

Évaluer sa nouvelle position

Si  $f(p_i) < f(LBP_i)$

$LBP_i = p_i$

Fin Si

Si  $(f(LBP)) < f(GBP)$

$GBP = LBP$

Fin Si

Fin Pour

Fin Tant que

Position estimée =  $GBP$

La boucle Tant que dans l'algorithme ci-dessus révèle la caractéristique itérative du PSO-RFID. Le critère d'arrêt de cette boucle correspond au minimum souhaité à atteindre par la fonction objectif ou à un certain nombre d'itération pour déterminer la solution optimale globale qui serait la position estimée de l'étiquette cible avec une certaine erreur de localisation illustré par la Figure 2.8 [Hi 08]

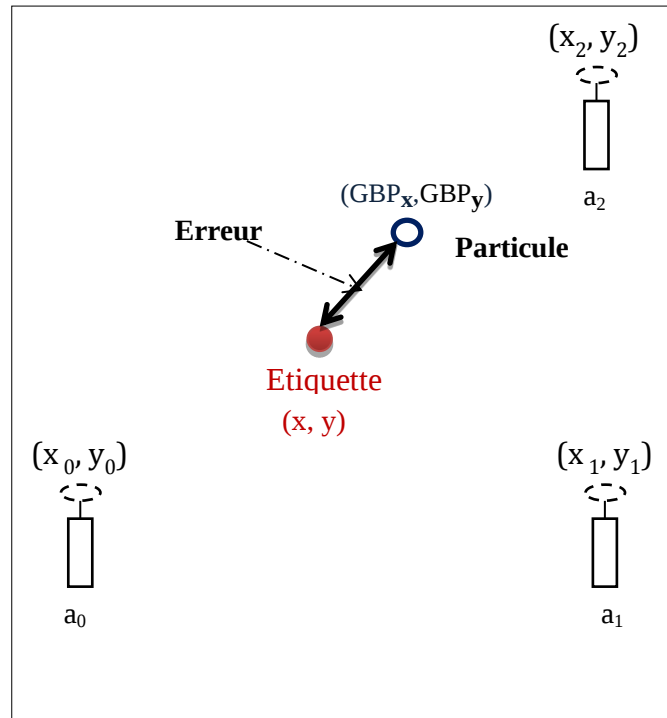


Figure 2.8: Erreur de localisation par PSO

## 2.7 Mesure de performance d'un algorithme de localisation

La précision d'un algorithme de localisation n'est pas le seul critère qui détermine sa performance. Plusieurs compromis doivent être considérés afin de mieux équilibrer les coûts et la complexité de l'algorithme envisagé d'un côté et les performances en termes de précision, de robustesse d'un autre côté [Hu 07]. L'erreur de localisation est l'exigence la plus importante des systèmes de positionnement, elle représente la distance euclidienne entre la localisation estimée et l'emplacement exact.

Elle est donnée par la relation suivante :

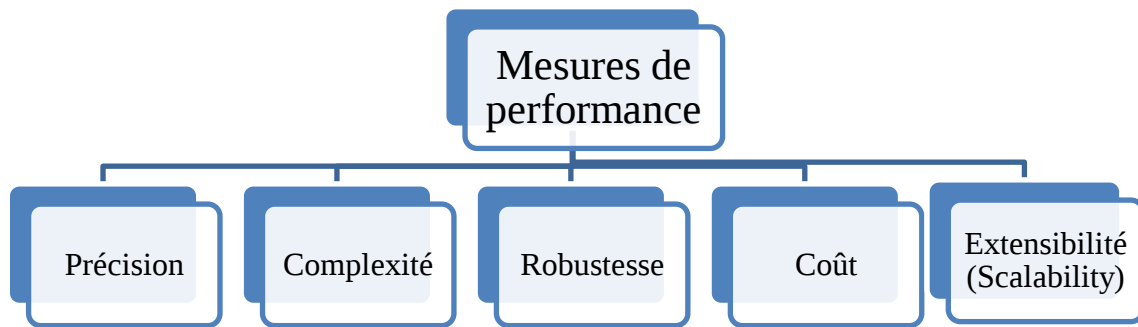
$$e = \sqrt{(x - x_e)^2 + (y - y_e)^2} \quad (2.23)$$

$(x, y)$  position exacte de la cible à localiser.

$(x_e, y_e)$  sa position estimée.

Plus l'erreur est réduite, meilleure est le système de localisation mais il ya souvent un compromis entre l'exactitude et d'autres critères. En effet, la complexité d'un algorithme de localisation peut être attribuée au matériel ou au logiciel. La rapidité de la localisation est un indicateur important de la complexité de l'algorithme en particulier pour les applications de suivi d'une cible.

La Figure 2.9 résume les différents critères de mesure de performance d'un algorithme de localisation.



**Figure 2.9:** Critères de mesures de performance d'un algorithme de localisation

## Conclusion

L'estimation de la position de l'étiquette cible n'exige pas la participation de plusieurs points de références par les deux algorithmes de localisation présentés dans ce chapitre.

L'algorithme MDS détermine les coordonnées de la cible dans un système relatif puis une transformation linéaire est appliquée aux coordonnées relatives et absolues de trois lecteurs dont leur position est connue à priori pour estimer l'emplacement de la cible.

Cependant l'algorithme d'optimisation PSO minimise une fonction objectif dépendante des puissances reçues au niveau des lecteurs par un traitement itératif pour estimer cette position.

Plusieurs critères d'évaluation ont été pris en considération pour mesurer la performance de ces algorithmes. L'erreur moyenne de localisation, sa fonction de distribution cumulative ainsi que le temps de calcul sont les facteurs qui déterminent les performances de chacun d'eux.

### 3 Simulation et évaluation

#### 3.1 Choix du langage

Les Deux algorithmes de localisation MDS et PSO ont été simulés en Matlab. Le choix du Matlab s'est vite imposé, il est justifié par la facilité de manipulation et de traitement des matrices, qui sont très courantes dans cette étude : la matrice des distances inter-nœuds pour l'algorithme MDS, l'ensemble des différentes positions et vitesses des particules à chaque itération pour PSO.

#### 3.2 Moyens utilisés

La simulation est exécutée sur un ordinateur portable dont la configuration est la suivante :

**Tableau 3.1:** Configuration de l'ordinateur utilisé pour la simulation

|                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Ordinateur</b>             | Acer aspire one D-150         |
| <b>Système d'exploitation</b> | Windows 7                     |
| <b>RAM</b>                    | 1 Go                          |
| <b>Processeur</b>             | Intel® Atom™ CPU N270 1,6 GHz |

#### 3.3 Environnement de déploiement

Les lecteurs RFID et les étiquettes cibles sont déployés dans un milieu fermé (indoor) à deux dimensions représenté par la Figure 2.1. Les paramètres de simulation choisis pour le modèle log-normal de l'effet d'ombrage sont cités dans le tableau 3.2 [Be 07]

**Tableau 3.2:** Paramètres de simulation

| <b>Paramètre</b>                                 | <b>Valeur</b> |
|--------------------------------------------------|---------------|
| La fréquence                                     | 915Mhz        |
| La puissance de transmission                     | 30dBm         |
| L'indice d'atténuation $n$                       | 1,8           |
| Ecart type de RSS                                | 5,2dB         |
| Gain des antennes des lecteurs et des étiquettes | 0 dBi         |

Plusieurs simulations ont été menées pour estimer la position de chaque étiquette cible, puis l'erreur moyenne de localisation des six étiquettes cibles et sa fonction de distribution cumulative sont calculées pour évaluer les performances de chaque algorithme.

### 3.4 Estimation de la distance

Dans cette étude, l'estimation de la distance entre l'étiquette cible et le lecteur RFID pour les deux algorithmes repose sur le paramètre RSS. L'estimation de cette distance est évaluée à l'aide de la formule (2.9) qui fournit la distance selon la puissance reçue par le lecteur RFID.

### 3.5 L'algorithme MDS

#### 3.5.1 Matrice des distances

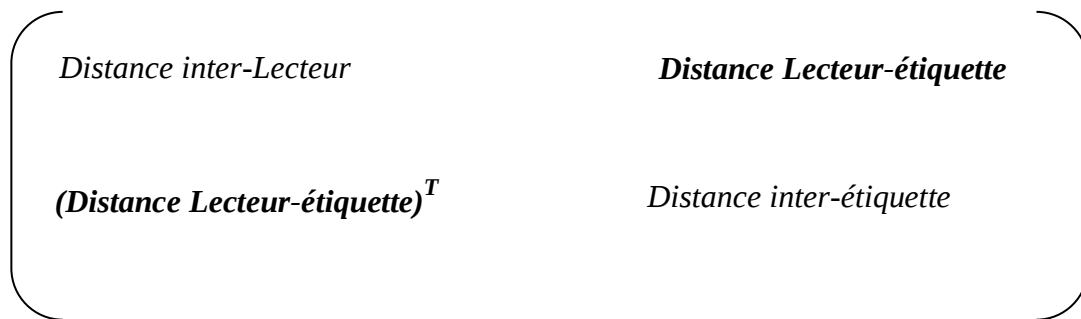
Les étiquettes cibles et les lecteurs RFID sont considérés comme des nœuds pour cet algorithme. La matrice des distances inter-nœuds est le paramètre d'entrée de cet algorithme, elle est symétrique dont la diagonale est nulle et sa dimension égal au nombre de nœuds déployés dans la zone d'étude.

