

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المديرية العامة للبحث العلمي و التطوير التكنولوجي

Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique



## Projet national de recherche : rapport final

# MISE EN PLACE D'UN RÉSEAU DE CAPTEURS SANS FIL POUR LA DÉTECTION DES FEUX DE FORÊT

**Chef de projet : FEHAM Mohammed**

**Affiliation: Université de Tlemcen**

**Organisme pilote : CERIST**

**Programme national de Recherche : 2011-2013**



# تقرير عام لمشروع البحث Rapport général du projet PNR

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المديرية العامة للبحث العلمي و التطوير التكنولوجي  
Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique

## I-Identification du projet:

## التعريف بالمشروع

### PNR

Code : 35/1/12/2012

### Organisme pilote

CERIST

## Domiciliation du projet :

Université de Tlemcen

## Intitulé du projet

## عنوان المشروع

Mise en place d'un Réseau de Capteurs Sans Fil pour la Détection des Feux de Forêt  
(RCSF-DFF)

## Chercheurs impliqués dans le projet المستخدمة

## أعضاء المشروع و المؤسسة

Nom et prénom الاسم و اللقب	Grade الرتبة	Etablissement employeur المؤسسة المستخدمة	Observation
FEHAM Mohammed	Prof.	Université de Tlemcen	
KADRI Benamar	MC	Université de Tlemcen	
LABRAOUI Nabila	MC	Université de Tlemcen	
HADJILA Mourad	MAA	Université de Tlemcen	
SEDJELMACI Sid Ahmed Hichem	Docteur	Université de Tlemcen	
BENMOKRANE Hocine	Ingénieur	Conservation des forêts de Tlemcen	

## Déroulement du projet :

### Rappel bref des objectifs du projet et des taches prévues

تذكير مختصر بأهداف المشروع و المهام المسطرة :

#### **Objectifs scientifiques :**

- Développement d'une méthodologie de déploiement des réseaux de capteurs sans fil (RCSF) pour la détection des feux de forêt.
- Développement, optimisation et adaptation des protocoles de routage, de localisation et de sécurité.
- Encadrement de thèses de doctorat et de projets de master sur cette thématique.

#### **Objectifs technologiques :**

- Implémentation d'un réseau de capteurs pour détecter les feux de forêts dans les réserves et les parcs d'attraction de la wilaya de Tlemcen.
- Implémentation des protocoles de routage, de localisation et de sécurité.

#### **Objectifs socio-économiques :**

- Protection et surveillance permanente d'un site critique.
- Détection et prévention des incendies ayant un impact néfaste pour l'environnement.
- Utilisation des technologies émergentes des RCSF pour la télésurveillance des feux.
- Développement, optimisation et adaptation des protocoles de routage, de localisation et de sécurité pour les réseaux de capteurs sans fil.

### Tâches prévues dans le projet

- Etude et développement des méthodologies de déploiement des RCSF
- Etude des protocoles de routage, localisation et sécurité.
- Adaptation des protocoles étudiés pour le passage à l'échelle.
- Sécurisation des protocoles étudiés dans des environnements hostiles.
- Etude du marché des RCSF
- Implémentation et mise en œuvre d'une application prototype.
- Déploiement des RCSF pour assurer la télésurveillance d'une réserve ou d'un parc d'attraction et validation des résultats.

## Sommaire

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. INTRODUCTION .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2. ARCHITECTURE D'UN CAPTEUR .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES D'UN CAPTEUR.....</b>	<b>11</b>
<b>1.4. ARCHITECTURE D'UN RESEAU DE CAPTEURS.....</b>	<b>11</b>
1.4.1 LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL PLATS .....	13
1.4.2 LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL HIERARCHIQUES .....	13
1.4.3. CONTRAINTES INFLUENÇANT LES RCSF .....	14
<b>1.5. APPLICATIONS DES RESEAUX DE CAPTEURS .....</b>	<b>15</b>
<b>1.6. AGREGATION DE DONNEES DANS LES RESEAUX DE CAPTEURS .....</b>	<b>15</b>
1.6.1 PROBLEMATIQUE D'AGREGATION .....	15
1.6.2 DEFINITION .....	16
1.7 RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL A GRANDE ECHELLE .....	16
<b>1.7. CONCLUSION.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1. INTRODUCTION .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. SYSTEMES DE DETECTION D'INTRUSION (IDS) .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3. LES POLITIQUES DE DETECTION DES INTRUSIONS DANS LE RCSF .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4. PROPOSITION D'UN MODELE D'IDS HYBRIDE DANS LES RCSF A BASE DE CLUSTER [14].....</b>	<b>22</b>
<b>DANS CETTE SECTION, NOUS PROPOSONS UN NOUVEAU SYSTEME DE DETECTION D'INTRUSION POUR LES RESEAUX DE CAPTEURS A BASE DE CLUSTER. NOTRE MODELE DE DETECTION COMBINE ENTRE LA DETECTION D'ANOMALIE BASEE SUR LA MACHINE A VECTEUR DE SUPPORT (SVM) ET LA DETECTION A BASE DE SIGNATURES D'ATTAQUES.....</b>	
2.4.1 ARCHITECTURE DES AGENTS IDS.....	24
2.4.2 RESULTATS .....	25
<b>2.5. CONCLUSION.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1. INTRODUCTION .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2. PROFIL FORESTIER DE L'ALGERIE .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3. HISTORIQUE DES FEUX DE FORET EN ALGERIE.....</b>	<b>32</b>
<b>3.4. FREQUENCE ANNUELLE DES INCENDIES DE FORET .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5. LA RECHERCHE DES CAUSES D'INCENDIES DE FORET .....</b>	<b>34</b>
<b>3.6. LES MOYENS DE LUTTE CONTRE LES INCENDIES DE FORET EN ALGERIE .....</b>	<b>35</b>
<b>3.7. LES CONSEQUENCES DES INCENDIES DE FORET EN ALGERIE.....</b>	<b>36</b>
<b>3.8. PROPOSITION D'UNE MEILLEURE PREVENTION ET GESTION DES INCENDIES DE FORET EN ALGERIE .....</b>	<b>36</b>
3.8.1. PRINCIPE .....	37
3.8.2 DEPLOIEMENT DU RCSF .....	38

<b>3.9. CONCLUSION</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1. INTRODUCTION</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2. DESCRIPTION GENERAL DU SYSTEME</b> .....	<b>41</b>
<b>4.3. PLATEFORMES LOGICIELLES ET MATERIELLES UTILISEES</b> .....	<b>42</b>
4.3.1 SYSTEME D'EXPLOITATION .....	42
4.3.2 CAPTEURS UTILISES .....	43
4.3.3 PC UTILISE .....	43
<b>4.4. ARCHITECTURE DU SYSTEME</b> .....	<b>44</b>
4.4.1 SOUS-SYSTEME DE DETECTION DU FEU.....	44
4.4.2 SOUS-SYSTEME DE LOCALISATION .....	44
4.4.3 SOUS SYSTEME DE TRANSPORT DES ALERTES .....	46
<b>4.5. DEPLOIEMENT DU SYSTEME</b> .....	<b>46</b>
4.5.1 DEPLOIEMENT DES MEMBRES DE GROUPE .....	46
4.5.2 LE DEPLOIEMENT DES CHEFS DE GROUPE .....	47
4.5.3 INSTALLATION DE LA STATION DE BASE .....	48
<b>4.6. CONCLUSION</b> .....	<b>49</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	<b>50</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>51</b>
<b>PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES</b> .....	<b>56</b>
<b>ANNEXE 1: CONSOMMATION BUDGETAIRE</b> .....	<b>53</b>
<b>ANNEXE 2: ATTESTATION DU PARTENAIRE SOCIO-ECONOMIQUE</b> .....	<b>55</b>
<b>ANNEXE 3: PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES</b> .....	<b>56</b>
<b>ANNEXE 4: FORMATION</b> .....	<b>58</b>

## Introduction générale

Depuis quelques décennies, le besoin d'observer, de surveiller à distance et de récupérer les données d'un environnement complexe et distribué s'accroît rapidement surtout avec les récentes avancées dans le domaine de la micro-électronique de la micromécanique, et des technologies de communication sans fil. Dans ce constat et pour répondre à ces attentes, une nouvelle branche s'est créée donnant ainsi l'apparition des réseaux de capteurs. Ces réseaux forment un type particulier des réseaux Ad Hoc, dans lesquels les nœuds sont des capteurs. Dans ce type des réseaux, les capteurs échangent l'information sur l'environnement afin d'établir une vue globale de la région surveillée.

Les capteurs apparaissent comme des systèmes autonomes miniaturisés, équipés d'une unité de traitement et de stockage de données, d'une unité de transmission sans fil et d'une batterie. Organisés sous forme de réseau, les capteurs (ou nœuds) d'un réseau de capteur sans fil (RCSF), malgré la limitation de leurs ressources (calcul, capacité de stockage et énergie), ont pour mission de détecter un événement (par exemple, un changement de température, des mouvements, des vibrations, ...). Un RCSF est capable de récolter des données relatives à son environnement, de les traiter, puis, si nécessaire, de les communiquer à des capteurs voisins via un médium sans fil. Les caractéristiques de ces capteurs ont participé à la naissance des réseaux de capteurs sans fil, et de favoriser leur utilisation dans une multitude d'applications. Cette nouvelle technologie exige l'auto-organisation, la collaboration et le fonctionnement autonome de capteurs. De plus, elle nécessite généralement un déploiement dense pour permettre une meilleure garantie de surveillance dans des environnements principalement dangereux et hostiles, dans lesquels les capteurs sont continuellement exposés à des menaces intentionnelles ou non intentionnelles très importantes.

Les travaux récents ont montré la nécessité d'utiliser ces réseaux pour la détection des incendies. Toutefois, pour signaler la présence de ces derniers, il faut s'assurer de mesurer les bons indices, tels que la température, l'humidité et l'intensité lumineuse. La couverture forestière partout en Algérie a été ces cinquante dernières années le théâtre d'un grand massacre avec une tendance globale d'augmentation du nombre des feux et des surfaces brûlées. Sa superficie estimée à 1.3 millions d'hectares, de vraies forêts naturelles ont connu une régression quasi exponentielle, et se trouvent aujourd'hui dans un état de dégradation avancé. Nulle part ailleurs, la forêt n'apparaît aussi nécessaire à la protection contre les incendies. La lutte contre les feux de forêt en Algérie demande chaque année un investissement important, tant en hommes qu'en matériel et moyens financiers.

Le but de notre projet PNR est de contribuer à cet effort national en utilisant une nouvelle méthode pour la lutte contre les feux de forêt. Cette technique consiste à mettre en place un réseau de capteurs capable de recueillir et de traiter des informations environnementales (température, humidité, etc.) provenant d'une zone cible couverte. Ce réseau, est déployé afin de détecter d'éventuels feux à temps et permettre ainsi une intervention rapide pour sauvegarder l'écosystème forestier. L'objectif principal de cette

recherche est de réaliser la conception d'un nouveau modèle de détection de feu de forêt et implémenter l'application sur un réseau prototype constitué de capteurs sans fil de type TelosB.

Une autre problématique a été abordée dans ce projet, à savoir la sécurité du réseau de capteur par un système de détection d'intrusion.

Souvent déployé dans des environnements éloignés et non surveillés, les RCSF sont vulnérables à plusieurs types d'attaques. Par conséquent, il est nécessaire d'utiliser des mécanismes efficaces pour protéger ce type de réseau. Toutefois il est bien connu, que les systèmes de détection d'intrusion (IDSs) sont des mécanismes de sécurité très efficaces pour protéger le réseau contre les attaques malveillantes ou l'accès non autorisé, contrairement à d'autres mécanismes telle que la cryptographie qui reste inefficace lorsque l'attaquant se trouve à l'intérieur du réseau. Par ailleurs, les techniques de détection d'intrusion doivent être conçues pour détecter et prévenir l'exécution des attaques les plus dangereuses. En outre, ces techniques doivent être légères pour convenir à la nature des ressources limitées du RCSF. La consommation d'énergie est un facteur très important dans ce type de réseau. De ce fait, plusieurs chercheurs ont travaillé sur cette problématique en proposant une architecture réseau basée sur l'approche de clustering, adaptée aux nœuds de capteurs. Cette architecture consiste en la construction d'un ou de plusieurs groupes (*clusters*) de nœuds, dont chacun d'eux dispose d'un chef de groupe élu pour la collecte des données émises par les membres de son groupe, puis l'agrégation et par la suite la transmission des données à la station de base. Cette architecture vise à minimiser la consommation d'énergie des nœuds et par conséquent le prolongement de la durée de vie du réseau. De ce fait l'idée que nous envisagions de procéder est d'intégrer les mécanismes de détection d'intrusion dans ce type de topologie.

Dans ce projet, nous allons présenter un modèle de détection d'intrusion qui est intégré dans un réseau de capteurs à base de cluster. Nous visons avec ce modèle une nouvelle stratégie pour sécuriser le réseau contre plusieurs types de menaces en prenant en considération les contraintes énergétiques des nœuds de capteurs. La solution de sécurité proposée est implémentée dans des simulateurs et dans un réseau de capteurs réels, ce qui rend notre contribution utile pour la communauté scientifique et industrielle. L'objectif commun de ces travaux réside dans le fait de détecter les attaques les plus dangereuses avec un taux de faux positifs faibles et une faible charge de communication et de calcul.

Finalement, les objectifs fixés dans ce projet sont résumés dans les points suivants:

**Objectifs scientifiques :**

- Développement d'une méthodologie de déploiement des réseaux de capteurs sans fil (RCSF).
- Développement, optimisation et adaptation des protocoles de routage, de localisation et de sécurité.
- Encadrement de thèses de doctorat et de projets de master sur cette thématique.

**Objectifs technologiques :**

- Implémentation d'un réseau de capteurs pour détecter les feux de forêts dans les réserves et les parcs d'attraction de la wilaya de Tlemcen.
- Implémentation des protocoles de routage, de localisation et de sécurité.

**Objectifs socio-économiques :**

- Protection et surveillance permanente d'un site critique.
- Détection et prévention des incendies ayant un impact néfaste pour l'environnement.
- Utilisation des technologies émergentes des RCSF pour la télésurveillance des feux.

Tous ces points sont détaillés dans ce rapport s'articulant autour de quatre chapitres.

**Le chapitre 1:** nous présentons une description générale des réseaux de capteurs sans fil ainsi que leurs caractéristiques, contraintes et spécificités.

**Le chapitre 2:** nous présentons les systèmes de détection d'intrusion ainsi que les détails de notre modèle proposé.

**Le chapitre 3:** est présenté en deux parties fondamentales, la première partie concerne le profil forestier en Algérie, les statistiques, les méthodes de lutte et les conséquences des incendies. Dans la deuxième partie on a proposé une nouvelle méthode pour la prévention contre les incendies en Algérie et qui se base sur les réseaux de capteurs sans fil.

**Le chapitre 4:** présentera la mise en place du réseau de capteur sans fil proposé. En particulier, les différentes étapes de l'implémentation et du déroulement de notre application. Par la suite nous donnons les résultats sous forme de graphes, effectués pour obtenir des mesures permettant l'évaluation des performances de notre application.

# Chapitre I

## Les réseaux de capteurs sans fil

## 1.1. Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil constituent un cas particulier des réseaux sans fil sans infrastructure (réseaux ad hoc). En effet, ceux-ci sont constitués d'un ensemble de petits appareils, ou capteurs, possédant des ressources particulièrement limitées mais qui leur permettent d'acquérir des données sur leur environnement immédiat, de les traiter et de les communiquer. En effet, un réseau de capteurs peut être mis en place dans le but de surveiller une zone géographique plus ou moins étendue pour détecter l'apparition de phénomènes ou mesurer une grandeur physique (température, humidité, pression, vitesse...).

Nous présentons dans ce chapitre le concept des réseaux de capteurs sans fil ainsi que leurs applications et leurs spécificités intrinsèques.