Donc plus le nombre de lecteurs ou d'étiquettes RFID augmente plus les dimensions de cette matrice seront importantes.

Nombre de nœuds=nombre d'étiquettes + le nombre de lecteurs.

Elle a la forme suivante : 
$$\begin{cases} d_{ij} = d_{ji} \text{ si } i \neq j \\ d_{ij} = 0 \text{ si } i = j \end{cases}$$

Pour faciliter les calculs en simulation, cette matrice a été divisée en quatre sous matrices comme suit :



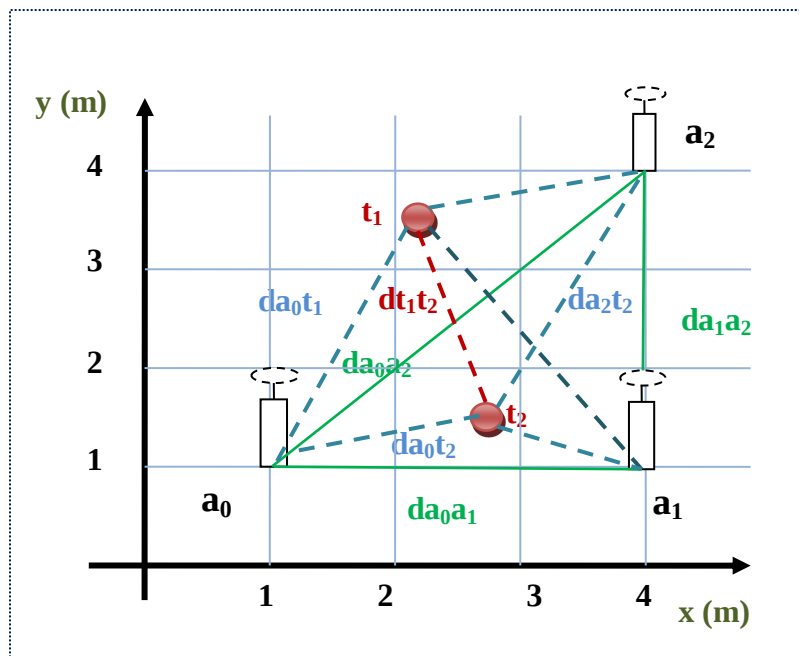
La Figure 3.1 illustre les différentes distances à calculer pour l'algorithme MDS.

- La distance inter-Lecteur est calculée en fonction des coordonnées connues à priori de ces lecteurs.
- La distance étiquette-Lecteur dépend de la valeur RSS au niveau de chaque lecteur, elle est calculée selon l'équation (2.9).

- La distance inter-étiquette dépend des valeurs RSS de chaque paire d'étiquette au niveau de chaque lecteur d'après la méthode triangulaire décrite par l'équation (2.12). Pour la région de déploiement décrite par la Figure 2.1, la distance entre les deux étiquettes  $t_1$  et  $t_2$  est évaluée par la formule suivante :

$$d_{t_1 t_2} = \frac{\sum_{i=1}^{nb\_r} (RSS_{i1} - RSS_{i2})}{nb\_r}$$

$nb\_r$  est le nombre de lecteurs.



**Figure 3.1:** Différents types de distances à calculer pour MDS

Les coordonnées exactes de tous les nœuds déployés sont citées dans le tableau 3.3 :

**Tableau 3.3:** Coordonnées exactes de tous les nœuds du système RFID

| Lecteurs |      |      | Étiquettes |           |       |           |       |       |
|----------|------|------|------------|-----------|-------|-----------|-------|-------|
| (11)     | (41) | (44) | (2,5 2,5)  | (1,5 1,5) | (2 3) | (2,5 3,5) | (3 2) | (3 3) |

### 3.5.2 Traitement des données par MDS

La première colonne du tableau 3.4 indique les coordonnées de tous les nœuds de la topologie MDS avec six étiquettes cibles et trois lecteurs dans les deux systèmes relatif et actuel, la deuxième colonne indique les coordonnées estimées de ces mêmes étiquettes grâce aux coordonnées connues de trois lecteurs dans les deux systèmes et considérées comme points de référence.

**Tableau 3.4:** Coordonnées relatives et absolues des nœuds par MDS

| coord_relative |         | coord_estime_Tag |        |
|----------------|---------|------------------|--------|
| -2.0962        | 0.1590  | 2.4274           | 2.4418 |
| -0.0998        | -2.0401 | 1.5874           | 1.7066 |
| 2.1841         | -0.0644 | 1.7558           | 2.9886 |
| -0.0562        | 0.0761  | 2.3047           | 3.4986 |
| -1.1690        | 0.2132  | 2.8182           | 2.3181 |
| -0.0961        | 0.9450  | 2.7970           | 2.9439 |
| 0.6533         | 0.8752  |                  |        |
| 0.1126         | -0.2994 |                  |        |
| 0.5672         | 0.1353  |                  |        |

Le tableau 3.5 montre que les distances inter-nœuds sont préservées par l'algorithme MDS avec une certaine erreur dans les deux systèmes de coordonnées, sachant que :

$R_i R_j$  Distance inter-lecteur  
 $T_i T_j$  Distance inter-étiquette  
 $T_i R_j$  Distance étiquette-lecteur

**Tableau 3.5:** MDS : Préservation des distances dans les deux systèmes de coordonnées

| Distance    | Relative | Absolue |
|-------------|----------|---------|
| <b>R2R1</b> | 3.0105   | 3.0000  |
| <b>R3R1</b> | 4.2477   | 4.2426  |
| <b>T1R1</b> | 1.9699   | 2.0140  |
| <b>T2R1</b> | 0.9413   | 0.7218  |
| <b>R3R2</b> | 2.9992   | 3.0000  |
| <b>T1R2</b> | 1.9811   | 1.9870  |
| <b>T2R2</b> | 2.6270   | 2.6047  |
| <b>T1R3</b> | 2.2886   | 2.3155  |
| <b>T2R3</b> | 3.3351   | 3.3117  |
| <b>T2T1</b> | 1.1043   | 0.9687  |

Les coordonnées relatives, estimées et exactes de trois lecteurs sont tracées sur la Figure 3.2. Ces trois lecteurs forment les points ancrés pour la détermination de la transformation linéaire.

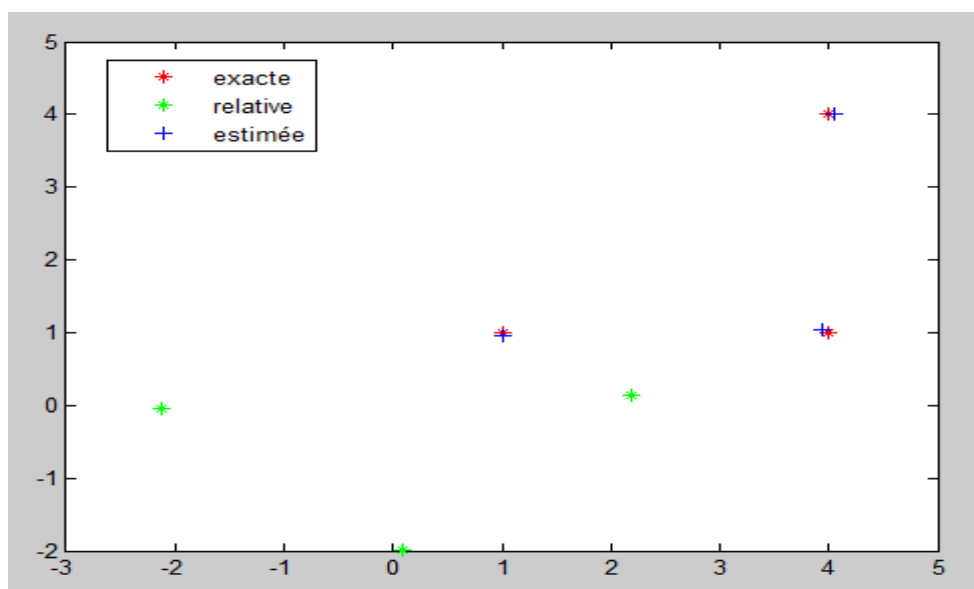


Figure 3.2: Coordonnées relatives, absolues et estimées des trois lecteurs

### 3.5.3 L'algorithme MDS et le nombre de lecteurs RFID

Pour tester l'impact du facteur nombre de lecteurs RFID sur l'erreur moyenne de localisation, deux topologies différentes du système RFID ont été simulées par l'algorithme MDS, à savoir trois et quatre lecteurs RFID.

L'erreur moyenne de localisation de l'ensemble des étiquettes a été calculée pour les deux topologies. La Figure 3.3 montre que, pour la topologie quatre lecteurs, cette erreur est inférieure à celle de l'autre topologie.

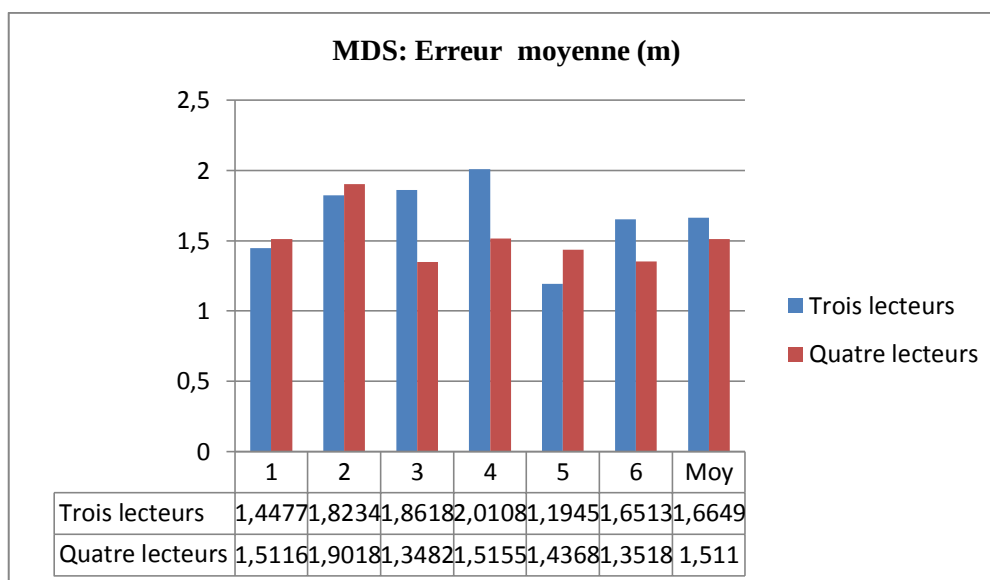
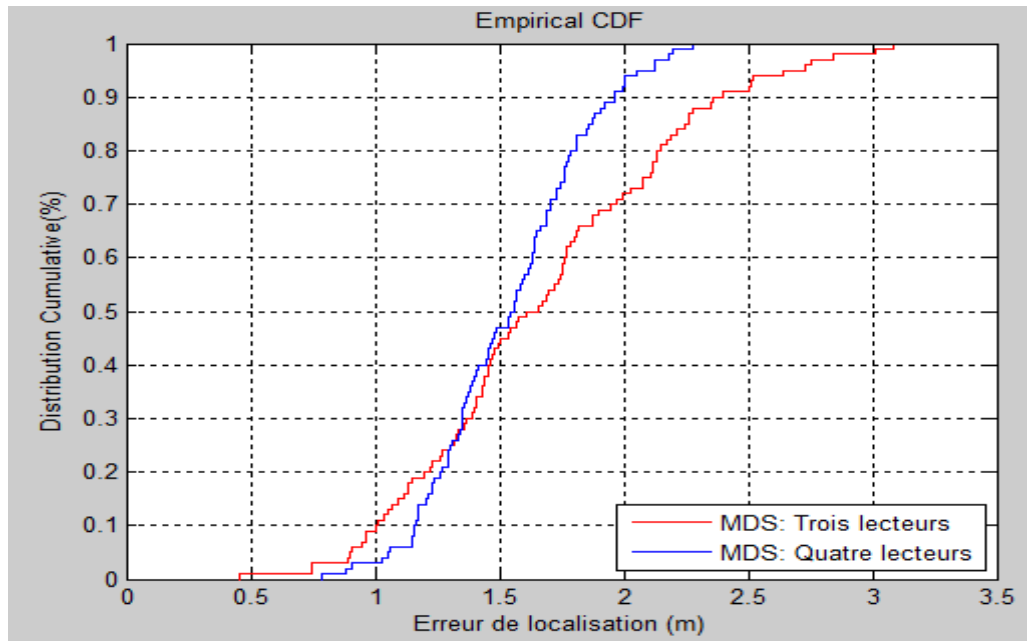


Figure 3.3: MDS: Comparaison de l'erreur moyenne pour trois et quatre lecteurs RFID

La Figure 3.4 représente la distribution cumulative de l'erreur moyenne de localisation pour les deux topologies précédentes et qui confirme la performance de la topologie quatre lecteurs car plus de distances tag-lecteurs ont été exploitées pour une meilleure estimation des distances inter-tags.



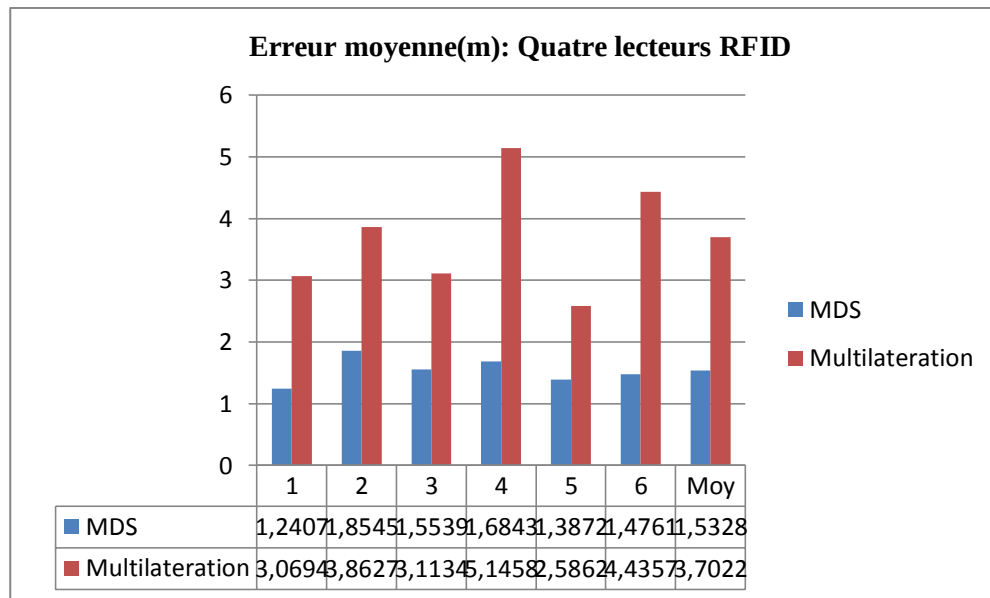
**Figure 3.4:** MDS : Comparaison de la distribution cumulative pour trois et quatre lecteurs RFID

Une localisation plus précise a été constatée pour la topologie qui utilise quatre lecteurs RFID pour estimer les positions des étiquettes cibles. Plus le nombre d'étiquettes à localiser augmente plus l'algorithme MDS exige des ancres sous forme de lecteurs RFID pour améliorer la précision de la localisation.

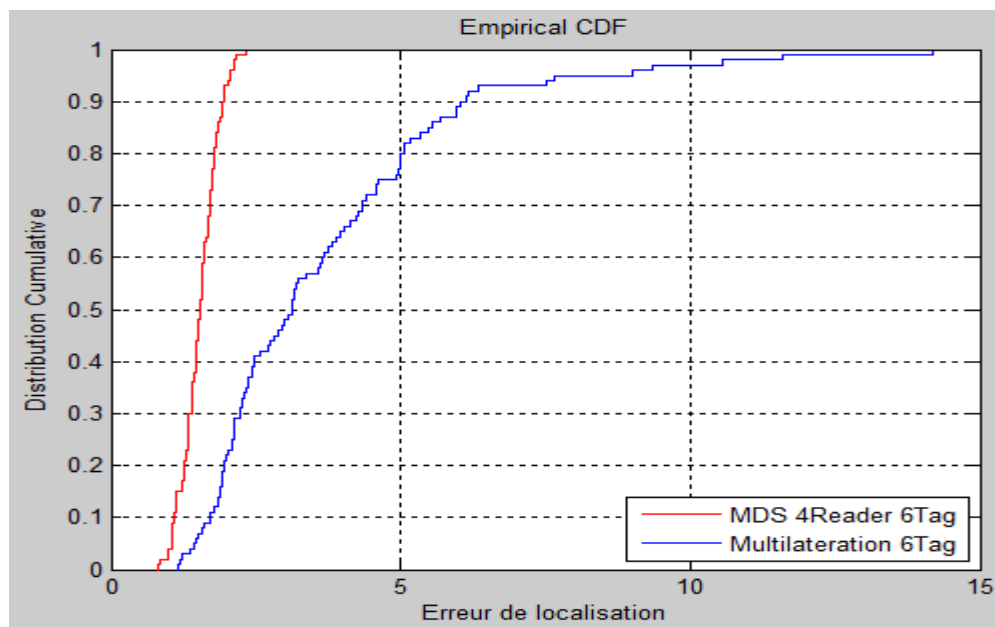
### 3.5.4 Comparaison entre MDS et Multilatération

Pour comparer ces deux algorithmes, l'erreur moyenne de localisation et la distribution cumulative pour l'ensemble des étiquettes cibles sont illustrées par les Figures 3.5 et 3.6.

En utilisant quatre lecteurs RFID, l'erreur moyenne de localisation par MDS est de l'ordre de 1,53m mais celle obtenue par Multilatération est environ 3,7m.



**Figure 3.5:** Comparaison de l'erreur moyenne entre MDS et Multilateration



**Figure 3.6:** Comparaison de la distribution cumulative entre MDS et Multilateration

Ces résultats montrent que MDS est plus robuste dans des environnements en intérieur où l'effet d'ombrage est persistant. Il peut atteindre une meilleure précision que la Multilateration car elle utilise moins de distances que celui-ci pour déduire les positions. En effet, elle utilise uniquement les distances lecteur-étiquettes tandis que le MDS utilise toutes les distances.

De plus, on remarque que trois lecteurs de référence sont suffisants pour déterminer les positions des cibles dans un espace à deux dimensions pour le MDS. Tandis que la

Multilatération a sa solution qui varie en fonction des ancrs choisies comme base de Multilatération.