## 1.2. Architecture d'un capteur

L'évolution de l'architecture des capteurs est l'un des facteurs qui a permis l'essor de solutions à base de réseaux de capteurs. En effet les capteurs des générations précédentes avaient une architecture qui se limitait au capteur proprement dit (dispositif capable de mesurer une grandeur physique) et une unité d'alimentation (batterie, piles, etc...). Le détecteur d'incendies est le parfait exemple de ce type de capteur, celui-ci n'est composé que d'un système de capture alimenté par une pile, capable de détecter la fumée et de déclencher une alarme [1]. Les composants d'un capteur sans fil, mentionnés sur la Figure 1.1, sont décrits dans la suite [1].

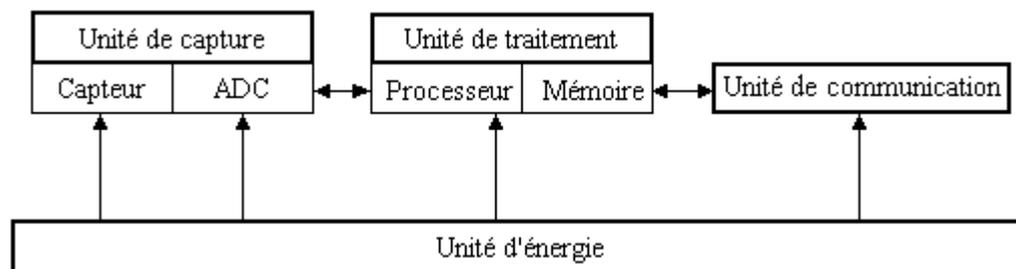


Figure 1. 1: Les composants d'un nœud capteur

**Unité de capture (*Sensing unit*):** elle est composée de deux sous-unités: un dispositif de capture physique qui prélève l'information de l'environnement local et un convertisseur analogique/numérique appelé ADC (*Analog to Digital Converters*) [2].

**Unité de traitement (*Processing unit*):** les données captées sont communiquées au processeur où elles sont stockées dans la mémoire. Elle est généralement constituée d'un microcontrôleur dédié et de la mémoire. Les microcontrôleurs utilisés dans le cadre de réseaux de capteurs sont à faible consommation d'énergie. Leurs fréquences sont assez faibles, moins de 10 MHz pour une consommation de l'ordre de 1 mW. Une autre caractéristique est

la taille de leur mémoire qui est de l'ordre de 10 Ko de RAM pour les données et de 10 Ko de ROM pour les programmes [3].

**Unité de communication (*Transceiver unit*):** elle est composée d'un module radio émetteur/récepteur permettant la communication entre les différents nœuds du réseau en utilisant les ondes radio.

**Unité d'énergie (*Power unit*):** c'est la batterie. L'énergie limitée des capteurs représente la contrainte principale lors de conception de protocoles pour les RCSF. Les unités d'énergie peuvent être supportées par des photopiles qui permettent de convertir l'énergie lumineuse en courant électrique [2].

D'autres composants peuvent être utilisé dans certains capteurs selon les applications dans lesquelles ils sont utilisés comme « des mobilisateur » pour qu'ils puissent se déplacer ou bien de GPS (Global Position System) pour permettre de déterminer leur position géographique [1]. Les Figure 1.2 et 1.3 illustrent respectivement un ensemble de capteurs sans fil et l'évolution de leur taille.

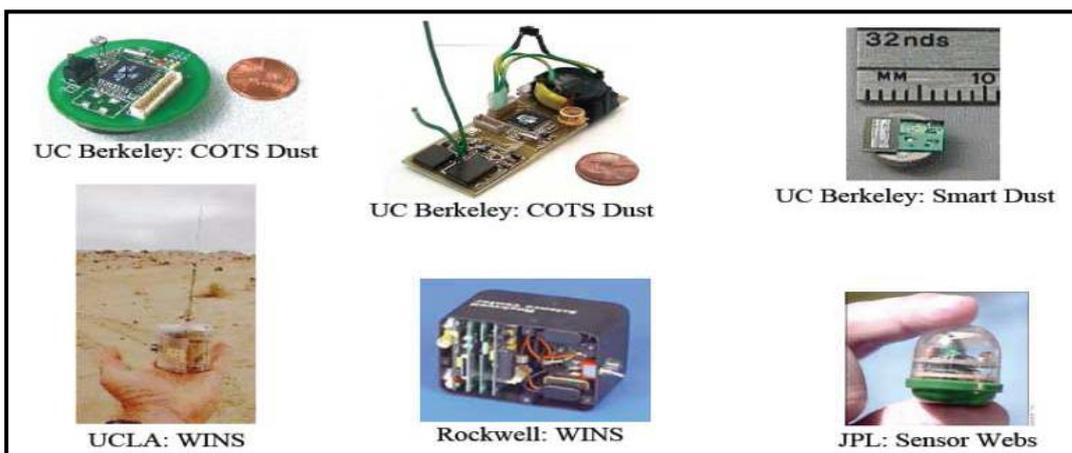


Figure 1.2: Exemple de capteurs [4]

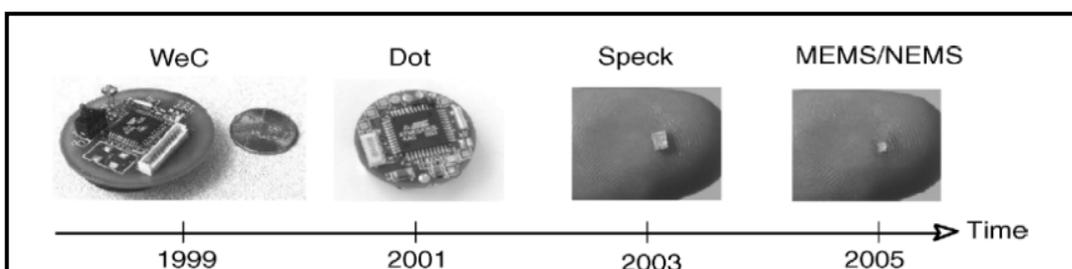


Figure 1.3: La taille des capteurs à partir de 1999 [5]

### 1.3. Caractéristiques principales d'un capteur

Deux entités sont fondamentales dans le fonctionnement d'un capteur: l'unité d'acquisition qui est le cœur physique permettant la prise de mesure et l'unité de communication qui réalise la transmission de celle-ci vers d'autres dispositifs électroniques. Ainsi, chaque capteur possède un rayon de communication ( $R_C$ ) et un rayon de sensation ( $R_S$ ).

La Figure 1.4 montre les zones définies par ces deux rayons pour le capteur. La zone de communication est la zone où le capteur peut communiquer avec les autres capteurs. D'autre part, la zone de sensation (ou de détection) est la zone où le capteur peut capter l'événement.

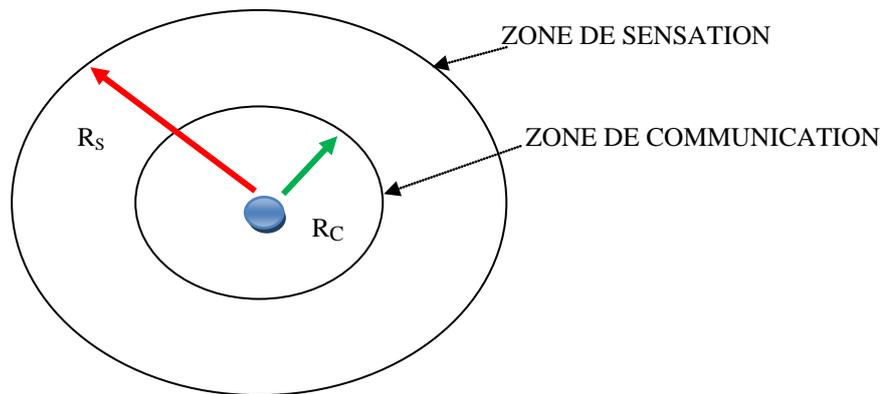


Figure 1.4: Rayons de communication et de détection d'un capteur

Un Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF) est un système distribué de grande échelle mettant en communication, des nœuds capteurs, à faible coût variant de quelques centaines d'éléments voire des milliers [1], répartis sur une grande surface. Les nœuds sont censés fonctionner de manière non supervisée même si de nouveaux nœuds sont ajoutés, ou de vieux nœuds disparaissent [1].

Pour le magazine Technology Review du MIT, les réseaux de capteurs sans fil sont l'une des dix nouvelles technologies qui bouleverseront le monde et notre manière de vivre et de travailler [1].

### 1.4. Architecture d'un réseau de capteurs

Un réseau de capteur sans fil est constitué d'un nombre plus ou moins grand de nœuds capteurs. Ces nœuds sont autonomes, distribués dans l'espace qui coopèrent pour surveiller des conditions environnementales ou physiques, tels que *la température, le bruit, la vibration, la pression, le mouvement, etc.* A l'origine, le développement des réseaux de capteur sans fil a été motivé par des applications militaires telles que la surveillance de champ de bataille. Cependant, ce type de réseau est maintenant employé dans plusieurs domaines d'applications civiles, comme la surveillance d'environnement, d'habitat, la surveillance médicale, l'automatisation des maisons, le contrôle du trafic [1]. L'architecture des réseaux de capteurs

sans fil utilise beaucoup de sources. Historiquement, beaucoup de travaux relatifs ont été effectué dans le contexte des réseaux à auto-organisation, mobiles et Ad Hoc. Un réseau de capteurs est constitué essentiellement de plusieurs nœuds capteurs, un nœud sink (ou station de base) et un centre de traitement des données.

**Les nœuds** sont des capteurs: Leur type, leur architecture et leur disposition géographique dépendent de l'exigence de l'application en question. Leur énergie est souvent limitée puisqu'ils sont alimentés par des piles.

**Le sink** est un nœud particulier du réseau: Il est chargé de la collecte des données issues des différents nœuds du réseau. Il doit être toujours actif puisque l'arrivée des informations est aléatoire. C'est pourquoi son énergie doit être illimitée. Dans un réseau de capteur sans fil plus ou moins large et à charge un peu élevée, on peut trouver deux sinks ou plus pour alléger la charge.

**Centre de traitement des données:** c'est le centre vers lequel les données collectées par le sink sont envoyées. Ce centre a le rôle de regrouper les données issues des nœuds et les traiter de façon à en extraire l'information utile exploitable. Le centre de traitement peut être éloigné du sink [1], alors les données doivent être transférées à travers un autre réseau, c'est pourquoi on introduit une passerelle entre le sink et le réseau de transfert pour adapter le type de données au type du canal (Figure 1.5).

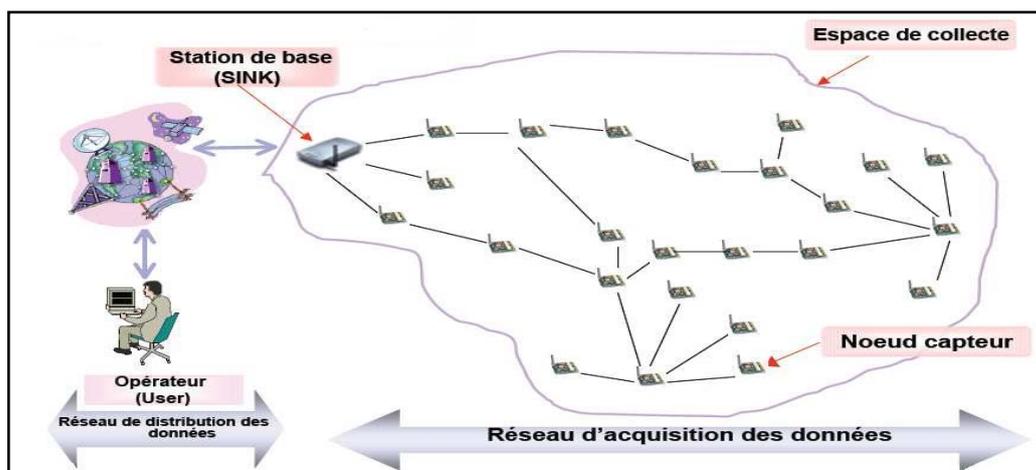


Figure 1.5: Architecture d'un réseau de capteur

Comme le montre la Figure 1.5, un RCSF est composé d'un grand nombre de nœuds capteurs éparpillés sur le champ de captage. Quand le sink diffuse une requête, les nœuds collaborent entre eux pour lui envoyer les informations captées à travers une architecture multi-sauts. Le sink transmet ensuite ces données par Internet ou par satellite au gestionnaire de tâches pour les analyser et prendre des décisions. A un niveau plus élevé un RCSF peut être vu comme étant une combinaison de deux entités de réseau:

**Le réseau d'acquisition des données:** c'est l'union des nœuds capteurs et du sink. Son rôle consiste à collecter les données à partir de l'environnement et de les rassembler au sink.

**Le réseau de distribution des données:** son rôle est de connecter le réseau d'acquisition des données à un utilisateur.

Il existe deux types d'architecture pour les RCSF [6]:

### 1.4.1 Les réseaux de capteurs sans fil plats

Un réseau de capteurs sans fil plat est un réseau homogène, où tous les nœuds disposent des mêmes capacités et fonctionnalités concernant le captage, la communication et la complexité du matériel, seul le sink échappe à cette règle puisqu'il joue le rôle d'une passerelle chargée de la collecte des données issues des différents nœuds capteurs pour les transmettre à l'utilisateur.

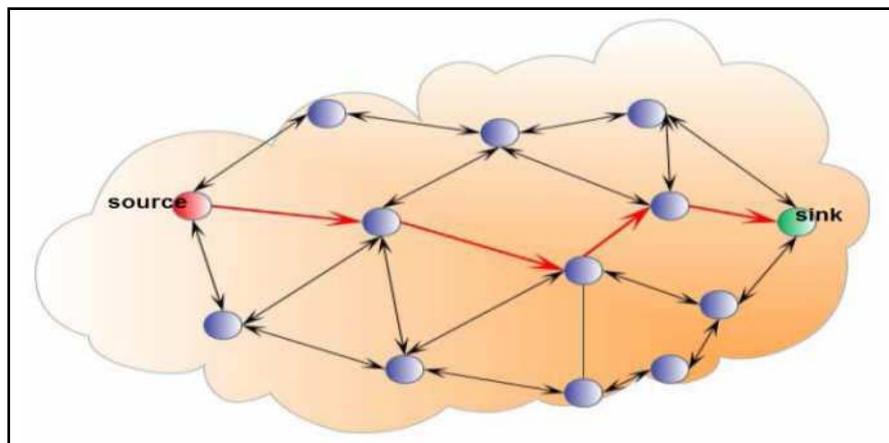


Figure 1.6: Architecture plate

### 1.4.2 Les réseaux de capteurs sans fil hiérarchiques

Un réseau de capteurs hiérarchique (Figure 1.7) est un réseau hétérogène où les nœuds ont des capacités différentes, par exemple certains nœuds peuvent disposer d'une source d'énergie plus importante, une plus longue portée de communication et/ou une plus grande puissance de calcul. Ceci permet de décharger la majorité des nœuds simples à faible coût de plusieurs fonctions du réseau.

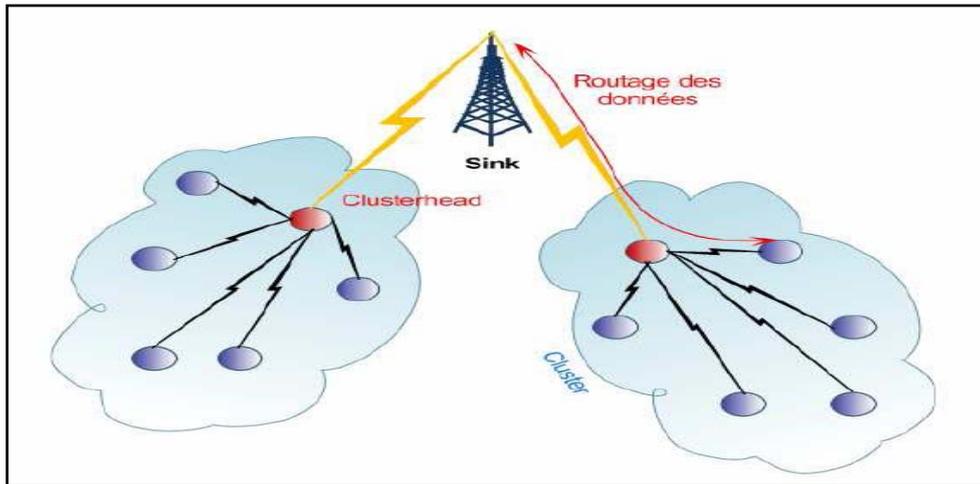


Figure 1.7: Architecture hiérarchique

### 1.4.3. Contraintes influençant les RCSF

La création des protocoles adaptés aux réseaux de capteurs sans fil ou bien contribuant à leur développement reste une problématique difficile pour les raisons suivantes [7]:

#### a. Capacité limitée

Non seulement les ressources de calcul et de mémoire des nœuds sont relativement faibles, mais en plus, ils opèrent avec des piles ce qui rend leur durée de vie limitée, un protocole efficace et réaliste doit minimiser au maximum l'overhead de communication et de stockage pour ne pas pénaliser le réseau.

#### b. Agrégation de données

Il a été démontré dans plusieurs publications scientifiques que le fait d'agréger les données avant de les envoyer à une station de base va permettre de diminuer le nombre de messages envoyés, de réduire les puissances d'émission et ainsi économiser de l'énergie.

#### c. Echelle de dynamique

Les réseaux de capteurs contiennent souvent un nombre de nœuds très important. Ces réseaux sont souvent peu stables et très dynamiques: les capteurs, qui ont épuisé leur pile, disparaissent et de nouveaux nœuds doivent être déployés pour assurer une certaine connectivité.

#### d. Protection physique faible

Les capteurs sont souvent déployés dans des environnements non-protégés (montagnes, forêts, champs de bataille,...). Par conséquent, ils peuvent facilement être interceptés et corrompus. De plus, à cause de leur faible coût, ils utilisent rarement des composants électroniques anti-corruption (tamper-resistant devices).

## 1.5. Applications des réseaux de capteurs

L'utilisation des capteurs est depuis longtemps une réalité au sein de multiples domaines tel que l'industrie automobile ou aéronautique, mais l'affranchissement de la connexion filaire de part les progrès dans les technologies du sans fil permet d'étendre leur utilisation à une multitude d'autres applications [4], on en cite quelques unes:

Ils peuvent détecter les fissures et les altérations dans les structures de ponts par exemple à la suite d'un séisme ou au vieillissement de la structure.

Ils sont aussi utilisés dans les applications environnementales (détection d'incendies, détecter la pollution, analyser la qualité de l'air, surveiller d'éventuels tsunamis, inondations, volcan, etc.).

Utilisés dans les applications commerciales, ils servent pour améliorer les processus de stockage, de livraison, pour connaître la position, l'état et la direction d'une marchandise.

Ils peuvent être utilisés pour la détection de feux dans des grandes zones forestières, l'observation d'environnements naturels (pollution, inondation, etc.), suivi d'écosystèmes comme la surveillance d'oiseaux, croissance des plantes, etc.

Le déploiement d'un réseau de capteurs de mouvement peut constituer un système d'alarme qui servira à détecter les intrusions dans une zone de surveillance [8].

## 1.6. Agrégation de données dans les réseaux de capteurs

Nous abordons dans cette section la technique d'agrégation des données dans les réseaux de capteurs.

### 1.6.1 Problématique d'agrégation

Dans un capteur, la problématique principale concerne la consommation d'énergie: en effet, ces derniers doivent restés opérationnels le plus longtemps possibles, dans des conditions parfois difficiles (ex: lâchés par avion sur les parois d'un volcan). Comme il n'est pas possible de recharger leur énergie ni changer les piles par exemple (on ne sait pas toujours où se trouvent les capteurs), il est nécessaire d'économiser au maximum l'énergie consommée par ces derniers. On estime que la transmission des données d'un capteur représente environ 70% de sa consommation d'énergie.

De plus, les réseaux de capteurs étant assez denses en général, cela signifie que des nœuds assez proches en terme de distance (voisins) peuvent capter les mêmes données (température, pression, humidité équivalentes par exemple) et donc il apparaît nécessaire d'introduire le mécanisme d'agrégation de données afin d'éviter la duplication d'information au sein du réseau de capteurs et donc de préserver leur énergie et donc d'augmenter la durée de vie du réseau.

## 1.6.2 Définition

L'agrégation de données dans les réseaux de capteurs consiste à remplacer les lectures individuelles de chaque capteur par une vue globale, collaborative sur une zone donnée (clustering). On peut utiliser par exemple de simples fonctions d'agrégat telles que MIN, MAX ou MOYENNE, qui permettent à partir d'une série de  $n$  messages reçus par un «chef de zone» (capteur chef d'une zone) de ne renvoyer vers le sink qu'un seul message résumant l'information contenue dans ces  $n$  messages. Ceci réduit le nombre de messages envoyés et donc économise l'énergie. La Figure 1.8 illustre un exemple sans agrégation:

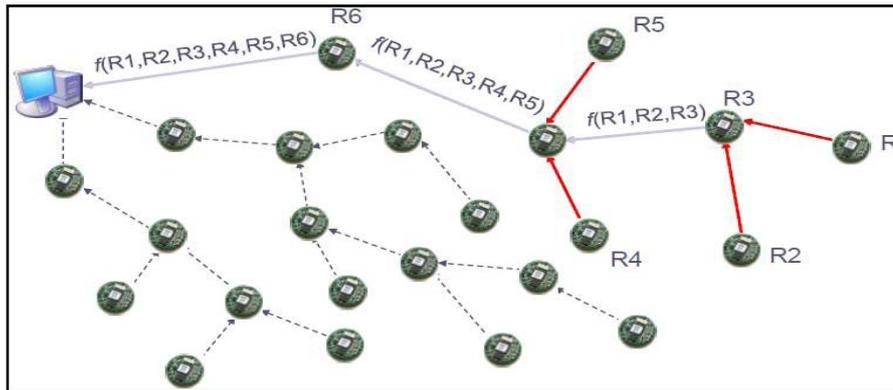


Figure 1.8: Exemple sans agrégation

Dans cet exemple, au total, 18 messages sont envoyés sur le réseau de capteurs. En utilisant le mécanisme d'agrégation de données, on obtient un total de 7 messages envoyés sur le réseau (Figure 1.9).

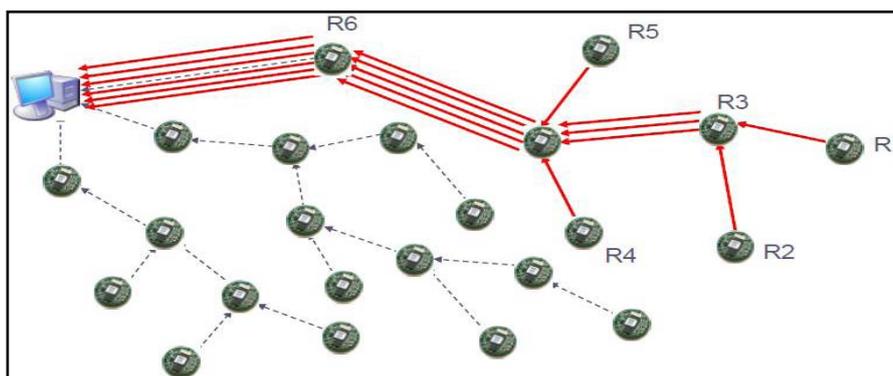


Figure 1.9: Exemple avec agrégation

## 1.7 Réseaux de capteurs sans fil à grande échelle

La conception de protocoles énergétiquement efficaces, des algorithmes et mécanismes, dans le but de conserver autant d'énergie que possible, et donc d'étendre la durée de vie du réseau, a été le sujet de nombreuses études. Pour remédier au problème de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil, nous avons conçu et implémenté trois protocoles qui ont fait l'objet de trois papiers publiés. Le premier article [9]

se focalise sur la proposition de deux algorithmes. Dans la première approche, les nœuds sont organisés dans des clusters en utilisant l’algorithme FCM (Fuzzy C-Means) ensuite un nœud aléatoire élit lui même chef de groupe (cluster head) dans chaque cluster car initialement tous les nœuds possèdent la même quantité d’énergie. Dans la prochaine transmission, le nœud ayant la plus grande énergie résiduelle élira lui même le chef de groupe. Les nœuds ordinaires dans chaque cluster envoient les données collectées au cluster head. Ce dernier effectue l’agrégation des données puis les transmet à la station de base distante. La deuxième approche constitue une amélioration de la première, elle utilise le même principe au niveau de groupement et de communication inter-cluster mais opère en multi-sauts lorsque les chefs de groupes transmettent les données vers la station de base. Les résultats de simulation montrent que les algorithmes proposés améliorent la consommation d’énergie et par conséquent étendent la durée de vie du réseau. En outre, le second algorithme prouve son aptitude à être appliqué dans les réseaux de capteurs sans fil à grande échelle.

A la différence du premier papier qui a utilisé le principe « cluster-based », le second papier [10] s’articule sur le principe « chain-based ». Dans ce contexte, nous proposons un protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil. Il est basé sur la construction de multiples chaînes dans le sens de la station de base. Le premier nœud de chaque chaîne envoie les données au nœud le plus proche dans la même chaîne. Ce dernier recueille, agrège et transmet des données au nœud suivant le plus proche. Ce processus se répète jusqu’à atteindre le dernier nœud, qui agrège les données puis les transmet directement à la station de base. Une amélioration de cette approche est proposée. Elle fonctionne comme suit : En plus de former plusieurs chaînes comme précédemment, il construit une chaîne principale, qui comprend les nœuds leader des différentes chaînes. Puisque initialement tous les nœuds de la chaîne principale ont la même quantité d’énergie, le nœud le plus proche de la station de base élit lui même nœud leader de la chaîne principale ; il reçoit les données des autres puis les transmet finalement à la station de base. Dans la prochaine transmission, le nœud de la chaîne principale ayant l’énergie résiduelle supérieure effectue cette tâche. Par rapport à la première approche, les résultats des simulations montrent que la deuxième approche consomme moins d’énergie et prolonge effectivement la durée de vie de réseau.

Dans la troisième contribution, nous avons proposé un algorithme de routage basé sur la logique floue afin de prolonger la durée de vie des réseaux de capteurs sans fil. Premièrement, nous avons commencé par créer un certain nombre prédéfini de clusters (généralement égal à la racine carrée du nombre total des nœuds déployés). Deuxièmement, nous avons procédé à la sélection des cluster-heads en utilisant un système d’inférence flou. Ce dernier admet deux paramètres en entrée qui sont le niveau d’énergie du nœud et sa centralité c’est-à-dire sa position dans le cluster, et fournit une seule sortie appelée «la probabilité de choisir un cluster-head». Une fois la phase de formation des clusters et celle de sélection des cluster-heads sont terminées, l’acheminement des données vers la station de base se fait en multi-saut entre les cluster-heads.

## 1.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé d'expliquer bien que brièvement la notion de capteurs, leurs caractéristiques et l'architecture des réseaux de capteurs sans fil entre autres.

Cela nous a permis de découvrir les multiples domaines d'utilisation de ces derniers vu la facilité d'utilisation, de déploiement et du faible coût des capteurs, sans pour autant oublier les contraintes auxquelles doit faire face n'importe quel protocole travaillant sur ces capteurs surtout celle concernant «la limitation de l'énergie» qui est une ressource qu'il faut gérer avec la plus grande précaution, étant donné qu'elle est en étroite liaison avec la durée de vie du réseau. Dans ce cadre plusieurs protocoles de routage et d'agrégation ont été élaborés et ont fait l'objet de plusieurs publications et communications internationales par les chercheurs impliqués dans ce projet (voir production scientifique). Aussi, Mme Labraoui Nabila a soutenu sa Thèse de doctorat.

Nous verrons dans le chapitre suivant, la problématique de sécurité des réseaux de capteurs sans fil par des systèmes de détection d'intrusion (IDS).

# Chapitre II

## Les systèmes de détection d'intrusion

## 2.1. Introduction

Les réseaux sans fil sont par nature plus sensibles aux problèmes de sécurité. L'intrusion sur le support de transmission est plus facile que pour les réseaux filaires et il est possible de mener des attaques par déni de service en brouillant les bandes fréquences utilisées.

Le contexte Ad hoc augmente le nombre de failles de sécurité potentielles. Etant par définition sans infrastructure, les réseaux Ad hoc ne peuvent bénéficier des services de sécurité offerts par des équipements dédiés: pare feux, serveurs d'authentification, etc.

Les services de sécurité doivent être distribués, coopératifs et compatibles avec la bande passante disponible. Le routage pose aussi des problèmes spécifiques: chaque station (nœud) du réseau peut servir de relai et a donc la possibilité de capturer ou bien de détourner le trafic en transit. Des attaques en déni de service sont également possibles. Un attaquant peut aussi générer des messages de routage dans le but de saturer le réseau.

Malgré les solutions cryptographiques adaptées et utilisées dans les RCSF, qui constituent des solutions préventives, ces réseaux restent toujours une cible aux attaquants, et plusieurs attaques peuvent être déclenchées en dépit de ces contremesures. Les solutions de détection viennent renforcer les solutions préventives comme une deuxième ligne de défense afin d'assurer la sécurité dans les RCSF. Dans ce chapitre, nous nous focalisons sur les systèmes de détection d'intrusion (IDS) dans les RCSF.

## 2.2. Systèmes de détection d'intrusion (IDS)

Contrairement à la cryptographie, ce système a la capacité de détecter avec une grande précision les attaques internes. Ce mécanisme permet de détecter les activités anormales ou suspectes sur la cible analysée et déclenchera une alarme lorsqu'un comportement malveillant se produit. Nous croyons fermement que l'IDS est la solution la plus utile pour la détection des attaques à la fois internes et externes. Dans cette thèse nous allons focaliser notre travail sur ce type de mécanisme en proposant et concevant de nouveaux systèmes de détection d'intrusion pour l'identification et la prévention d'un certain nombre d'attaques.

L'agent IDS est installé dans la couche application, celui-ci est constitué de trois composants (ou modules). Ces composants sont illustrés dans la Figure 2.1 et définis comme suit:

- a) **Collecte de données:** Ce module est responsable de la capture des paquets au sein de la portée radio du nœud IDS.
  
- b) **Détection d'intrusion:** L'agent IDS analyse les paquets capturés en se basant sur une politique de détection. Parmi ces politiques, il y'a la détection à base de signature d'attaquant et la détection d'anomalie.

c) **Prévention.** La prévention d'intrusion est un ensemble de tâches ayant pour but d'anticiper et de stopper les attaques [11]. Ces tâches peuvent être définies par exemple comme l'envoi d'une alarme par l'IDS à la station de base (Sink), par la suite ce dernier éjecte le nœud suspect du réseau et applique la mise à jour des clés.

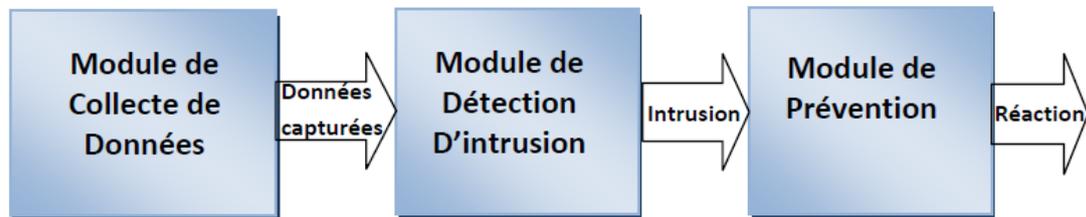


Figure 2.1: Les composants d'un agent IDS

### 2.3. Les politiques de détection des intrusions dans le RCSF

Les politiques de détection des intrusions dans le RCSF peuvent être classées en deux grandes techniques, détection à base de signature et détection d'anomalie [12].