### 3.6 L'algorithme PSO

#### 3.6.1 Démarche à suivre

Notre première étape de documentation, nous a permis de comprendre le principe de l'algorithme PSO et son application pour une localisation wifi. Puis, à partir de ces informations, nous l'avons adapté à une localisation RFID [Gi 11].

Le positionnement initial aléatoire des particules dans la zone étudiée illustrée par la Figure 2.7 dépend de la surface de cette zone.

La fonction objectif de chaque particule est évaluée selon l'équation (2.23), elle dépend des RSS de l'étiquette cible et des RSS de chaque particule calculés selon l'équation (2.8).

Si la puissance reçue par le lecteur  $i$  de l'étiquette  $t$  est désignée par le vecteur  $RRSt=(RSS_{ti})$  et si la puissance reçue au niveau de chaque lecteur  $i$  de la particule  $p$  est désignée par le vecteur  $RSSp=(RSS_{pi})$ .

La fonction objectif de cette particule aura la forme suivante :

$$\sum_{i=1}^{nb_r} (RSS_{ti} - RSS_{pi})^2$$

- La meilleure position initiale de chaque particule est équivalente à sa position initiale.
- La fonction objectif initiale individuelle correspond à cette meilleure position initiale.
- La meilleure position globale de l'essaim de particules correspond au minimum de la fonction objectif initiale de ces particules.

A chaque itération de l'algorithme et pour chaque particule:

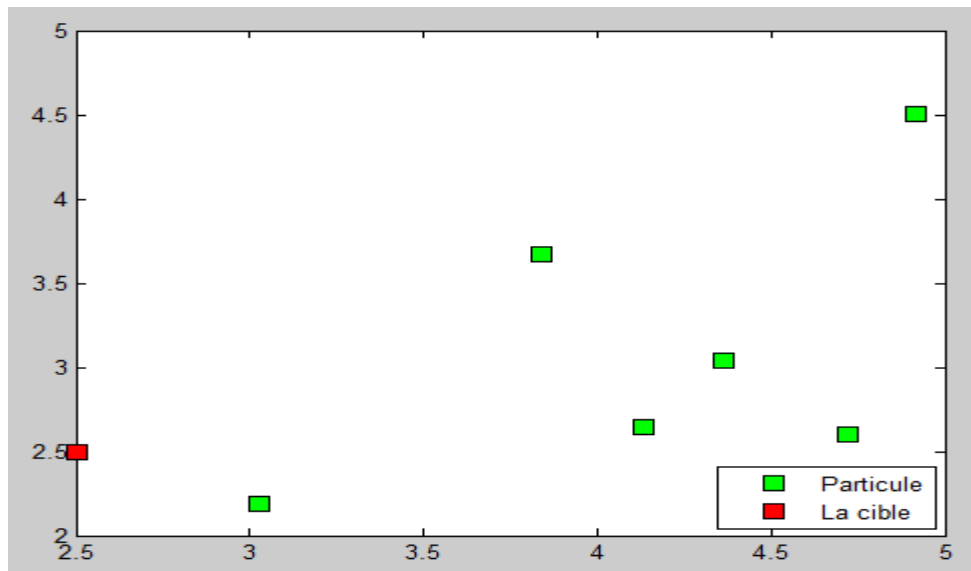
- Une nouvelle vitesse et position sont affectées à chaque particule selon les équations (2.21) et (2.22).
- La fonction objectif est actualisée car la particule change de position et dont le but est de déterminer la meilleure position pour chaque particule et celle pour l'essaim de particules.

Selon le nombre d'itération, l'ensemble de particules converge vers une position optimale qui représente la position estimée de l'étiquette cible avec une certaine erreur de localisation. Pour cette simulation, plusieurs paramètres ont été variés à savoir le nombre d'itérations, le nombre de particules, la surface de la zone de déploiement et l'écart type de RSS dans le but d'étudier l'effet de chacun de ces paramètres sur la précision de la localisation. Une comparaison entre

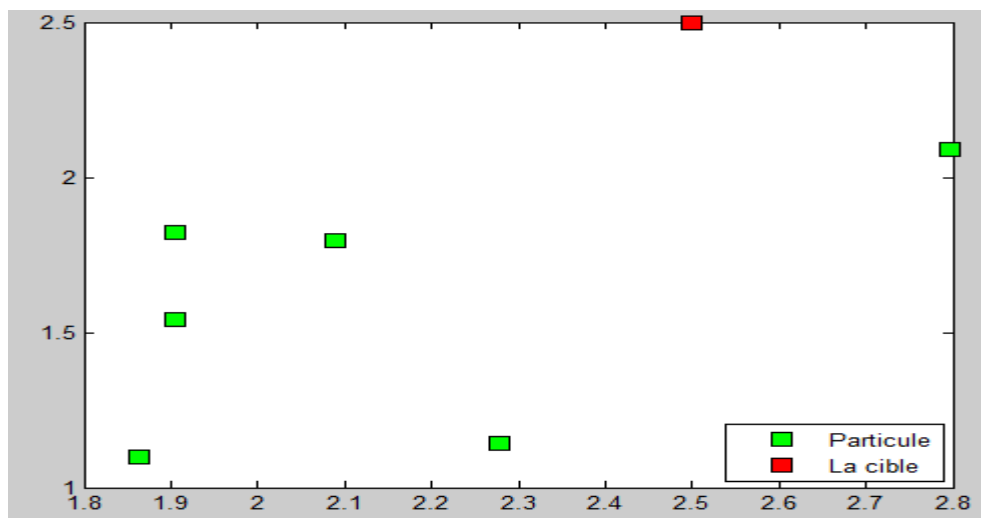
MDS, PSO et Multilateration a été faite pour évaluer les performances et les limites de chacun d'eux.

### 3.6.2 Déplacement des particules

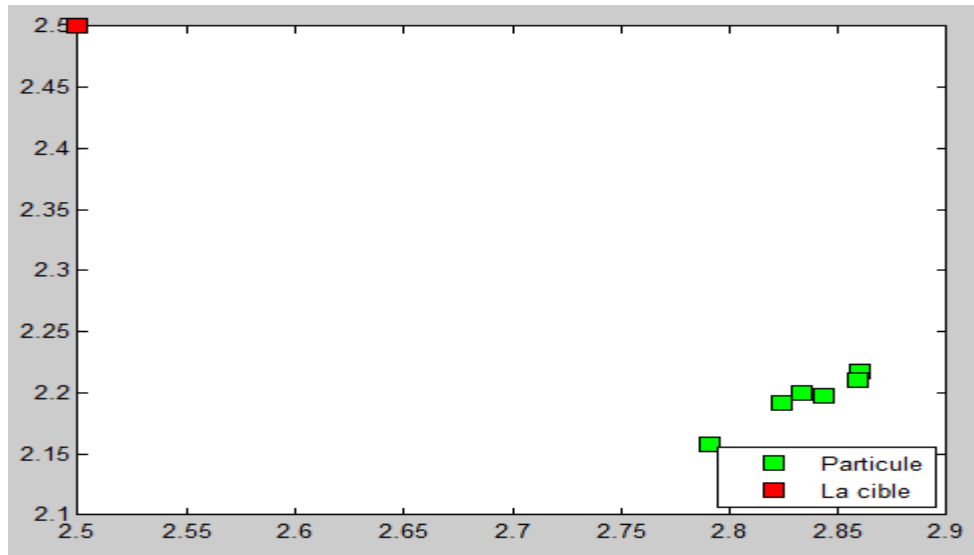
Les particules de l'algorithme PSO changent de positions à chaque itération pour rejoindre la meilleure position globale recherchée par l'essaim. La Figure 3.7 (a), (b), (c) illustre la position de chacune des six particules pour les différentes itérations de l'algorithme PSO citées sur chaque figure.



(a) Position initiale des six particules



(b) Position des particules à l'itération numéro 5 pour un nombre d'itération=15



**Figure 3.7:** PSO: Déplacement des particules

Le tableau 3.6 montre que les particules convergent vers la meilleure position globale trouvée par l'essaim de particules.

Donc chaque particule est dotée d'une mémoire qui lui permet de mémoriser la meilleure position par laquelle elle est déjà passée.

Chaque particule est informée de la meilleure position connue au sein de l'essaim et elle va tendre à rejoindre ce point.

**Tableau 3.6:** PSO: Position des particules durant le traitement itératif

| (a) Meilleur Position individuelle Initiale | (b) Meilleur Position individuelle Finale | (c) Meilleur Position Globale |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|
| LBP_Initial =                               | LBP_Final =                               | Global_Best_Position =        |
| 3.5296    2.2359                            | 2.3954    2.3995                          | 2.4083    2.3872              |
| 2.1677    3.9050                            | 2.3772    2.4140                          |                               |
| 3.8507    2.2444                            | 2.4061    2.3711                          |                               |
| 3.8286    3.6340                            | 2.4083    2.3872                          |                               |
| 4.5678    3.9281                            | 2.4381    2.3504                          |                               |
| 2.8149    2.3203                            | 2.6037    2.2981                          |                               |

LBP est la meilleure position locale pour chaque particule.

Global\_Best\_Position est la meilleure position trouvée par l'essaim particulaire.