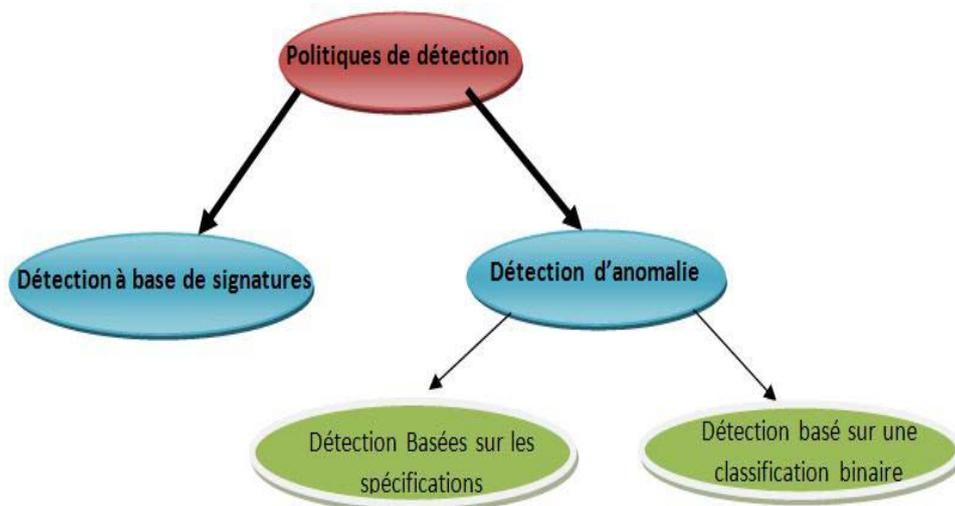


Figure 2.2: Les techniques de détection d'intrusion

En effet, dans [13] les auteurs proposent un ensemble de règles afin de détecter des attaques du type: *Hello flood*, *Black hole*, *Selective forwarding*, *Jamming*, *Wormhole*, et Déni de service (DOS). Ces règles sont illustrées dans le Tableau 2.1. Une mise à jour continue de ces

règles doit être appliquée pour une détection efficace de ces attaques. Dans ce travail les auteurs ne mentionnent aucun mécanisme de mise à jour de ces règles.

Nom de la règle	Description de la règle	Attaques détecté
Règle de l'intervalle	Le temps de réception entre deux paquets successifs ne doit pas être supérieur ou inférieur à un certain seuil	<i>Hello flood</i>
Règle de retransmission	L'agent IDS surveille si le nœud retransmit le paquet reçu à son voisin	<i>Black hole et Selective Forwarding</i>
règle de la répétition	Nombre de retransmissions du même message par le nœud	Déni de service (DOS)
Portée de transmission radio	Le message reçu par L'agent IDS doit être de provenance de l'un des ses nœuds voisin	<i>Wormhole, Hello flood</i>
Règle de brouillage	Le nombre de collisions associées à un message doit être inférieur au nombre prévu de collisions	<i>Jamming</i>
Règle de delay	Une anomalie est détectée si le message n'est pas transmis en temps demandée.	<i>Jamming et DOS</i>

**Tableau 2.1: Règles pour la détection des attaques dans les réseaux de capteurs**

## 2.4. Proposition d'un modèle d'IDS Hybride dans les RCSF à base de Cluster [14]

Dans cette section, nous proposons un nouveau système de détection d'intrusion pour les réseaux de capteurs à base de cluster. Notre modèle de détection combine entre la détection d'anomalie basée sur la machine à vecteur de support (SVM) et la détection à base de signatures d'attaques.

La détection d'anomalies utilise un algorithme d'apprentissage distribué pour la formation de la SVM afin de distinguer entre les activités normales et anormales. En outre, un ensemble de règles fixes associées à chaque signature d'attaque est stocké au niveau de chaque nœud. Nous utilisons une topologie à base de cluster qui divise le réseau de capteurs

en un ensemble de groupes, chacun d'eux est constitué d'un *cluster-head* (CH). L'objectif de cette architecture est d'économiser l'énergie et par conséquent un prolongement de la durée de vie du réseau. Enfin, chaque nœud a la possibilité d'activer son agent IDS. Cependant, l'activation simultanée n'est pas effectuée car elle conduit à gaspiller des ressources du réseau. Dans chaque lien il doit y avoir au moins un nœud IDS, qui a la responsabilité de collecter et analyser les paquets qui circulent dans sa portée radio (*radio range*) comme il est illustré dans la Figure 2.3. On note que, les IDSs reçoivent les données à travers l'écoute de leurs entourages (*promiscuous*), en captant les paquets qui ne leur sont pas adressés, ou en utilisant la communication multi-saut (le *cluster-head* (Chef de groupe) peut agir comme étant un relai). Ce processus est illustré dans la Figure 2.3.

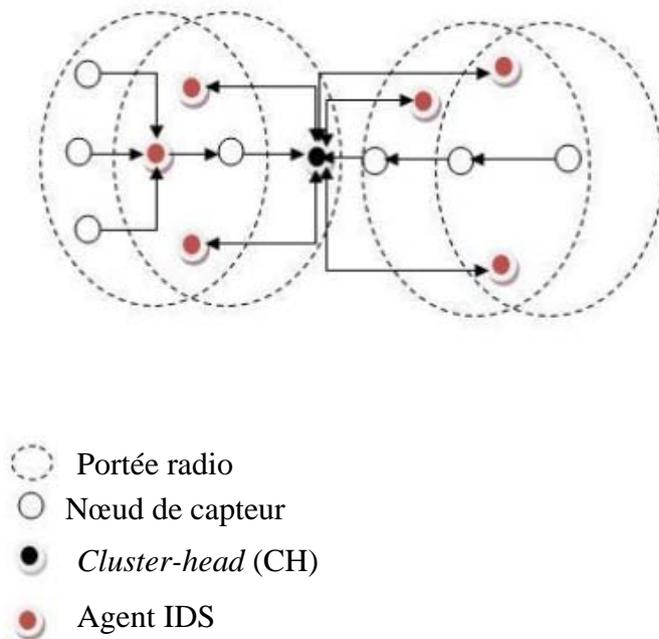


Figure 2.3: Stratégie de l'emplacement des IDSs dans le RCSF en cluster

## 2.4.1 Architecture des agents IDS

Dans notre modèle, nous avons divisé les agents de détection en deux catégories qui sont: agent IDS et agent CH, comme il est illustré dans la Figure 2.4. L'agent IDS est équipé de deux composants qui sont *Data Collection Framework (DCF)* et *Intrusion Detection Framework (ADF)*. L'agent CH est équipé d'un composant de coopération, *Collaborative Detection Framework (CDF)*.

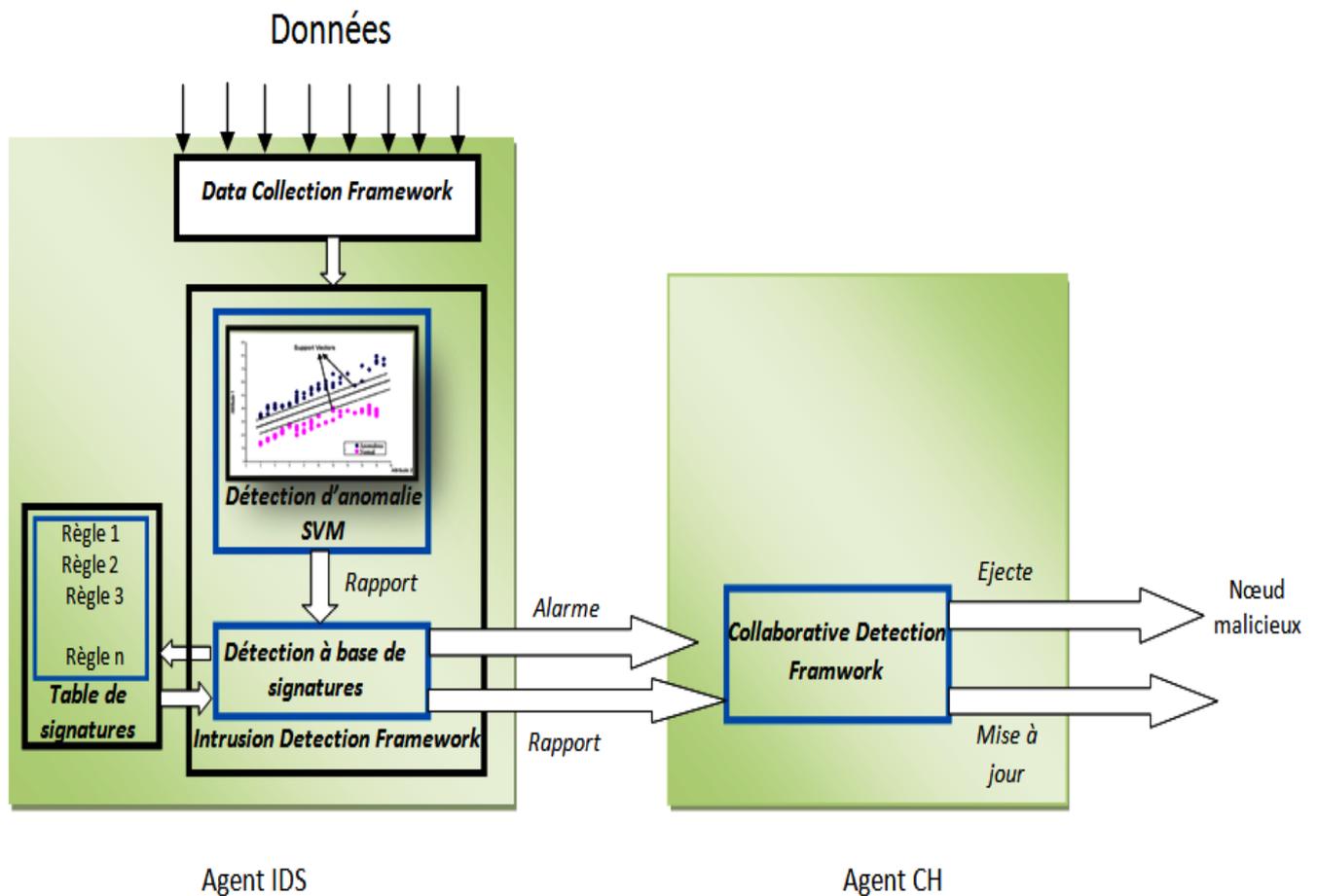


Figure 2.4: Architecture du modèle de détection d'intrusion

L'organigramme du processus de détection est illustré dans la Figure 2.5.

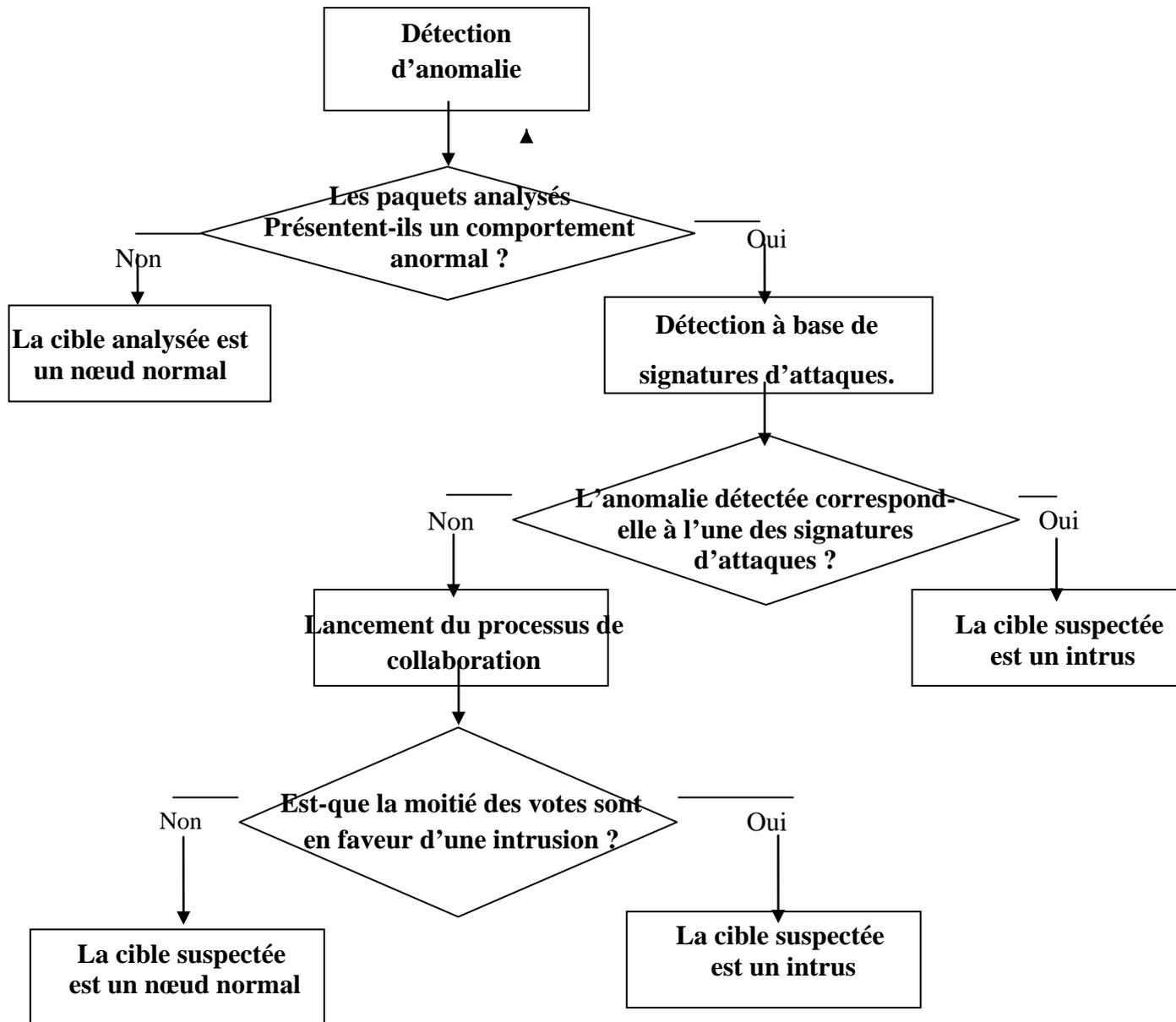


Figure 2.5: Organigramme du modèle hybride de détection d'intrusion

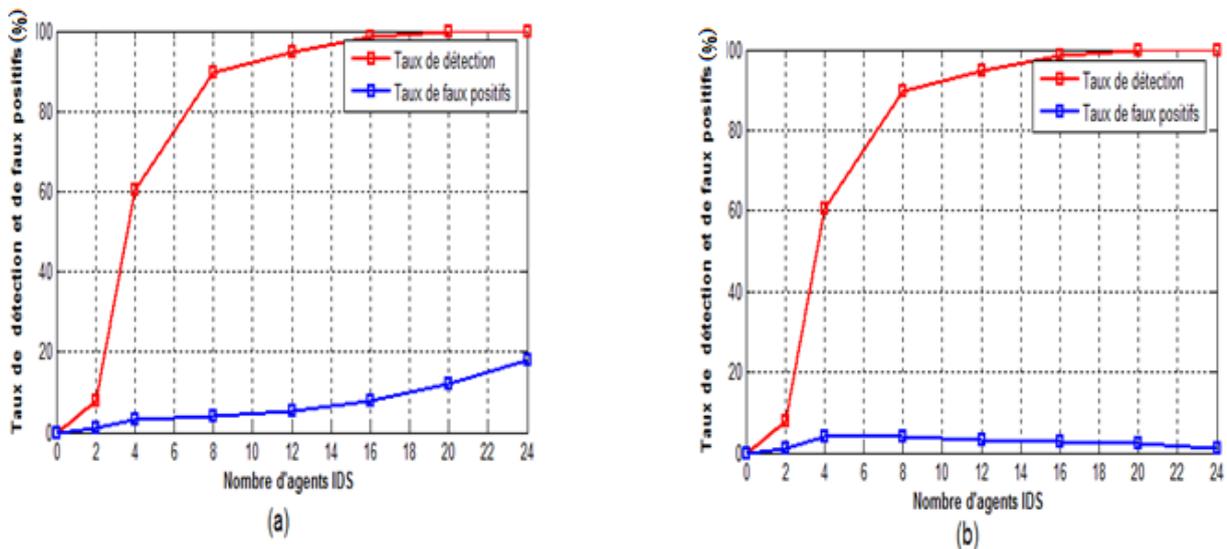
## 2.4.2 Résultats

Le résultat de notre classificateur distribué binaire lié aux attributs les plus pertinents est illustré dans le Tableau 2.2.