L'erreur moyenne de localisation et le temps nécessaire pour calculer la position estimée de chacune des six étiquettes cibles sont indiqués dans le tableau 3.7

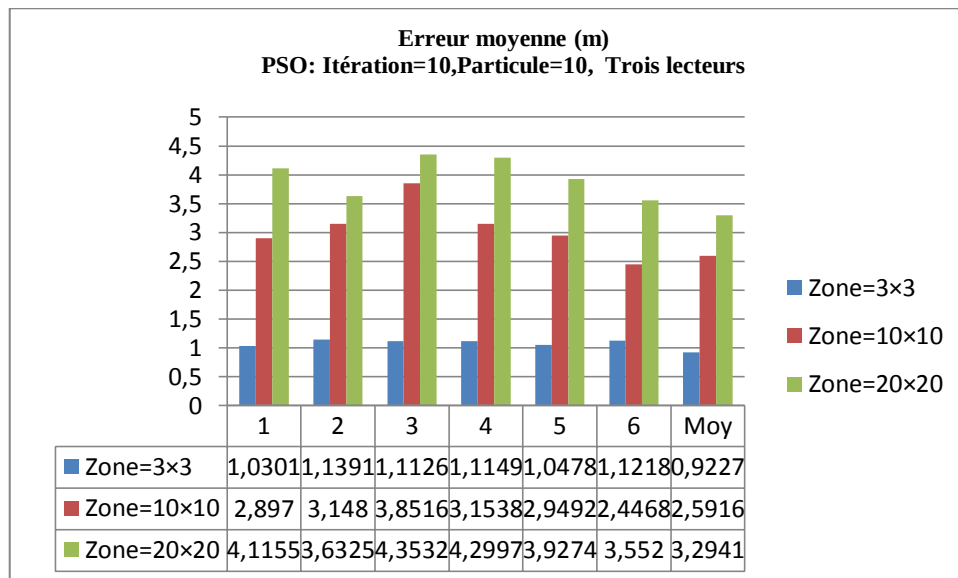
**Tableau 3.7:** Erreur moyenne et temps de calcul par PSO pour trois lecteurs RFID

| Etiquette         | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | Moyenne |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Erreur moyenne(m) | 1.0496  | 0.9751  | 1.1121  | 1.2395  | 1.1093  | 1.127   | 1.1021  |
| Temps(s)          | 11.1694 | 10.5126 | 10.3241 | 10.6974 | 11.4761 | 10.7105 | 10.8150 |

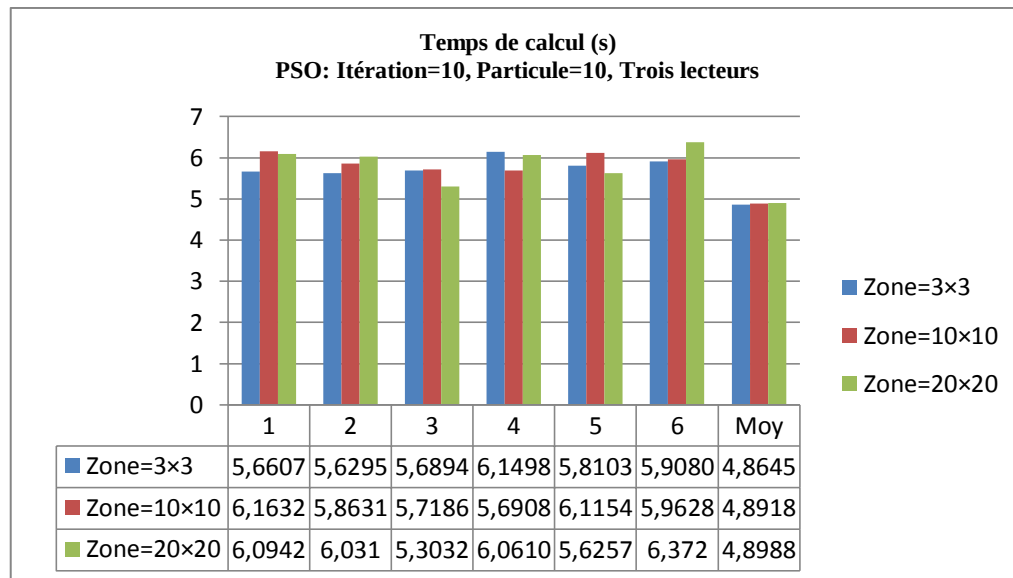
Pour estimer la position d'une seule étiquette cible par PSO, un temps moyen de 10 secondes est nécessaire pour un nombre d'itération égal à vingt et un nombre de particules égal à dix. Ce temps de calcul est proportionnel à ces deux paramètres et au nombre d'étiquettes à localiser.

### 3.6.3 Effet de la surface de la zone de déploiement

En faisant varier la surface de la zone de recherche, la position de chaque étiquette cible a été estimée selon les paramètres indiqués sur la Figure 3.8. Puis l'erreur moyenne de localisation Figure 3.8 et le temps moyen de calcul ont été déterminés Figure 3.9.

**Figure 3.8:** PSO: Comparaison de l'erreur moyenne selon la surface de la zone de recherche

L'erreur moyenne de localisation et le temps de calcul des positions estimées des étiquettes cibles sont proportionnels à la surface de la zone de recherche car les particules distribuées aléatoirement se déplacent sur une surface de recherche plus grande et la solution optimale peut être trouvée mais en augmentant le nombre de particules et celui d'itérations.



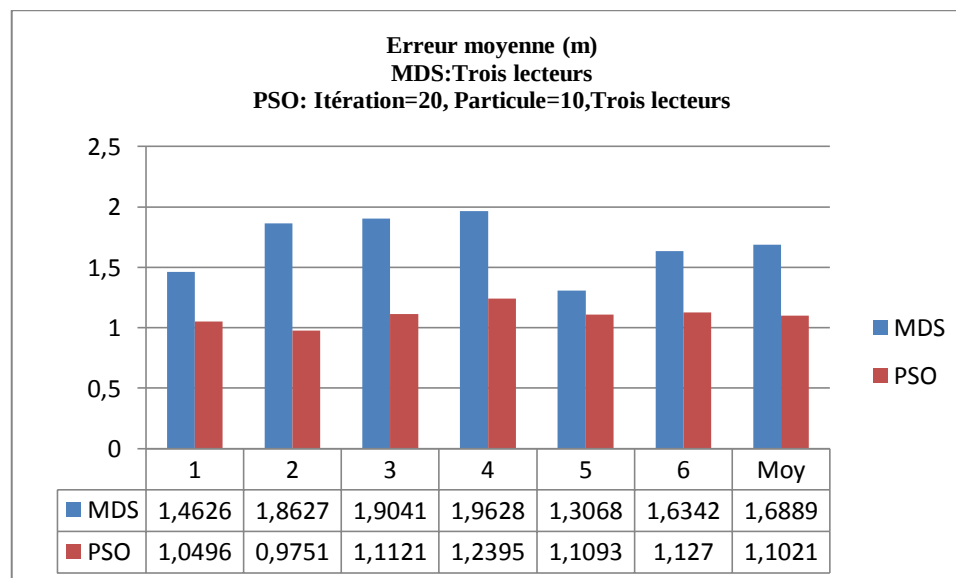
**Figure 3.9:** PSO: Comparaison temps de calcul selon la surface de la zone de recherche

### 3.6.4 Comparaison entre PSO et MDS

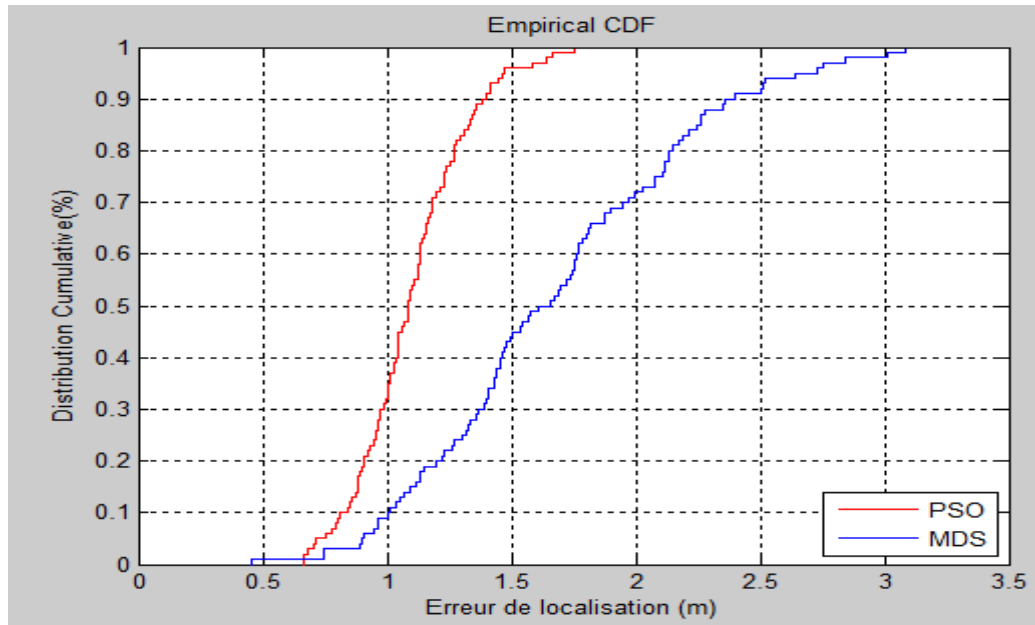
Pour l'algorithme PSO, les paramètres suivants ont été choisis:

Itération=30, Particule=10, Surface de la zone de recherche = 3×3.

D'après les Figures 3.10 et 3.11, l'algorithme PSO est le plus performant.



**Figure 3.10:** Comparaison de l'erreur moyenne entre PSO et MDS



**Figure 3.11:** Comparaison de la distribution cumulative entre MDS et PSO

La précision peut être améliorée en augmentant le nombre d'itérations ou de particules mais le facteur temps de calcul par MDS est beaucoup moins important que celui consommé par PSO.

### 3.6.5 Comparaison entre PSO et Multilateration

La distribution cumulative de l'erreur moyenne de localisation de l'ensemble des six étiquettes Figure 3.12 ainsi que l'erreur moyenne de localisation de chaque étiquette et de l'ensemble des six étiquettes Figure 3.13 montrent que l'estimation des positions des étiquettes cibles est plus précise par PSO que par Multilateration. Trois lecteurs RFID pour l'algorithme PSO comme points de référence sont suffisants pour obtenir une meilleure précision que celle obtenue par l'algorithme Multilateration avec quatre lecteurs.

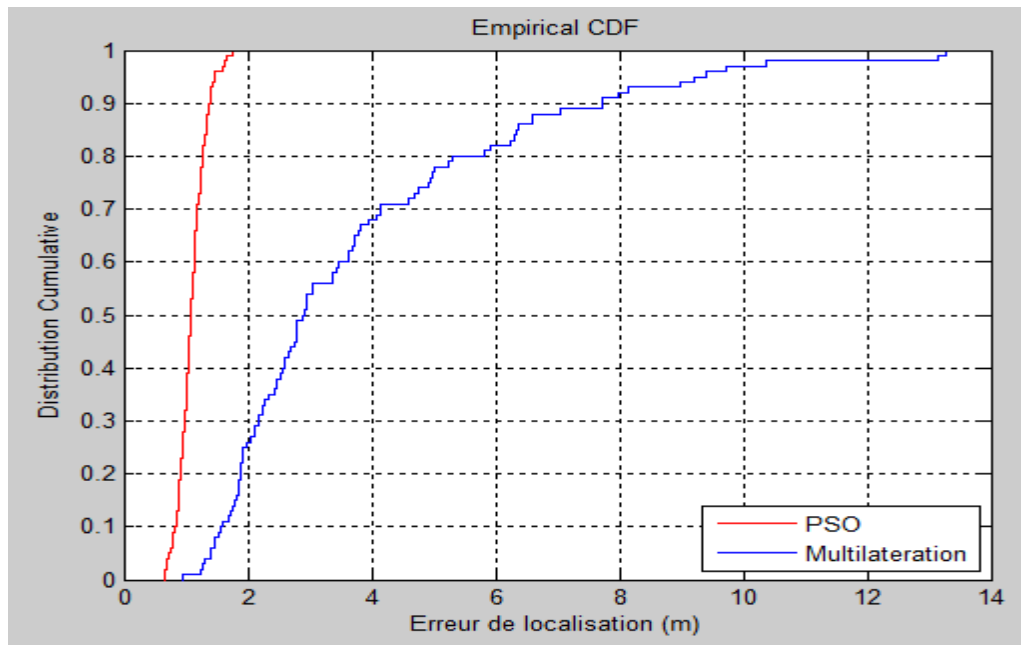


Figure 3.12: Comparaison de la distribution cumulative entre PSO et Multilateration

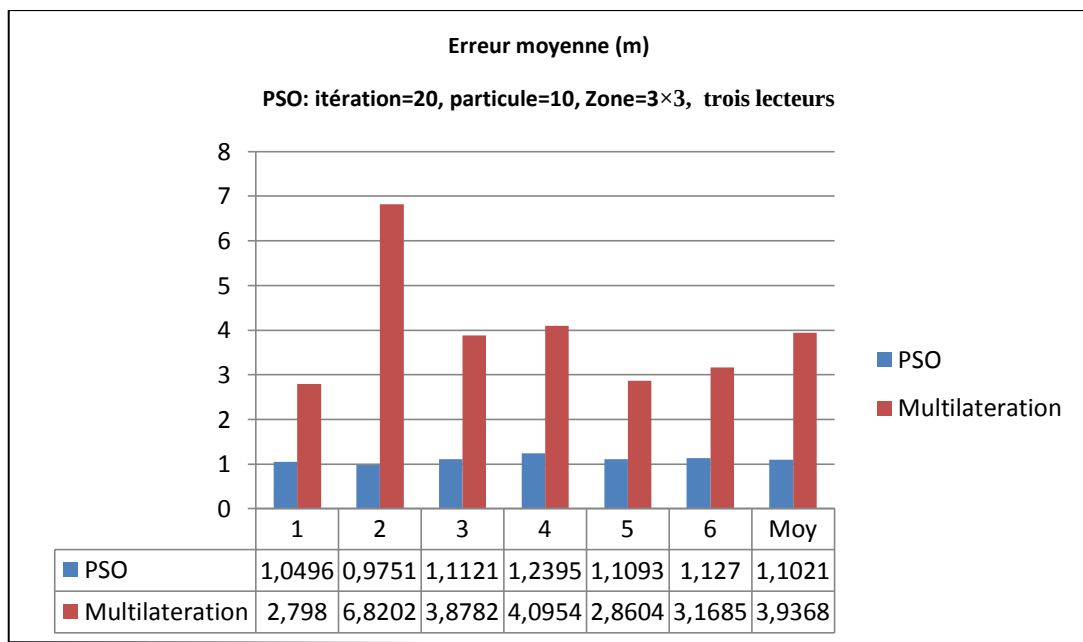


Figure 3.13: Comparaison de l'erreur moyenne entre PSO et Multilateration

### 3.7 Effet de l'écart type de RSS

En faisant varier l'écart type de la puissance reçue de 3dB à 8dB et en déployant quatre lecteurs RFID dans les quatre coins de la zone de recherche, la Figure 3.14 montre que l'algorithme PSO est le plus robuste dans un environnement bruité par l'effet d'ombrage suivi par l'algorithme MDS. L'algorithme Multilateration nécessite plus de quatre lecteurs RFID comme points de référence pour obtenir une précision voisine de celle des deux autres algorithmes.

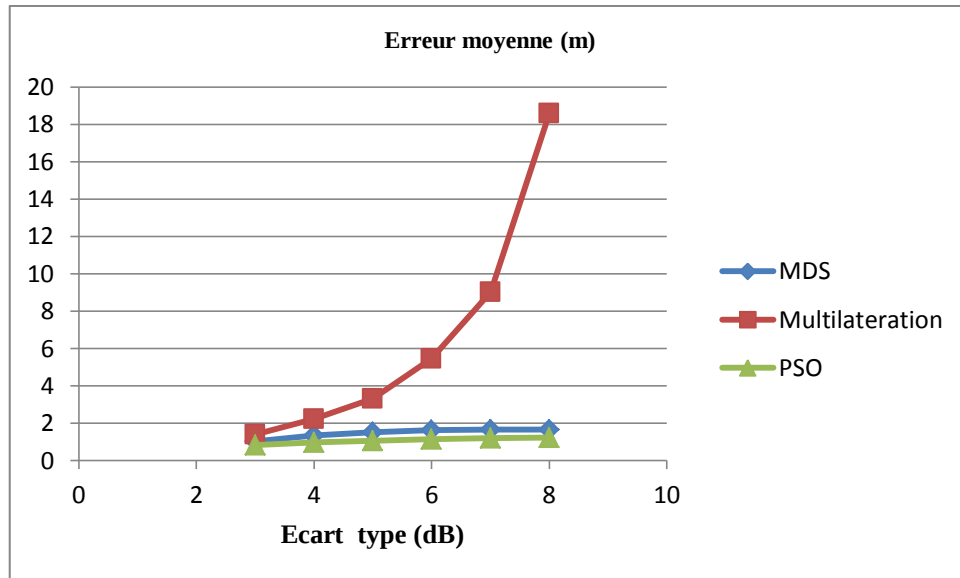


Figure 3.14: Effet de l'écart type de RSS

### 3.8 Effet du nombre de lecteurs RFID

Ensuite, nous étudions l'impact du nombre de lecteurs sur la performance. L'écart-type de flux est fixé à 3dB.

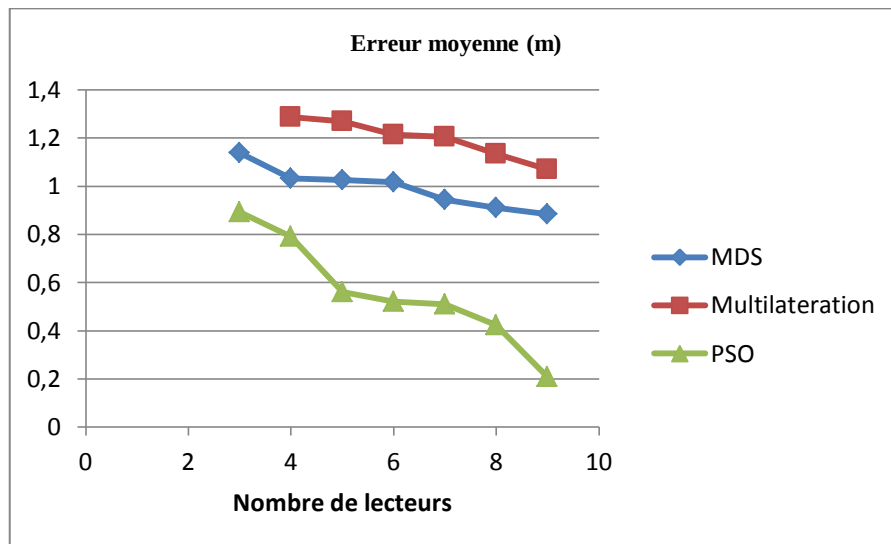


Figure 3.15: Performances des trois algorithmes en fonction du nombre de lecteurs RFID

En plus des quatre lecteurs déployés au niveau des coins, le reste des lecteurs sont uniformément placé sur la limite de la zone de déploiement. L'erreur de localisation moyenne en fonction du nombre de lecteurs RFID pour MDS, multilatération et PSO est tracée sur la Figure 3.15.