Nombre d'attributs	Taux de détection (%)	Taux de faux positifs (%)
9	93.66	4.3%
7	95.61	3.7%
5	91.21	4%
4	95.37	3.85%

**Tableau 2.2: Evaluation des performances des IDSs distribués à base des SVMs**

Il est à noter que dans cette étude nous avons supposé que les agents IDS ne sont pas des nœuds malicieux. Comme il est illustré dans la Figure 2.6.a, le taux de détection atteint presque 100% lorsque le nombre de nœuds IDS est élevé (plus de 12 agents). Cependant, nous avons remarqué une augmentation dans le nombre de faux positifs lorsque le nombre de nœuds IDS dépasse 12 agents. Par conséquent, un compromis entre le nombre de nœuds IDS et le taux de fausses alarmes doit être effectué.



**Figure 2.6: Performance du modèle**

(a) Taux de détection et de faux positifs avec une détection basée sur la SVM. (b) Taux de détection et de faux positifs avec une détection basée sur la SVM & des signatures d'attaques

D'après les résultats exposés sur la Figure 2.7, notre approche génère un nombre réduit de fausses alarmes par rapport aux autres modèles, en particulier lorsque le nombre de nœuds IDS est supérieur à 12.

Par conséquent, le modèle hybride distribué de détection d'intrusion que nous avons proposé dispose d'une meilleure efficacité en termes de détection d'attaques et du nombre de faux positives.

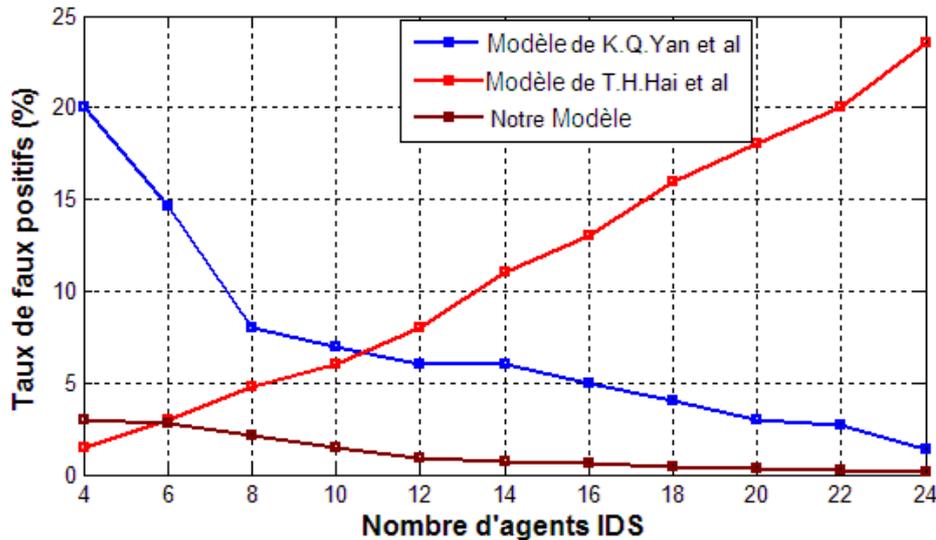


Figure 2.7: Comparaison des taux de faux positifs dans les différents

## 2.5. Conclusion

L'utilisation des réseaux de capteurs sans fil (RCSF) dans des applications critiques nécessite un certain degré de sécurité afin de les protéger contre des menaces qui profitent de la vulnérabilité des nœuds pour attaquer ces réseaux. La sécurité des RCSFs présente des défis liés aux contraintes énergétiques des nœuds et leurs capacités physiques. De ce fait les chercheurs travaillent sur cette problématique et proposent des protocoles de sécurité adaptés aux nœuds de capteurs.

Nous avons présenté dans ce chapitre un modèle d'IDS hybride qui consiste à combiner les avantages de la technique de détection basée sur les signatures d'attaques et de la détection d'anomalie à base de la machine à vecteur de support (SVM). Les résultats de nos simulations, exploitant un certain nombre d'attaques définies dans la base de données KDDcups' 99, ont démontré une nette précision de détection traduite par un taux de détection proche de 100% avec une faible occurrence des faux positifs.

Cette approche et les concepts développés ont été couronnés par plusieurs publications et communications internationales ainsi qu'une soutenance de Thèse de Doctorat LMD de Mr Sedjelmaci Sid Ahmed Hichem (la première en Algérie du système LMD).

Nous verrons dans le chapitre suivant, le contexte de notre travail de recherche, à savoir les feux de forêt qui constitue un problème épineux qui menace notre environnement. Nous donnerons quelques statistiques sur les feux de forêt en Algérie ainsi que leur historique et les moyens de lutte utilisés.

# Chapitre III

## Etude des feux de forêts en Algérie

### **3.1. Introduction**

L'Algérie constitue une entité écologique exceptionnelle dans la biosphère. Rares sont les autres pays biogéographiques présentant une telle étendue et possédant une telle surface constituée par des écosystèmes de types méditerranéen, steppique et saharien. Elle est toutefois loin de disposer de tous les atouts que laisserait supposer sa dimension territoriale. Ses atouts naturels sont certes conséquents, tant en ressources de surface qu'en ressources de sous-sol, mais il faut tempérer les simples estimations quantitatives et les idées reçues que l'on a pu fonder sur elles, car dans une vision de développement durable, les ressources de l'Algérie apparaissent des plus limitées lorsqu'on les confronte à la croissance démographique enregistrée depuis l'indépendance et que l'on complète cette comparaison par les menaces de plus en plus inquiétantes que fait peser sur ces ressources, leur exploitation ou mise en valeur inconsidérée. La forêt algérienne, actuellement fragile, a besoin d'être protégée car la déforestation ne cesse de s'accroître en raison des incendies de forêts répétés.

Ce chapitre détaille une étude générale des feux de forêts en Algérie, le but étant d'établir un constat de l'état actuel du patrimoine forestier Algérien. La fin de ce chapitre sera consacrée à la présentation d'une nouvelle méthode de lutte contre les incendies en Algérie, élaborée dans le cadre de ce projet. Nous présenterons la plateforme mise en place pour la détection de la température d'une zone donnée.

### **3.2. Profil forestier de l'Algérie**

En Algérie les forêts, les reboisements, les maquis et les garrigues occupent une superficie d'environ 4100000 ha (Tableau 3.1), néanmoins chaque année environ 36 000 ha sont parcourus par les incendies. La forêt algérienne est directement liée au climat méditerranéen qui caractérise tout le nord de l'Algérie. Les caractères du milieu confèrent à la forêt une vulnérabilité et une fragilité accentuées par une exploitation qui dure depuis quelques millénaires. Les forêts climaciques sont assez réduites, de grandes superficies sont remplacées par des formations de dégradation telles que les maquis, les garrigues, les broussailles et les pelouses. La dégradation ancienne de la forêt a entraîné un déséquilibre important entre les superficies existantes et les superficies potentielles.

Sur les 48 wilayas que compte l'Algérie, 40 disposent d'une couverture forestière, les huit wilayas du Sud sont dépourvues de forêts. La wilaya d'El Tarf dispose du taux de couverture forestière le plus élevé (57,51%), alors que pour la wilaya de Naama le taux de

couverture n'est que de 0,36%. En ce qui concerne la superficie forestière c'est la wilaya de Batna qui dispose de la plus grande superficie avec 314 565 ha, la plus petite superficie revient à la wilaya d'Alger (5000 ha). Cette répartition (Figure 3.1) s'explique en grande partie par le climat, en effet les massifs littoraux du nord-est, les plus humides, sont aussi les régions les plus forestières. Les 4,1 millions d'hectares de couverture forestière ne représentent qu'un taux de boisement de 10,89% en ne considérant que le nord du pays, et seulement 1,72% si l'on prend en ligne de compte tout le territoire national. Dans les deux cas, cette couverture forestière est nettement insuffisante en comparaison au taux de 25%, mondialement admis.

Essences	Superficie (ha)	Taux %
Pin d'Alep	881000	21.5%
Chêne liège	230000	5,6%
Chêne vert	108000	2,6%
Chêne Zeen et Chêne Afares	48000	1,2%
Eucalyptus	43000	1%
Pin maritime	31000	0,8%
Cèdre de l'Atlas	16000	0,4%
Autres (Thuya + Genévrier + Frêne)	124000	3%
Reboisement et protection	717000	17,5%
Maquis et broussailles + vides	1902000	46,4%
Total	4100000	100%

Tableau 3.2: Principales essences des forêts algériennes (2007)

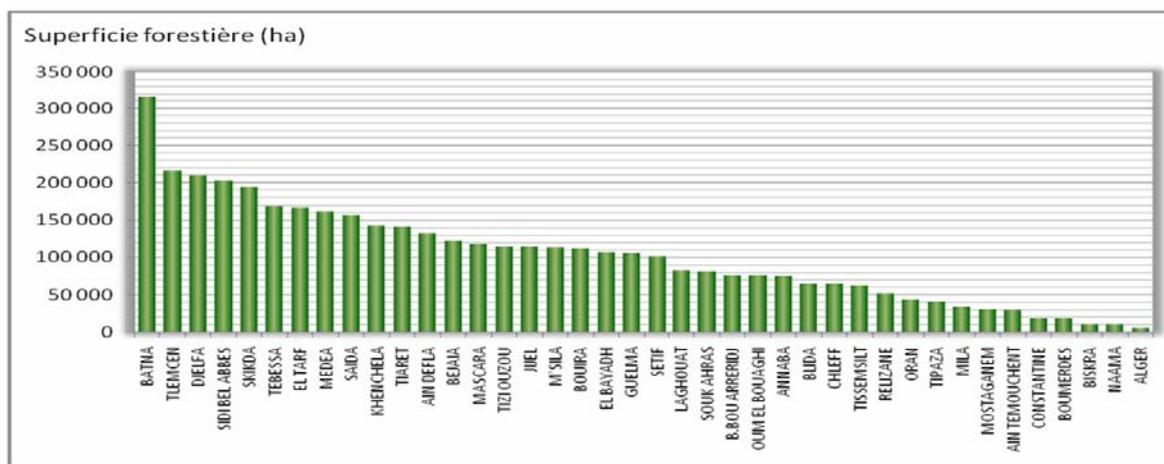


Figure 3.2: Répartition de la superficie forestière par wilaya en Algérie (2007)

### 3.3. Historique des feux de forêt en Algérie

De tous les facteurs de dégradation de la forêt algérienne, les incendies sont les plus dévastateurs (Tableau 3.3). Ils détruisent en moyenne, en l'espace de quelques mois seulement (juin à octobre), plus de 36 000 ha de formations ligneuses par an. La moyenne des différents programmes de reboisement depuis 1963 qui est de 26 000 ha/an ne peut équilibrer ces pertes, même si le taux de réussite de ces actions est de 100 %, ce qui n'est malheureusement pas le cas. Entre 1881 et 2006, trois décennies ont été particulièrement désastreuses pour la forêt algérienne, la décennie 1911-1920 qui coïncide avec la première guerre mondiale, la décennie 1951-1960 et la décennie 1991-2000. Deux causes principales sont à l'origine des incendies de grande ampleur que connaissent nos forêts:

-Le climat, c'est durant les années particulièrement sèches (1983) que les incendies ont été les plus dévastateurs ;

-La deuxième cause est liée au trouble social, en particulier lors des guerres et des révoltes, en raison notamment, de la conjoncture sécuritaire difficile qu'a traversé l'Algérie durant la décennie 1990-2000. C'est l'année 1994 qui a été la plus destructrice pour la forêt algérienne avec une superficie de 271 598 ha soit 6,6% de la superficie forestière totale. Entre 1881 et 2006, 4834874 ha, soit 118% du domaine forestier algérien à brûlé en 126 ans [15].

Années	Forêts ( Ha )	Hors Forêts ( Ha )	nb Feux	Total ( Ha )
2000	35617,52	20164,07	1910	55781,59
2001	9066,40	5311,29	1327	14377,69
2002	6959,95	5257,52	1008	12217,47
2003	5743,79	12451,71	1233	18195,50
2004	7010,59	24988,18	1463	31998,77
2005	14283,03	14097,03	2013	28380,06
2006	8610,29	8306,07	2029	16916,36
2007	23451,31	24487,26	2026	47938,57
2008	10577,53	15437,06	2378	26014,59
2009	11769,85	14413,07	2358	26182,92
2010	11008,31	19620,91	3439	30629,22

Tableau 3.4: Surfaces forestières incendiées en Algérie entre 2000 et 2010

### 3.4. Fréquence annuelle des incendies de forêt

Entre 1985 et 2006, la moyenne annuelle des superficies incendiées se chiffre à 35448,73 ha. Cependant, la superficie brûlée fluctue d'une année à une autre. Durant les années 1993, 1994, 1999 et 2000 la superficie incendiée est supérieure à cette moyenne. C'est l'année 1994 qui a été la plus destructrice pour la forêt algérienne, où pas moins de 271598 ha ont brûlé, ce qui représente 34,83%, soit un tiers de la superficie totale incendiée durant les deux décennies (figure 3.2). La cause de ces incendies exceptionnels durant cette année est liée au trouble social, en raison notamment, de la conjoncture sécuritaire difficile qu'a traversé le pays durant la décennie 1990-2000.

Par ailleurs, il y a lieu de signaler que durant les années qui suivent celles où l'on a enregistré d'importantes superficies incendiées, nous constatons une baisse substantielle des effets des incendies de forêt, ceci serait due vraisemblablement à la vigilance observée après avoir vécu des catastrophes, notamment au niveau des zones fortement boisées et densément peuplées, où nous avons constaté la menace qui a pesé sur des villages entiers enclavés en milieu forestier. Quant au nombre d'incendie, la moyenne annuelle est de 1470,64 foyers. Même si l'on remarque des différences d'une année à une autre, elle n'est pas aussi importante que celle qui se rapporte aux superficies (Figure 3.3).