Sur cette figure, l'erreur de localisation moyenne pour les trois algorithmes diminue à mesure que le nombre de lecteurs augmente. Cependant, les raisons sont différentes.

Pour multilatération, c'est parce que d'autres mesures de distance tag-lecteurs sont disponibles pour augmenter la précision. Pour MDS, c'est principalement en raison de la meilleure estimation des distances inter-tag en utilisant plus de tag-lecteur distances. L'algorithme PSO présente une meilleure performance des deux autres grâce à sa fonction objectif qui doit minimiser sa valeur en fonction de plusieurs distances particule/lecteurs RFID.

## **Conclusion**

Les résultats de simulation obtenus montrent qu'un nombre de trois lecteurs RFID comme points de référence est suffisant pour obtenir une bonne précision d'estimation des coordonnées d'une cible par les deux algorithmes MDS et PSO.

La topologie six étiquettes cibles de l'algorithme MDS estime les coordonnées des six étiquettes avec une erreur moyenne de 1,6m tandis que l'algorithme PSO l'estime avec une erreur moyenne de 1,1m pour un nombre d'itération égal à trente et celui de particules égal à dix et une zone de recherche de  $3 \times 3$ .

Le système d'équation surdéterminé et le nombre important d'ancres ne sont pas les exigences de ces deux algorithmes pour avoir une bonne précision de localisation.

L'algorithme MDS a un bon potentiel pour résoudre le problème de la localisation dans les systèmes RFID. Il est plus robuste aux erreurs dues à l'estimation des distances  $d_i$ . En plus, il n'a pas besoin de beaucoup de points d'ancrage (uniquement les lecteurs dans les systèmes RFID) pour la localisation, ce qui le rend rentable. C'est parce que le MDS classique est réalisée sans utiliser les ancres, les informations d'ancrage est utilisé uniquement dans la dernière étape pour obtenir les coordonnées absolues des étiquettes cibles.

L'algorithme MDS ne peut pas être appliqué directement pour résoudre le problème de la localisation des tags dans le système RFID. Il nécessite la matrice distance qui décrit les distances entre chaque paire de nœud dans le réseau. Toutefois, en raison des caractéristiques des systèmes RFID, seules les distances tag-lecteur peuvent être obtenues à partir des mesures RSS, tandis que les distances inter-étiquettes sont manquantes. Afin de l'appliquer à la localisation RFID, la tâche principale est d'obtenir l'information de distance inter-tag à partir des mesures RSS des tags au niveau des différents lecteurs.

L'algorithme MDS reste valable pour une topologie régulière du système RFID car les dimensions de la matrice des distances dépendent fortement du nombre de nœuds déployés.

Le facteur temps de calcul, pour les algorithmes de localisation est une mesure parmi plusieurs autres, de la performance de l'algorithme. La nature itérative de l'algorithme PSO impose un temps de calcul proportionnel à plusieurs paramètres tel que le nombre d'itérations, le nombre de particules et la surface de la région de déploiement du système RFID.

Les progrès technologiques actuels avec les unités de calculs multiprocesseurs ou le parallélisme informatique, permettent de réduire ce temps de calcul pour ce type d'algorithme.

## **Conclusion générale**

Selon les applications, les exigences en termes de précision de localisation diffèrent d'une application à une autre. Pour certaines d'entre elles, une précision de 1 mètre est largement suffisante tel que le suivi des colis dans un entrepôt, alors qu'une précision de quelques centimètres est souhaitée pour identifier sans ambiguïté les colis étiquetés placés sur un tapis roulant. Par conséquent, il est important de choisir la technique de positionnement appropriée qui répond à la précision de positionnement et au coût requis.

La précision de positionnement d'un système RFID dépend à la fois des perspectives des détecteurs de l'emplacement et de l'algorithme de positionnement.

Grace à des techniques d'estimation des distances basées sur le paramètre RSS, plusieurs algorithmes de localisation ont été proposés dans la littérature pour estimer la position d'une cible, chacune d'elles ayant ces avantages et ces limites.

Dans ce mémoire, les deux algorithmes MDS et PSO ont été appliqués à la localisation RFID à base de RSS.

Les résultats de simulation obtenus montrent que l'algorithme PSO est d'une meilleure performance pour la localisation RFID indoor, il est basé sur un traitement itératif simple et facile à implémenter et présente une erreur moyenne de 1,1m dans une région de déploiement de surface  $3 \times 3$ . L'inconvénient majeur de cet algorithme est son temps de calcul proportionnel à plusieurs facteurs comme le nombre de particules, d'itérations et de la surface de déploiement.

A première vue, il semblerait que de nombreux paramètres sont à prendre en compte pour l'application de l'optimisation par essaim particulaire. Toutefois, la plupart d'entre eux peuvent être fixés, d'autres au contraire ne peuvent être définis qu'empiriquement.

C'est le cas, par exemple de la taille de l'essaim. La quantité de particules allouées dépend essentiellement de deux paramètres : la taille de l'espace de définition, et le rapport entre la capacité de calcul de la machine et le temps maximum de recherche. Le meilleur moyen d'affiner ce coefficient est donc de faire de nombreux essais afin de se doter de l'expérience nécessaire. Il faut aussi d'autre part considérer l'initialisation de l'essaim; elle est généralement

faite aléatoirement suivant une loi uniforme sur  $[0, 1]$ , cependant une répartition homogène des particules est préférable.

Alors que l'algorithme MDS estime les coordonnées des étiquettes cibles avec une erreur moyenne de 1,6m et un temps de calcul très réduit mais la donnée d'entrée de cet algorithme représentée par la matrice distance de tous les nœuds limite sa capacité de performance pour les topologies non uniforme. La précision de localisation des étiquettes cibles dépend du nombre de points de référence car plus le nombre de ces étiquettes cibles augmente plus des points de référence sont exigés pour améliorer cette précision.

Ce travail a permis d'étudier ce type d'algorithmes qui diffèrent par leur principe des algorithmes très connus tel que la Multilateration qui se repose sur la résolution d'un système d'équation surdéterminé avec au moins quatre points de référence. Pour un système RFID, ces références sont des lecteurs RFID déployés à des positions connues à priori. Pour un écart type de l'ordre de 5,2dB de l'effet d'ombrage, l'erreur moyenne de localisation de l'ensemble des étiquettes par Multilateration est de l'ordre de 3,7m en déployant quatre lecteurs RFID tandis que trois lecteurs sont suffisants pour obtenir une erreur moyenne de 1,1m par PSO et de 1,6m par MDS.

L'application des algorithmes PSO et MDS basés sur le temps ou la phase du signal dans les problèmes de localisation est souhaitable ainsi qu'une méthode hybride avec l'un de ces deux algorithmes.

BIBLIOGRAPHIE

- [An 08] Anthony, G. (2008). Conception d'antennes de tags RFID UHF, application à la réalisation par jet de matière. Thèse Doctorat, Institut Polytechnique, Grenoble.
- [An SD] Antoine, D. et Damien, O. (SD). Optimisation par essaim de particules : Application au problème des n-Reines. Laboratoire Informatique du Havre, Université du Havre.
- [Be 07] Bekkali, A., Sanson, H. & Matsumoto, M. (2007). RFID Indoor Positioning Based on Probabilistic RFID Map and Kalman Filtering. Third IEEE international Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, IEEE computer society.
- [Bh 10] Bhattacharya, I. & Uttam, K. R. (2010). Optimal Placement of Readers in an RFID Network Using Particle Swarm Optimization. International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), (Vol.2, No.6).
- [Bo 08] Bouet, M. & Dos Santos, A. (2008). RFID tags: Positioning principles and localization technique. In Proc of Wireless Days, Dubai.
- [Cl 02] Clerc, M. & Kennedy J. (2002). The Particle Swarm: Explosion, Stability, and Convergence in a Multi-Dimensional Complex Space. In Proceedings of the IEEE Transactions on Evolutionary Computation, (Vol.6, pp. 58-73).
- [Co 10] Cooren, Y. (2010). Perfectionnement d'un algorithme adaptatif d'Optimisation par Essaim Particulaire: Applications en génie médical et en électronique. Thèse Doctorat. Université de Paris.
- [Do 08] Dobkin, D. M. (2010). The RF in RFID Passive UHF RFID in Practice. Elsevier Inc.
- [En 04] Englund, C. & Wallin, H. (2004). RFID in Wireless Sensor Network. Communication Systems Group Department of Signals and Systems, Chalmers university of technology Gaoteborg, Sweden.
- [Fi 03] Finkenzeller, K. (2003). RFID-Handbook, Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. (2nd ed.). John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex, 452 p.