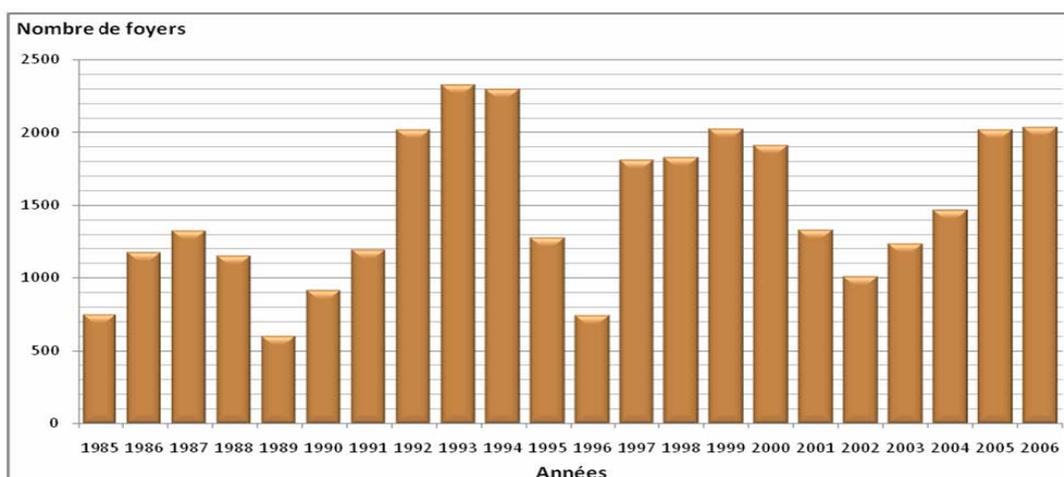


Figure 3.3: Fréquence annuelle des départs de feux en Algérie

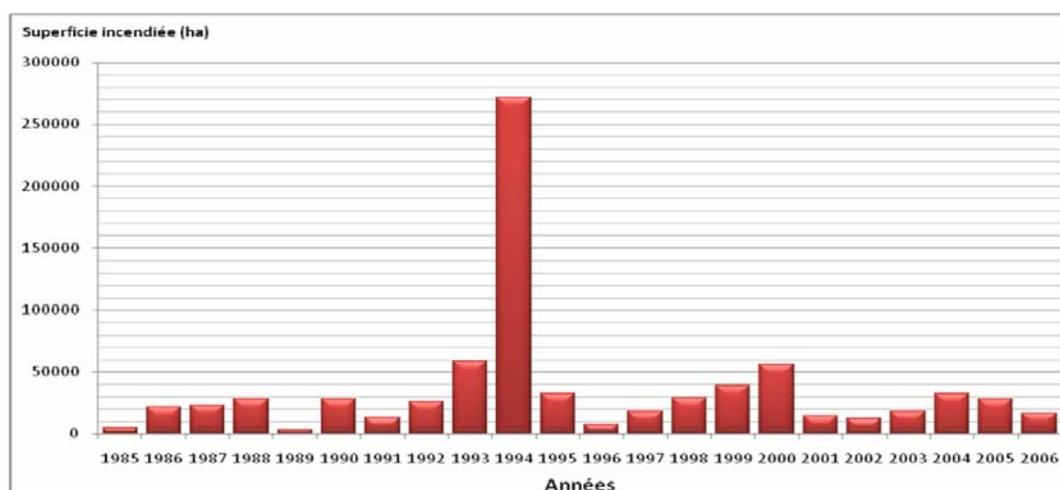


Figure 3.4: Fréquence annuelle des superficies incendiées en Algérie

### 3.5. La recherche des causes d'incendies de forêt

Les statistiques sur les causes des incendies de forêt en Algérie sont loin d'être complètes, mais il est évident que la plupart des incendies sont déclenchés par l'homme. Les causes exactes des feux de forêts sont variables d'une région à l'autre et sont difficiles à établir avec exactitude. Au niveau local, les rapports d'incendies actuels désignent dans 86% des cas, la formule: "cause volontaire, auteur inconnu". Les analyses ont déjà mis en évidence la question des feux pastoraux, dont l'ampleur échappe à leurs auteurs et qui sont la cause principale des incendies dans les régions où le feu est le moyen le plus économique de "régénérer" des pâturages envahis par des ligneux et d'ouvrir des maquis impénétrables.

Une autre cause, non moins importante de développement des incendies est la culture sur brûlis, notamment, pour les arachides, l'extension des vides labourables (clairières

réservées à l'agriculture) et la mise à nue par le feu des terres à vocation forestière pour des cultures spéculatives. Cette pratique a été favorisée par des textes permettant l'accès à la propriété foncière par la mise en valeur des terres, conçues à l'origine pour le Sahara et qui a été étendue illégalement à l'ensemble du territoire national.

Les populations urbaines sont particulièrement insensibles au danger des incendies et à leurs conséquences potentiellement dangereuses. De nombreux citoyens ne considèrent pas les feux de forêt comme une menace, même au cœur de l'été. L'inconscience des fumeurs et des touristes qui font du feu pour cuire leurs aliments est la source de beaucoup d'incendies. Une cause de plus en plus importante est le brûlage de grandes quantités de déchets solides laissés par les touristes ou produits par les autres utilisations des forêts à des fins récréatives, souvent effectué sans prendre les précautions nécessaires.

Des incendies, en nombre croissant, sont allumés non à des fins utilitaires mais dans le seul but de détruire pour diverses raisons, y compris la vengeance privée et les conflits que soulèvent le droit de propriété, les droits de chasse et même les politiques forestières gouvernementales. Les incendies ont aussi pour but d'essayer de modifier la classification de l'utilisation des terres. Dans certaines parties de l'Algérie, de vastes zones forestières ont été détruites par des promoteurs immobiliers peu scrupuleux [15].

### **3.6. Les moyens de lutte contre les incendies de forêt en Algérie**

L'aménagement forestier est l'un des moyens le plus adéquat pour lutter contre les incendies de forêt. Les plans d'aménagement intègrent toutes les infrastructures nécessaires en matière de défense des forêts contre les incendies à savoir:

- L'ouverture et l'entretien de pistes;
- L'ouverture et l'entretien de T.P.F. (Tranchées Pare-Feu);
- L'installation de poste de vigie;
- La réalisation et l'aménagement de points d'eau;

Par ailleurs une surveillance des massifs forestiers par des brigades mobiles et les gardes forestiers doit être prévue particulièrement en été.

### **3.7. Les conséquences des incendies de forêt en Algérie**

Les grands effets de destruction et de régression forestière, sont l'œuvre des incendies de forêts. Les incendies représentent une importante cause de destruction tant des écosystèmes climatiques ou de ceux caractérisant les formations végétales ligneuses dégradées (maquis, garrigue, matorral, etc.). En effet, lorsque l'incendie devient trop fréquent, les forêts n'ont plus le temps de se régénérer et sont tout d'abord remplacées par des formations végétales dégradées : boisements ouverts puis formations de type arbustif. Progressivement, s'installe une succession régressive d'écosystèmes pouvant atteindre le stade ultime de pelouses squelettiques, dépourvues de végétation ligneuse et laissant le sol à nu par renouvellement systématique du feu [15].

Les pertes économiques dans le secteur forestier générées par les incendies de forêt en Algérie entre 1985 et 2006 se chiffrent à plus de 113 milliards de dinars algériens. Cette évaluation financière ne prend en compte que la valeur marchande des produits perdus (bois, liège, broussailles, alfa, arboriculture...) sans tenir compte des dépenses annuelles pour la lutte contre les incendies de forêt (matériels, véhicules, main-d'œuvre...). De plus il faut ajouter à cela une perte à long terme de la biodiversité et de l'équilibre des écosystèmes forestiers, qui reste très difficile à chiffrer. Surtout si on sait que le reboisement et l'entretien d'un hectare coûte en moyenne 80.000 DA. L'une des conséquences indirectes des incendies est l'érosion des sols et l'envasement des barrages qui représentent une perte économique importante. Donc, ces chiffres sont bien en dessous de la réalité, mais, ils permettent d'avoir au moins une idée de l'impact économique des incendies sur la forêt algérienne.

### **3.8. Proposition d'une meilleure prévention et gestion des incendies de forêt en Algérie**

Le gouvernement algérien a une politique de défense contre les incendies depuis plusieurs années déjà. Mais, le nombre des incendies continue d'augmenter. Reste à savoir si toutes les techniques disponibles sont appliquées et si la politique de prévention est menée jusqu'au bout. L'analyse des bilans des campagnes de prévention et de lutte contre les incendies de forêts, atteste des manques sur le plan organisationnel, réglementaire et législatif, dans ce sens, nous avons proposés une nouvelle méthode de lutte contre les incendies de forêt qui consiste à utiliser les réseaux de capteurs sans fil à la détection des incendies de forêts, le rôle de ces applications est de fournir des données exactes et réelles sur la propagation des incendies dans les forêts.

### 3.8.1. Principe

Le principe de base pour détecter les incendies en utilisant les RCSF, consiste à déployer des capteurs pour couvrir une zone cible. Ces capteurs devraient être capables de recueillir plusieurs types de données, comme la température, l'humidité. Généralement, trois types de capteurs sont utilisés. Le premier type s'occupe de recueillir les données concernant le milieu où ces capteurs sont déployés. Ces données sont transmises via des liens radio aux capteurs du deuxième type. Le deuxième type de capteurs sont les sinks et ont pour rôle de traiter les données qui proviennent des capteurs du premier type. Ce type de capteurs transmet les données traitées à la passerelle via des liens radio. Leur nombre est beaucoup moins élevé que le nombre de capteurs déployés. Le troisième type de capteurs regroupe les passerelles. Ces dernières sont connectées directement à un ordinateur via un port USB (Universal Serial Bus). Leur rôle est de transmettre les données reçues des sinks directement à l'ordinateur. Dans ce cas, une seule passerelle est suffisante pour transmettre les données.

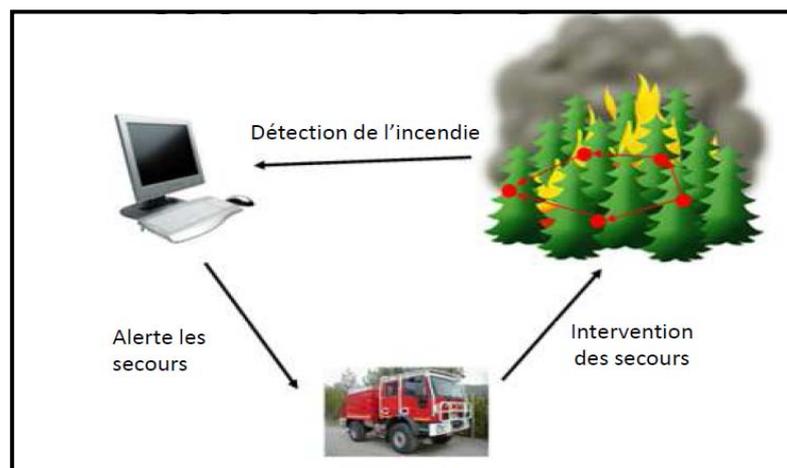


Figure 3.5: Principe général de détection d'un feu de forêt

En plus des capteurs, il faut avoir un équipement qui reçoit les données et qui les affiche aux utilisateurs. Généralement, les utilisateurs utilisent des ordinateurs pour afficher ces données. On peut aussi utiliser d'autres équipements pour avoir beaucoup de détails concernant les incendies et pour mieux les localiser, comme le GPS (Global Positioning System), des caméras et des stations de base.

### 3.8.2 Déploiement du RCSF

La Figure 3.5 montre un grand nombre de capteurs déployés dans une forêt. Ces capteurs sont organisés en clusters (architecture clusterisée). Chaque capteur a un chef de cluster pour correspondre.

Les capteurs recueillent les données mesurées, telles que la température, l'humidité relative et la vitesse du vent, tout en étant capables de savoir leur localisation, et les envoient à leurs capteurs chef du cluster qui traitent les données collectivement, en construisant un réseau de neurones. Ce dernier prend les données mesurées en entrée pour produire des "indices météo" (weather indexes) qui mesurent la probabilité qu'un incendie se déclenche. Les chefs de cluster envoient ces indices à un capteur gérant via le sink. Ainsi, le senseur gérant fournit deux types d'informations aux utilisateurs en se basant sur les indices météo et sur d'autres facteurs qui sont: le rapport d'apparition des événements anormaux (par exemple: fumée ou détection d'une température extrêmement élevée), le taux de risque d'incendie pour chaque cluster.

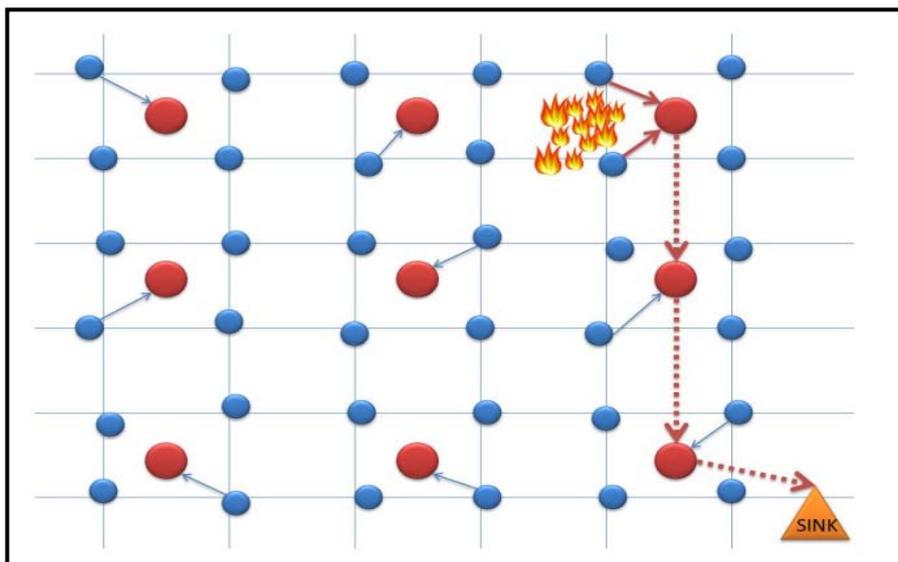


Figure 3.6: Réseau de capteur sans fil pour la détection d'un feu de forêt

Notre projet PNR « **Mise en œuvre d'un réseau de capteurs sans fil pour la détection des feux de forêt** » a pour but de développer une stratégie de déploiement des réseaux de capteurs à grande échelle et cela par le développement d'un ensemble d'algorithmes et méthodes de routage, de sécurité et de localisation pour permettre la mise en place d'un tel réseau. Un autre but de ce projet est le travail en collaboration avec des gardes forestiers pour déployer un réseau de capteurs pour détecter les feux de forêt dans un parc

d'attraction. La finalité de cette application est d'intégrer les gardes forestiers à ce projet pour leur permettre la maîtrise de cette nouvelle technologie à savoir les réseaux de capteurs sans fil, qui leur facilitera le travail par une diminution du nombre d'agents utilisés pour la surveillance des feux de forêts, et d'autre part permettre l'accélération des interventions des gardes forestier pour cerner les feux à temps.

### **3.9. Conclusion**

Les incendies seront toujours présents dans nos forêts. Des perturbations, telles que le feu, ont façonné les paysages de l'Algérie les rendant tels que nous les aimons aujourd'hui. Il nous faut reconnaître l'importance du rôle du feu dans nos écosystèmes et en tenir compte dans la planification de la gestion de nos terres. Pour lutter contre la dégradation des forêts, il y a lieu tout d'abord de procéder à l'aménagement et à la réalisation des travaux sylvicoles, à l'ouverture et l'entretien des infrastructures et équipements, pour pouvoir prétendre à une gestion rationnelle et durable, de mettre en place des dispositifs de prévention et de lutte contre les feux de forêts, les maladies et parasites et toute autre forme d'atteinte au patrimoine forestier. L'ensemble de ces actions qui s'inscrivent dans le cadre de la politique forestière et de protection, doivent intégrer les préoccupations essentielles d'ordres écologiques, économiques et sociales, et s'inspirer également du respect des conventions et des accords internationaux que l'Algérie a ratifiés.

Ce chapitre a été présenté en deux parties fondamentales, la première partie concerne le profil forestier en Algérie, l'historique des feux de forêt en Algérie avec quelque statistiques, les méthodes de lutte contre les incendies et les conséquence de ces feux de forêts, la deuxième partie a été dédiée à la proposition d'une nouvelle méthode pour la prévention contre les incendies en Algérie et qui se base sur les réseaux de capteur sans fil.

Cette partie a connu l'implication de l'ensemble des chercheurs du projet avec la participation de plusieurs Masters dans le cadre des projets de fin des études en Masters Télécoms option réseaux mobiles et services et en master informatique option réseaux et systèmes distribués.

Dans le chapitre suivant, nous allons implémenter nos algorithmes développés sur des capteurs et montrer le prototype réalisé de détection du feu.

# **Chapitre IV**

## Implémentation de l'application

## 4.1. Introduction

Avant sa mise en place, le déploiement d'un réseau de capteurs nécessite une phase de test afin de s'assurer du bon fonctionnement de tous ses composants; soft ou hard. Pour se faire, il existe à ce jour deux grandes solutions: l'expérimentation réelle et la simulation. Les deux dernières solutions sont d'autant plus importantes que l'expérimentation en environnement réel qui est très coûteuse et lourde à mener: mettre en place un réseau multi sauts, connaître sa topologie dans le temps, lancer des expérimentations, récupérer et fusionner les traces demandent un investissement important en matériels, en temps et en main d'œuvre. La simulation est donc une étape incontournable, notamment pour faire des évaluations sur des réseaux à large échelle; comme peuvent l'être certains réseaux de capteurs par exemple et réduire le maximum d'erreurs de conception possibles.

Dans ce qui suit nous allons présenter les outils matériel et logiciels pour la mise en œuvre de ce système, ainsi qu'une description général de l'implémentation et le fonctionnement du système.

## 4.2. Description général du système

Afin de mettre en œuvre un système de détection des feux de forêt sans fil, un ensemble de capteurs sans fil sont requis pour couvrir la région observée, ces capteurs doivent avoir la possibilité de mesurer la température ambiante et communiquer sans fil ces mesures vers la station des gardes forestiers à travers un système de transport dédié développé dans la cadre de ce projet.