- [Fr 08] Frédéric, L. (2008). Etat de l’art et applications des RFID. Travail d’Etude et de Synthèse Technique en Electronique, Grenoble.
- [Gi 11] Girma, T. S. & Jaerock K. (2011).Efficient WiFi-Based Indoor Localization Using Particle Swarm Optimization. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [Gu 06] Guang-Yao, J., Xiao-Yi, L. & Myong-Soon, P. (2006). An Indoor Localization Mechanism Using Active RFID Tag. Department of Computer Science and Engineering, College of Information and Communications, Korea University, Seoul 136-701, Korea
- [Ha 09] Hamdache, Z. (2009). Conception d'antennes miniatures UHF et micro-ondes pour application RFID. Thèse Magister. Ecole Militaire Polytechnique.
- [Hi 08] Hui, Z., Syahrulanuar, N.,Ying, X.,Yuji, T. & Takaaki, B. (2008). A Random Time-varying Particle Swarm Optimization for Local Positioning Systems. International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS), (Vol.8, No.6).
- [Hu 07] Hui, L.,Houshang, D. & Jing, L. (2007). Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics—part C: applications and reviews, (Vol. 37, No. 6).
- [Ja 10] Jasper, G. C.Mr. J., Victor, S. P. (2010). An Energy Efficient Localization Technique Using Particle Swarm Optimization in Mobile Wireless Sensor Networks.American Journal of Scientific Research.
- [Je 06] Jean Pierre, H. (2006). Radio frequency identification – Technologies and perspectives.BEA consulting.
- [Jo 05] Jonathan, B. & Cristhopher, T. (2005). Localization in Sensor Networks **In** handbook of sensor networks algorithms and architectures. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts. Edited by Ivan Stojmenovic, University of Ottawa, Hoboken, New Jersey, pp. 300-304.
- [Kh 08] Khedam, R. (2008). Contribution au développement de méthodologies de fusion/classification contextuelles d’images satellitaires multi-sources. Thèse Doctorat. Faculté d’Electronique et d’Informatique, USTHB, pp. 172-185.
- [Li 03] Lionel, M., Yunhao, L. & Yiu Cho, L. (2003). LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. Pervasive Computing and Communications.

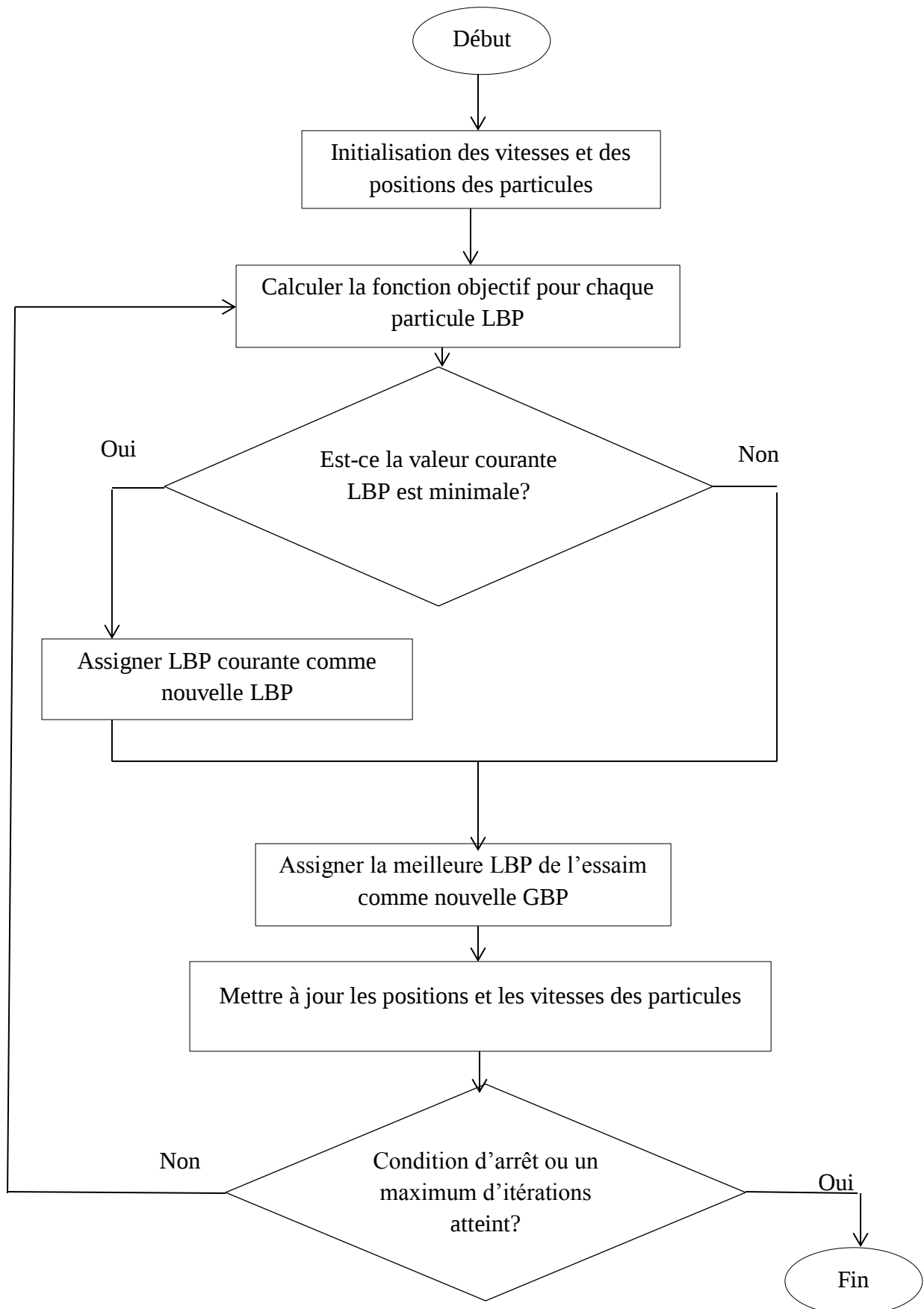
- [Ma S.D] Mahdi, S. (S D). Optimisation multiobjectif par un nouveau schéma de coopération méta /exacte. Mémoire Magister. Faculté d'ingénieur, Département de l'informatique, Université Mentouri, Constantine, pp. 10-26
- [Na 08] Nasri, N., Kachouri, A., Samet, M. & Andrieux, L. (2008). Radio Frequency Identification (RFID) Working, design considerations and modelling of antenna. IEEE 2008 5<sup>th</sup> International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices.
- [Ne 10] Nejah, N. (2010). Etude, simulation et caractérisation électronique et protocolaire de modules RFID dédiés à une communication en milieu aquatique. Thèse Doctorat, université de Toulouse II.
- [Ni 05] Nicolas, S. & Yverdon, B. (2005). Les systèmes d'identification radio (RFID) : fonctionnement, applications et dangers. Hes.so, Suisse.
- [Pa 01] Paret, D. (2001). Identification radiofréquence et cartes à puce sans contact. Dunod, (2e éd). 312p.
- [Ra 02] Rappaport, T. S. (2002). Wireless Communications: Principles and Practice. (2nd ed). Prentice Hall.
- [Ra 07] Rami, K. (2007). Modélisation comportementale en VHDL-AMS du lien RF pour la simulation et l'optimisation des systèmes RFID UHF et micro-ondes. Thèse Doctorat, l'INP, Grenoble.
- [Ra 10] Raghavendra, V.& Ganesh, K. V. (2010). Particle Swarm Optimization in Wireless Sensor Networks: A Brief Survey. IEEE transaction on systems, man and cybernetics.
- [Se 07] SenthilArumugam, M. & Chandramohan,A. (2007). A new and improved version of particle swarm optimization algorithm with global-local best parameters. Springer-Verlag London.
- [Ta 12] Tayakout, H. (2012). Développement de méthodes de localisation et de suivi par systèmes RFID : Implémentation sur Plate-formes de simulation de réseaux. Mémoire Magister, Faculté d'électronique et d'informatique, USTHB, Babezzouar.
- [Wa 06] Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. IEEE Pervasive Computing, (Vol. 5, No. 1, pp. 25 – 33).

## BIBLIOGRAPHIE

- [Wa 09] Wamba, S. (2009). Les impacts de la technologie RFID et du réseau EPC sur la gestion de la chaîne d'approvisionnement : le cas de l'industrie de commerce de détail. Thèse Ph. D, Université de Montréal.
- [We S.D] Wenbo, S., & Vincent Wong, W.S. (S D). MDS-based Localization Algorithm for RFID Systems. Department of Electrical and Computer Engineering, The University of British Columbia, Vancouver.
- [Ya 08] YGAL, B. (2008). Etude des phases en amont des projets d'adoption des technologies RFID pour l'amélioration des chaînes d'approvisionnement. Thèse Ph.D, Université de Montréal.
- [Zh 10] Yimin,Z., Xin, L., & Moeness, A. (2010). Principles and Techniques of RFID Positioning **in** RFID systems research trends and challenges. Edited by MiodragBolic, University of Ottawa, Canada.

## Annexe

## Organigramme de l'algorithme PSO



**Organigramme de l'algorithme MDS**