Ces capteurs sont dispersés dans la région observée par les gardes forestiers et doivent respecter l'architecture sous-jacente de notre système basée sur le clustering. Dans le cadre de notre projet les tests sont effectués sur une région limitée due au nombre limité de capteurs dont on dispose.

Le système de détection de feu de forêt développé dans notre projet est composé de trois sous-systèmes qui gèrent:

- **La détection du feu:** la détection de feu se fait à travers la détection des changements de la température, et envoyer des alertes si la température dépasse une valeur fixée par les gardes forestiers.
- **La localisation du feu:** ce service est implémenté par notre système et vise à localiser la région du feu en utilisant les coordonnées GPS, pour cela et puisque la plupart des

capteurs ne disposent pas des récepteur GPS on a développé un système de localisation dédiée.

- **Envoi des alertes à la station de base:** ce service consiste à faire transporter les alertes contenant la valeur de la température et les coordonnées de la région d'incendie saut par saut jusqu'à la station de base en utilisant un protocole dédié.

## 4.3. Plateformes logicielles et matérielles utilisées

### 4.3.1 Système d'exploitation

#### A. Présentation

Le Système d'exploitation utilisé comme plateforme de développement est TinyOS qui est un système d'exploitation destiné aux capteurs sans fil à ressources limitées.

TinyOS (Figure 4.1) est un système d'exploitation open-source conçu pour des réseaux de capteurs sans fil. Il respecte une architecture basée sur une association de composants, réduisant la taille du code nécessaire à sa mise en place. Cela s'inscrit dans le respect des contraintes de mémoires qu'observent les réseaux de capteurs.

La bibliothèque de composant de TinyOS est particulièrement complète puisqu'on y retrouve des protocoles réseaux, des pilotes de capteurs et des outils d'acquisition de données. L'ensemble de ces composants peut être utilisé tel quel, il peut aussi être adapté à une application précise.

Le langage de programmation utilisé pour développer des applications sous TinyOS est NesC qui partage avec le C la syntaxe générale et se base sur une architecture de composants.



Figure 4.1: Logo de TinyOS.

#### B. Cibles possibles Tinyos

Il existe de nombreuses cibles possibles (Figure 4.2) pour ce système d'exploitation embarqué. Malgré leurs différences, elles respectent toutes globalement la même architecture

basée sur un noyau central autour duquel s'articule les différentes interfaces d'entrée-sortie, de communication et d'alimentation.

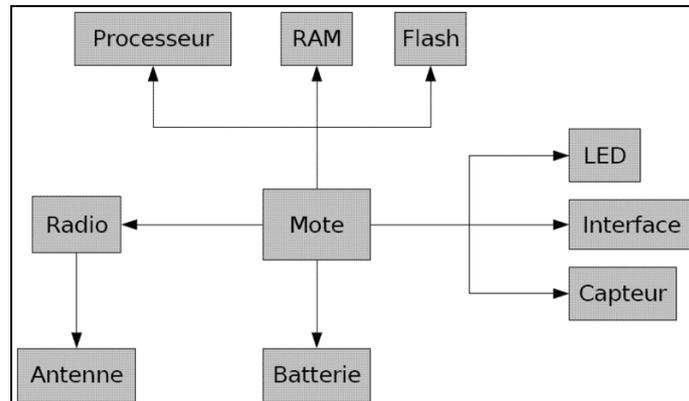


Figure 4.2: Les cibles de TinyOS

### 4.3.2 Capteurs utilisés

Au cours de nos expériences, nous avons utilisé des capteurs sans fil de type MTM-CM5000-MSP, de « MAXFOR TECHNOLOGY ING » (Figure 4.3). Chaque module radio est contrôlé par un microcontrôleur MSP430 fabriqué par Texas instruments qui est équipé de 10 Ko de mémoire vive (RAM), 48 Ko de mémoire flash, et fonctionne à 2.4 GHz. De plus, chaque senseur est muni de capteurs pour détecter la lumière, la température et l'humidité. Pour la communication radio, les senseurs utilisent une puce RF émetteur-récepteur CC2420. Cette puce est conformée au standard IEEE 802.15.4 qui sert d'intermédiaire entre le MSP430 et l'antenne et qui permet aussi de mesurer la puissance du signal reçu.



Figure 4.3: Capteur Mtm-cm5000-msp

### 4.3.3 PC utilisé

Afin de permettre le chargement de l'application dans les capteurs, on utilise des ordinateurs portables pour permettre le déploiement des chefs de groupes dans la forêt et des PC de bureaux pour le chargement de l'application dans les membres de groupe.

## 4.4. Architecture du système

Comme il a été évoqué précédemment le système est composé de trois sous systèmes qui sont la détection, la localisation du feu et le transport des alertes vers la station de base.

### 4.4.1 Sous-système de détection du feu

Ce sous système sert à mesurer périodiquement la température ambiante de la forêt et observe si cette température dépasse une valeur fixée par les gardes forestiers. Cette valeur est la valeur minimale pour laquelle un feu est présumé dans la région.

Le programme développé pour cela fait deux tâches principales:

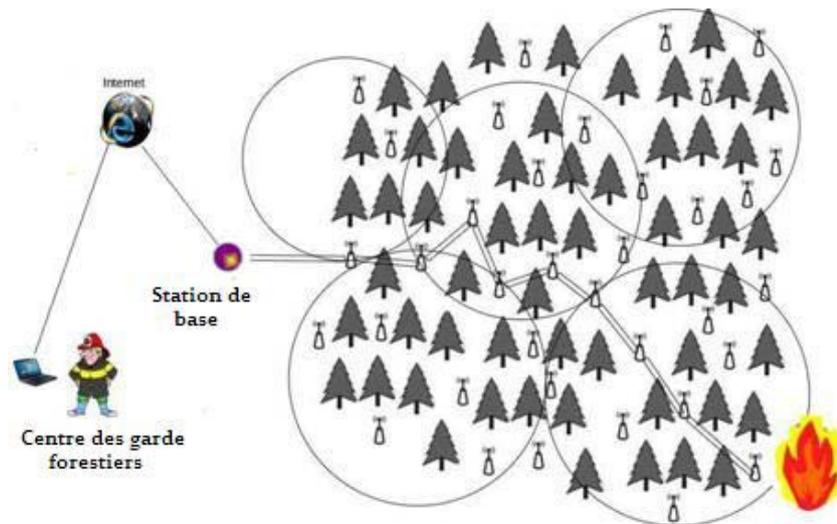
- Mesurer après chaque période de dix secondes la température ambiante.
- Envoyer une alerte si cette valeur dépasse la valeur fixée par les gardes forestiers.

```
event void Read.readDone(error_t result, uint16_t data)
{
    if (result == SUCCESS){
        if (data > 70) alert_send(data);
    }
}
```

#### Programme 1: mesure de la température

### 4.4.2 Sous-système de localisation

Due au manque des capteurs disposants d'un récepteur GPS et leurs couts élevés, nous avons implémenté un système de localisation dédié permettant la localisation de la région du feu. Dans laquelle seule un capteur, désigné comme repère (ancree), a besoin des coordonnées GPS, le reste des capteurs voisins se localisent par rapport à ce repère, en prenant en considération la distance entre chaque capteur et le repère dans chaque région.



**Figure 4.4: Découpage en groupe et envoi des alertes**

Cette solution est basée sur le clustering qui consiste à découper la région contrôlée en un ensemble de plus petites régions faciles à localiser et à manipuler (Figure 4.4). Pour faciliter la communication et la localisation des régions ; on désigne pour chaque région ou groupe de capteur un chef. Ce chef est le seul capteur ayant besoin des coordonnées GPS, ces coordonnées sont diffusées au reste des membres de groupe pour leur permettre de se localiser dans la forêt par rapport au chef de groupe.

```

void position_send() {
    MSG_t* msg = (MSG_t*)call Packet.getPayload(&packet,
    sizeof(MSG_t));
    msg->type=1;
    msg->x=x;
    msg->y=y;
    msg->z=z;
    seqP++;
    msg->seq=seqP;
    msg->sauts=0;
    if (locked) {
        return;
    }
    else if (call AMSend.send(AM_BROADCAST_ADDR, &packet,
    sizeof(MSG_t)) == SUCCESS) {
        call Leds.led0On();
        locked = TRUE;
    }
    return;
}

```

**Programme 2: Envoi de la position**

### 4.4.3 Sous système de transport des alertes

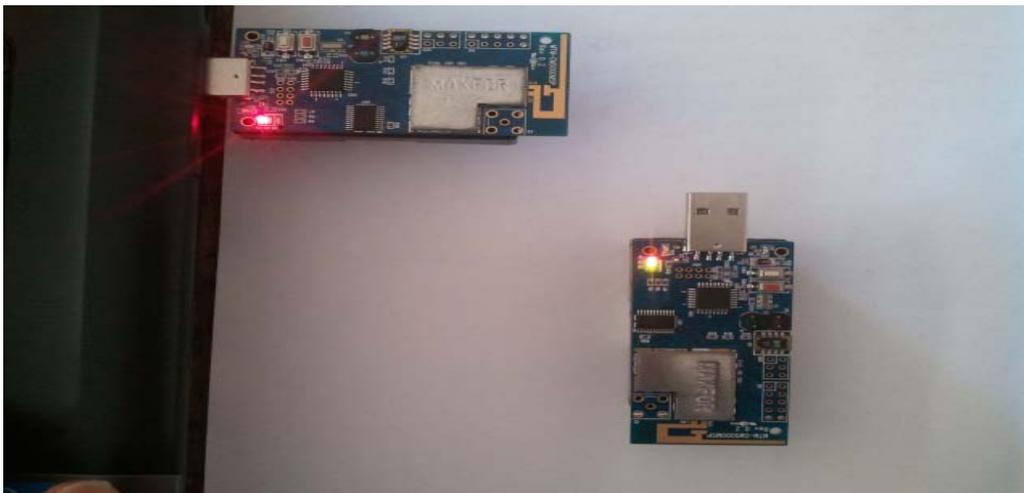
Ce sous-système implémente des protocoles de routage robuste cités dans le chapitre I. En plus du routage et l'acheminement de l'information, des protocoles de sécurité par des systèmes de détection d'intrusion ont été implémenté sur les capteurs.

## 4.5. Déploiement du système

La mise en place de notre système s'articule autour de deux parties: entre l'installation des membres de groupe normaux qui s'effectue dans les bureaux des gardes forestiers et l'installation des chefs de groupe qui se fait dans la forêt.

### 4.5.1 Déploiement des membres de groupe

Ce déploiement se fait en deux parties la première partie est l'installation du programme dédié, présenté précédemment à savoir le système de détection des incendies, de transport, et de localisation dans les capteurs qui se fait dans les bureaux des garde forestiers (Figure 4.5).



**Figure 4.5: Installation des programmes sur les capteurs**

La deuxième partie de déploiement (Figure 4.6) se fait dans la forêt et cela en plaçant des capteurs à des distances égales du chef de groupe. Cette distance ne doit pas dépassée la portée maximale de l'antenne des capteurs et cela pour permettre la communication avec le reste des capteurs dans la forêt.



**Figure 4.6: Déploiement des capteurs dans la forêt**

#### **4.5.2 Le déploiement des chefs de groupe**

Les chefs de groupe sont déployés au centre d'un ensemble de capteurs (membres du groupe) comme il a été évoqué précédemment. Contraire au membre du groupe, le chef de groupe a besoin d'une configuration supplémentaire qui consiste à lui affecter des coordonnées GPS et cela en utilisant un appareil disposant d'un récepteur GPS tel qu'un téléphone portable.

Donc la première partie du travail consiste à obtenir les coordonnées GPS de l'emplacement où on va déployer le chef de groupe ensuite configurer tout ça à l'aide d'un PC portable (Figure 4.7).



Figure 4.7: Déploiement des chefs de groupes

### 4.5.3 Installation de la station de base

La station de base est un PC de bureau relié par port USB à un capteur sans fil pour lui permettre de recevoir les messages d'alerte diffusés par les capteurs dans la forêt. Ces alertes sont ensuite envoyées à l'aide d'une connexion internet au centre des gardes forestiers pour intervenir dans les brefs délais pour éteindre le feu.

La figure 4.8 visualise les messages envoyés par notre système vers la station de base. Ces messages contiennent les coordonnées GPS de l'incendie (coordonnées du chef de groupe où est déclenché le feu) ainsi que la température mesurée dans cette région, ainsi que l'identificateur du capteur ayant donné l'alerte.

```
wcu@wcu-desktop: /opt/tinyos-2.x/support/sdk/java
File Edit View Terminal Help
00
00
00 Fichier
00 Temperature:31.42, X: 4000, Y:2000, Z: 1000, Id: 1, Sauts: 0
00 Temperature:27.659999999999997, X: 1577, Y:2500, Z: 7000, Id: 5, Sauts: 0
00 Temperature:31.42, X: 4000, Y:2000, Z: 1000, Id: 1, Sauts: 0
00 Temperature:27.629999999999995, X: 1577, Y:2500, Z: 7000, Id: 5, Sauts: 0
00 Temperature:31.42, X: 4000, Y:2000, Z: 1000, Id: 1, Sauts: 0
00 Temperature:27.61, X: 1577, Y:2500, Z: 7000, Id: 5, Sauts: 0
00 Temperature:31.439999999999998, X: 4000, Y:2000, Z: 1000, Id: 1, Sauts: 0
00 Temperature:27.590000000000003, X: 1577, Y:2500, Z: 7000, Id: 5, Sauts: 0
00 Temperature:31.480000000000004, X: 4000, Y:2000, Z: 1000, Id: 1, Sauts: 0
00 Temperature:27.560000000000002, X: 1577, Y:2500, Z: 7000, Id: 5, Sauts: 0
00 Temperature:31.5, X: 4000, Y:2000, Z: 1000, Id: 1, Sauts: 0
00 Temperature:27.540000000000006, X: 1577, Y:2500, Z: 7000, Id: 5, Sauts: 0
00 Temperature:31.480000000000004, X: 4000, Y:2000, Z: 1000, Id: 1, Sauts: 0
00
00
00
00
00
```

Figure 4.8: Visualisation des alertes dans la station de base

## 4.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'implémentation et la mise en œuvre d'une application prototype de détection des feux de forêts en utilisant un réseau de capteurs sans fil du type TelosB. Nous avons exposé l'architecture de cette application, les algorithmes mis en jeu à chaque niveau du réseau et leur implémentation.

## Conclusion générale

La forêt constitue un capital important pour tous les pays. Elle est confrontée au feu accidentel ou volontaire surtout en été. La détection précoce du feu constitue un challenge à résoudre afin de circonscrire le feu au départ avec des moyens limités. D'où la nécessité de la surveillance de ces zones pour accélérer l'intervention humaine. Les réseaux de capteurs sans fil permettent de répondre à moindre coût à cette problématique.

Le caractère innovant de ce projet concerne l'utilisation de capteurs sans fil pour détecter le changement de température et par conséquent détecter le départ du feu dans un endroit donné. Ce projet a donc vu la réalisation d'un prototype de détection de la température, accompagné d'une alerte lorsque la température prélevée par un capteur dépasse un seuil donné. Les résultats de test de ce prototype sont très concluants.

Nous signalons qu'un prototype de cette application a été réalisé, mis en marche et exposé à notre partenaire socio économique (Conservation des forêts de Tlemcen) qui a été très coopératif tout au long de ce projet PNR. Il a manifesté un grand intérêt et une grande satisfaction après la concrétisation de cette application. Il a émis le vœu de voir ce projet innovant déployé sur le terrain pour contribuer à l'effort national de lutte contre les incendies de forêts.

Donc, ce projet est réalisable et son transfert vers le secteur socioéconomique est garanti car les équipements utilisés (capteurs sans fil) ne coutent pas chers. Tout secteur intéressé par la surveillance automatique d'une zone donnée peut acquérir un certain nombre de capteurs selon la surface à couvrir. Il configure ensuite ces capteurs par nos algorithmes et les déploie dans cette zone.

Notre application peut être exploitée pour surveiller des environnements variés (domotique, parc, forêt...). La surveillance par des réseaux de capteurs peut être étendue et centralisée à travers des Réseaux de télécoms (2G, 3G, 4G, IP).

Il est à noter que lors du déploiement du réseau sur le terrain dans un environnement externe (parc, forêt...), des mesures de protection du matériel contre la pluie, le vol..., doivent être prises en considération.

D'autre part la concrétisation de ce projet a permis la réalisation de plusieurs publications et communications internationales sur le thème des réseaux de capteurs sans fil, ainsi que la formation de plusieurs Docteurs et Masters.

Aussi, nous signalons que nous avons rencontré des difficultés pour trouver un fournisseur potentiel de l'équipement scientifique (capteurs sans fil). Cette opération a pris beaucoup de

temps. Finalement, nous avons pu acquérir durant le dernier semestre une plateforme de capteurs sans fil, ce qui nous a permis de concrétiser tous les objectifs fixés dans ce projet PNR.

# Références bibliographiques

- [1] Akyildiz [et al.], A survey on sensor networks, *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Août 2002.
- [2] S.MOAD, Optimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil, Rapport de stage, 2007-2008.
- [3] K.Holger and A.Willig, Protocols and architectures for wireless sensor networks, John Wiley and Sons, 2005.
- [4] Kamel Beydoun, Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs, thèse de doctorat, Franche Comté-France, 2009
- [5] Kazem Sohraby, Daniel Minoli, Taieb Znati, «wireless sensor networks: Technology, protocols and applications», John Wiley & Sons, Inc, 2007
- [6] Mohammad Ilyas, Imad Mahgoub, « Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems», chapitre 15, CRC Press LLC, 2005
- [7] C.Castelluccia et A.Francillon, Protéger les réseaux de capteurs sans fil, SSTIC2008, Juin 2008.
- [8] ARFA Azzedine Mohamed Touffik, «Les incendies de forêt en Algérie : Stratégies de prévention et plans de gestion», Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Ecologie et Environnement, université Mentouri Constantine, 2008.
- [9] Mourad Hadjila, Hervé Guyennet, Mohammed Feham, "Energy-Efficient in wireless sensor networks using fuzzy C-Means clustering approach", *International Journal of Sensors and Sensor Networks* 2013;1(2): 21-26 Published online April 2, 2013,
- [10] Mourad Hadjila, Hervé Guyennet, Mohammed Feham, "A Chain-Based Routing Protocol to Maximize the Lifetime of Wireless Sensor Networks", *Wireless Sensor Network Journal*, 2013, 5, 116-120, doi:10.4236/wsn.2013.55014 Published Online May 2013

- [11] R. Roman, C. Alcaraz, and J. Lopez, “A Survey of Cryptographic Primitives and Implementations for Hardware-Constrained Sensor Network Nodes”, *Mobile Networks and Applications*, 12 ( 4): 231-244, 2007.
- [12] S. Kumar, « Classification and detection of computer intrusions », PhD Thesis, Department of Computer Sciences, Purdue University, USA, 1995.
- [13] A. P. Silva, M. H. Martins, B. P. Rocha, A. A. Loureiro, L. B. Ruiz, H. C. Wong, «Decentralized intrusion detection in wireless sensor networks ». In *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Quality of Service & Security in Wireless and Mobile Networks* , Montreal, Quebec, Canada, October 13, pp.16-23, 2005.
- [14] S. A. H. Sedjelmaci, «Mise en œuvre de mécanismes de sécurité basés sur les IDS pour les réseaux de capteurs sans fil», Thèse de Doctorat en Systèmes et réseaux de Télécommunications, soutenue à l’Université de Tlemcen, Février 2013,
- [15] Mameri D. (Avril 2002) Direction générale des forêts (D.G.F) : Bilan décennal des incendies de forêts en Algérie (1992-2001). 11 p.

# **Annexe 1**

## **Consommation budgétaire**

Bilan du projet : ( 35/01/12/2012 ) Mise en place d'un Réseau de Capteurs Sans Fil pour la Détection des Feux de Forêt

Nom et prénom du chef du projet : FEHAM Mohammed

Laboratoire de domiciliation : Systèmes et technologie de l'information et de la communication (stic) N° 35

Code	Chapitre	Budgets	Dépenses	Reste
1	REMBOURSEMENT DES FRAIS			
1	Frais de mission et de déplacement en Algérie et à l'étranger	0,00	0,00	0,00
2	Rencontres scientifique : frais d'organisation, d'hébergement, de restauration et de transport	0,00	0,00	0,00
3	Honoraires des enquêteurs	0,00	0,00	0,00
4	Honoraires des guides	0,00	0,00	0,00
5	Honoraires des experts et consultants	0,00	0,00	0,00
6	Frais d'études, de travaux et de prestations réalisés pour le compte de l'entité	0,00	0,00	0,00
2	MATERIEL ET MOBILIER			
1	Matériels et instruments scientifiques et audiovisuels	1 057 000,00	1 038 289,59	18 710,41
2	Renouvellement du matériel informatique, achat accessoires, logiciels et consommables Informatiques	150 000,00	144 904,50	5 095,50
3	Mobilier de laboratoire	220 000,00	149 760,00	70 240,00
4	Entretiens et réparations	0,00	0,00	0,00
3	FOURNITURES			
1	Produits chimiques	0,00	0,00	0,00
2	Produits consommables	0,00	0,00	0,00
3	Composants électroniques, mécaniques et audio-visuels	0,00	0,00	0,00
4	Papeterie et fournitures de bureau	73 000,00	71 557,20	1 442,80
5	Périodiques	0,00	0,00	0,00
6	Documentation et Ouvrages de recherche	0,00	0,00	0,00
7	Fournitures des besoins de laboratoires (animaux, plantes, etc...)	0,00	0,00	0,00
4	CHARGES ET ANNEXES			
1	Impression et édition	0,00	0,00	0,00
2	Affranchissements postaux	0,00	0,00	0,00
3	Communication téléphoniques, Fax, Téléx, Télégramme, Internet	0,00	0,00	0,00
4	Autre frais (impôts et taxes, droits de douane, frais financiers, assurances, frais de stockage, et autres)	0,00	0,00	0,00
5	Banque de données (acquisition et abonnement)	0,00	0,00	0,00
5	PARC AUTOMOBILE			
1	Carburant et lubrifiants	0,00	0,00	0,00
2	Location de véhicules pour les travaux de recherche sur terrain	0,00	0,00	0,00
6	FRAIS DE VALORISATION ET DE DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE			
1	Frais de Formation et d'accompagnement des porteurs de projets	0,00	0,00	0,00
2	Frais de propriété Intellectuelle (Recherche d'antériorité; Demande de dépôt de brevet, De marque et de modèle; Dépôt de logiciel, Protection des obtentions végétales, animales et autres; Frais des mandataires)	0,00	0,00	0,00
3	Frais de conception et de définition du projet à mettre en valeur	0,00	0,00	0,00
4	Frais d'évaluation et de faisabilité du projet valorisable, (Maturation = Plan d'affaire)	0,00	0,00	0,00
5	Frais d'expérimentation et de développement des produits à mettre en valeur	0,00	0,00	0,00
6	Frais d'incubation	0,00	0,00	0,00
7	Frais de service à l'innovation	0,00	0,00	0,00
8	Frais de conception et de réalisation de prototypes, maquettes, présérie, installations pilotes et démonstrations	0,00	0,00	0,00
	Total	1 500 000,00	1 404 511,29	95 488,71

Tlemcen le 10/10/2013

### Attestation du Partenaire socio-économique

Nous, partenaire socio-économique, sommes très satisfaits de la collaboration avec le laboratoire des Systèmes et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) dans le cadre du projet PNR intitulé «Mise en place d'un réseau de capteurs sans fil pour la détection des feux de forêt (RCSF-DFE)». Nous apprécions énormément la solution innovante proposée ainsi que les résultats obtenus pouvant être appliqués dans des parcs et des forêts. La détection précoce de l'élévation de température suite à la déclaration d'un feu dans une zone donnée, permettra sans doute la sauvegarde du patrimoine forestier et l'économie des moyens matériels et financiers.

Le prototype réalisé et la démonstration pratique qui a suivi en notre présence, attestent de la haute qualité des travaux accomplis.

Le partenaire Socio-économique

وئيس مصلحة حماية  
الحيوانات و النباتات  
ح. بن سقران

# Annexe 2

## Productions scientifiques

### Publications internationales

1/Hichem Sedjelmaci and Mohammed Feham, “Novel Hybrid Intrusion Detection System For Clustered Wireless Sensor Network”, International Journal of Network Security & Its Applications (IJNSA), Vol.3, No.4, July 2011, <http://airccse.org/journal/nsa/0711ijnsa01.pdf>

2/Labraoui N., Gueroui M., Aliouat M., Petit J., “RAHIM: Robust Adaptive Approach Based on Hierarchical Monitoring Providing Trust Aggregation for Wireless Sensor Networks”, Journal of Universal Computer Science (J.UCS), Vol. 17, Issue 11, pp. 1550-1571, 2011. (IF=0.669) [http://www.jucs.org/jucs\\_17\\_11/rahim\\_robust\\_adaptive\\_approach](http://www.jucs.org/jucs_17_11/rahim_robust_adaptive_approach)

3/Labraoui N., Gueroui M., Aliouat M., Zia T., “Data Aggregation Security Challenge in Wireless Sensor Networks: A Survey”, Ad hoc & Sensor Wireless Networks, International Journal, vol. 12, no. 3-4, pp. 295-324, 2011, (IF= 0.309)

<http://www.oldcitypublishing.com/AHSWN/AHSWNcontents/AHSWNv12n3-4contents.html>

4/M. Hadjila & M. Feham, « A comparative study of the wireless sensor networks routing protocols scalability », International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS) Vol.2, No.4, July 2011, <http://airccse.org/journal/ijdps/papers/0711dps03.pdf>

5/Labraoui N., Gueroui M., Aliouat M., “Proactive defense-based secure localization scheme in wireless sensors networks”, DiCTAP, Book chapter Part I, CCIS, Vol (166), pp: 603-618, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2011, <http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-21984-9/page/3>

6/Benamar Kadri, Mohammed Feham, Abdellah Mhamed, “Architecture aware key management scheme for wireless sensor networks”, Vol. 4, No. 12, November 2012, the International Journal of Information Technology and Computer Science.

<http://www.mecs-press.org/ijitcs/ijitcs-v4-n12/v4n12-5.html>

7/Labraoui N., Gueroui M., Aliouat M., “Secure DV-Hop Localization Scheme against Wormhole Attacks in Wireless Sensor Networks”, Transaction on Emerging

Telecommunications Technologies, Vol(23), Issue (4), pp. 303–316. doi: 10.1002/ett.1532. 2012. (FI=1.049).

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ett.1532/abstract>

8/Labraoui N., Gueroui M., Aliouat M., Petit J., “Reactive and adaptive monitoring to secure aggregation in wireless sensor networks”, Telecommunication Systems, Springer, doi: 10.1007/s11235-013-9712-3, online First, 2013. (FI= 1.027), URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11235-013-9712-3>

9/Benamar Kadri, Mohammed Feham, “Secured and optimized AODV for wireless sensor networks”, the International Journal of Information Technology and Computer Science, Vol. 5, No. 6, pp. 23-31, 2013. <http://www.mecs-press.org/ijitcs/ijitcs-v5-n6/IJITCS-V5-N6-4.pdf>

10/Benamar Kadri, Djilalli Moussaoui, Mohammed Feham, “A PKI over Ant Colony based Routing Algorithms for MANETs –AntPKI–”, International Journal of Network Security, Vol.15, No.1,PP.42-49, Jan. 2013. <http://ijns.femto.com.tw/contents/ijns-v15-n1/ijns-2013-v15-n1-p42-49.pdf>

11/Mourad Hadjila, Hervé Guyennet, Mohammed Feham, “Energy-Efficient in wireless sensor networks using fuzzy C-Means clustering approach”, International Journal of Sensors and Sensor Networks 2013;1(2): 21-26 Published online April 2, 2013, <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ijssn>

12/ Hichem Sedjelmaci, Sidi Mohammed Senouci, Mohammed Feham, “An efficient intrusion detection framework in cluster-based wireless sensor networks”, Article first published online: 30 JAN 2013. DOI: 10.1002/sec.687 Copyright © 2013 John Wiley & Sons, Ltd., <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sec.687/abstract>

13/Mourad Hadjila, Hervé Guyennet, Mohammed Feham, “A Chain-Based Routing Protocol to Maximize the Lifetime of Wireless Sensor Networks”, Wireless Sensor Network Journal, 2013, 5, 116-120, doi:10.4236/wsn.2013.55014 Published Online May 2013 <http://www.scirp.org/journal/wsn>

### **Communications Internationales**

1/Kadri B., Moussaoui D., Feham M., « [Link Quality Based Ant Routing Algorithm for MANETs \(LQARA\)](#) », the 12th Annual PostGraduate Symposium, on the convergence of telecommunications, Networking and Broadcasting, 27-28 June 2011, Liverpool, England,

<http://www.cms.livjm.ac.uk/pgnet2011/proceedings.html>

ou

<http://www.cms.livjm.ac.uk/pgnet2011/Proceedings/Papers/m1569450179-kadri.pdf>

2/Labraoui N., Gueroui M., "Secure Range free localization scheme in wireless sensors networks", 10<sup>th</sup> IEEE ISPS, 2011, Alger.

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=5871957>

## Annexe 3- Formation

**\*Thèses de Doctorat soutenues** (<http://labstic.univ-tlemcen.dz>)

1/-**Labraoui Nabila,**" La sécurité dans les réseaux sans fil ad-hoc", Thèse de Doctorat en informatique, Université de Tlemcen, Novembre 2012,

2/-**Sedjelmaci Hichem Sid Ahmed,** "Mise en œuvre de mécanismes de sécurité basés sur les IDS pour les réseaux de capteurs sans fil", Thèse de Doctorat LMD en Systèmes et réseaux de Télécommunications (**Première Thèse LMD soutenue en Algérie**), Université de Tlemcen, Février 2013

**\*Projets de fin d'étude en Master soutenus** (<http://labstic.univ-tlemcen.dz>)

1/- «Amélioration du protocole de routage ANTNET», Master en Télécommunications option réseaux mobiles et services, soutenance en Juillet 2011, université de Tlemcen

2/- «Simulation à haut niveau d'un RCSF pour l'évaluation des performances de routage», Master en Télécommunications option réseaux mobiles et services, soutenance en Juillet 2011, université de Tlemcen

3/- «La géo-localisation dans les réseaux de capteurs sans fil », Ingénieur d'état en Informatique, Soutenance en Juillet 2011, Université de Tlemcen.

4/- «Installation et Configuration d'un réseau de capteurs sans fil», Master en Télécommunications option réseaux mobiles et services, soutenance en Juillet 2011, université de Tlemcen

5/- «La simulation des réseaux de capteurs à grande échelle», Master en Télécommunications option réseaux mobiles et services, soutenance en Juillet 2011, université de Tlemcen

6/- «Mise en œuvre d'un réseau de capteurs sans fil pour la détection des feux de forêt », Master en Informatique option réseaux et systèmes distribués, soutenance en juillet 2012, Université de Tlemcen.

7/- «Etude et évaluation du protocole de localisation DV-HOP dans un réseau de capteurs sans fil », Master en Informatique option réseaux et systèmes distribués, soutenance en juillet 2012, Université de Tlemcen.

8/- «Sécurité de l'agrégation des données dans les réseaux de capteurs sans fil », », Master en Informatique option réseaux et systèmes distribués, soutenance en juillet 2013, Université de Tlemcen.

9/- «Détection des attaques par réplication dans un réseau de capteurs sans fil », Master en Informatique option réseaux et systèmes distribués, soutenance en juillet 2013, Université de Tlemcen.

10/- «Sécurisation du protocole de routage LEACH dans les réseaux de capteurs sans fil », Master en Informatique option réseaux et systèmes distribués, soutenance prévue pour septembre 2013, Université de Tlemcen.