



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene

Faculté d'Electronique et d'Informatique

Département d'Informatique

Mémoire de Licence

**Option** : Ingénierie de Système d'information et Logiciel (ISIL)

---

## Thème

*Implémentation d'une application de  
Surveillance pour un réseau de capteurs sans fils*

---

**Sujet proposé par :**

Mme CHENAIT MANEL

Soutenu le : 09 / 06 / 2014

**Devant le jury composé de :**

Mr BENCHAIBA

Mme BOUZIANE

Président

Membre

Réalisé par :

 Belkhous Redha Nabil

 Guerchaoui Farouk Essedik

Binôme N°066 / 2014

## Table des matières

<b>Introduction générale</b>	(1)
------------------------------	-----

### Chapitre I: Etude générale des réseaux de capteurs

<b>I.1</b>	<b>Introduction</b>	(2)
<b>I.2</b>	<b>Généralités</b>	(2)
I.2.1	<i>Présentation des capteurs</i>	(2)
I.2.1.1	Définition d'un capteur	(2)
I.2.1.2	Architecture d'un capteur	(2)
I.2.1.3	Caractéristiques d'un capteur	(3)
I.2.1.4	Architecture d'un nœud capteur	(3)
I.2.2	<i>Les réseaux de capteur sans fils (RCSF)</i>	(4)
I.2.2.1	Définition des des réseaux de capteur sans fils	(4)
I.2.2.2	Architecture des réseaux de capteurs sans fils	(4)
I.2.2.3	Facteurs et contraintes de conception des réseaux de capteurs sans fils	(4)
I.2.2.4	La communication dans les réseaux de capteurs sans fils	(5)
	- <i>Architecture protocolaire (Pile protocolaire).</i>	(5)
	- <i>Les standards de communication</i>	(6)
I.2.2.5	Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fils	(7)
<b>I.3</b>	<b>Conclusion</b>	(7)

### Chapitre II: La couverture dans les réseaux de capteurs sans fils:

<b>II.1</b>	<b>Introduction</b>	(8)
<b>II.2</b>	<b>La couverture</b>	(8)
II.2.1	<i>Définition</i>	(8)
II.2.2	<i>Couverture et conservation d'énergie</i>	(8)
II.2.3	<i>Modèles de couvertures</i>	(9)

## Table des matières

<b>II.3</b>	<b>Le recouvrement</b>	(11)
II.3.1	Définition	(11)
II.3.2	Idée générale	(11)
<b>II.4</b>	<b>Exemple de protocoles de restauration de couvrement</b>	(12)
II.4.1	BSCP: Backup Scheduling Mechanism for Coverage Preserving	(12)
II.4.2	DCP: Dynamic Distributed Coverage Preserving Protocol	(16)
<b>II.5</b>	<b>Conclusion</b>	(19)

### Chapitre III: Conception et modélisation :

<b>III.1</b>	<b>Introduction</b>	(20)
<b>III.2</b>	<b>Le langage de modélisation UML</b>	(20)
III.2.1	Définition	(20)
III.2.2	Analyse des besoins	(20)
III.2.2.1	Définition	(20)
III.2.2.2	Diagramme de cas d'utilisation	(20)
III.2.2.2.1	Définition	(20)
III.2.2.2.2	Définition des acteurs du système	(21)
III.2.2.2.3	Identification des cas d'utilisation	(21)
III.2.2.3	Diagramme de séquence	(24)
III.2.2.4	Diagramme d'activité	(26)
III.2.2.5	Schéma relationnel	(27)
<b>III.3</b>	<b>Conclusion</b>	(27)

## Table des matières

### Chapitre IV : Implémentation :

<b>IV .1</b>	<b>Introduction</b>	(28)
<b>IV .2</b>	<b>Environnement et outils de développement</b>	(28)
IV .2.1	Java	(28)
IV .2.1	Eclipse	(28)
IV .2.1	MySql	(28)
<b>IV .3</b>	<b>Implémentation</b>	(29)
IV .3.1	Présentation de l'interface principale	(29)
IV .3.2	Simulation d'un cas de déploiement détaillé sans protocole	(30)
IV .3.3	Simulation d'un cas de déploiement détaillé avec protocole	(31)
IV .3.3.1	Cas BSCP	(31)
IV .3.3.2	Cas DCP	(32)
IV .3.4	Simulation d'un cas de déploiement Déterministe Dense avec protocole	...(33)
IV .3.4.1	Cas BSCP	(33)
IV .3.4.2	Cas DCP	(34)
IV .3.5	Simulation d'un cas de déploiement Déterministe Léger avec protocole	...(36)
IV .3.5.1	Cas BSCP	(36)
IV .3.5.2	Cas DCP	(37)
IV .3.6	Simulation d'un cas de déploiement Aléatoire avec protocole de communication	(39)
<b>IV .4</b>	<b>Conclusion</b>	(39)
	<b>Conclusion générale</b>	(40)



## *Remerciements*

Nous tenons à remercier nos familles respectives, nos amis, Zeddoum Souhila, Benchenouf Mohamed Abdelkader, Latali Rabah, et tous ceux qui nous ont apporté une aide tout au long de notre travail.

Nous remercions aussi *Mme HANK* pour sa disponibilité et notre promotrice *Mme CHENAIT* pour son aide, ses conseils et sa gentillesse.

Nous remercions également le président du jury *M<sup>r</sup> BENCHAIBA*, notre examinatrice *M<sup>me</sup> BOUZIANE* et l'ensemble des enseignants qui nous ont aidés et conseillés tout au long de notre licence.

## ***Résumé***

Un réseau de capteurs est composé d'un grand nombre de nœuds *micro-capteurs* déployés d'une manière dense à l'intérieur d'une zone pour capter un phénomène proche de son entourage. La position des nœuds utilisés n'est pas obligatoirement conçue au préalable, ce qui permet leur déploiement aléatoire dans les terrains inaccessibles comme par exemple dans des environnements hostiles, ou pendant les opérations de secours en cas de désastres.

La mission la plus importante dans un réseau de capteur est le monitoring ; il s'agit d'assurer continuellement la surveillance et la récolte de l'information sur une zone géographique donnée.

Les données détectées sont acheminées grâce à un routage multi-saut à un nœud considéré comme un point de collecte, appelé station de base. Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau via Internet ou un satellite. Ainsi, l'utilisateur peut adresser des requêtes aux autres nœuds du réseau, en précisant le type de données requises et récolter les données captées telles que les données environnementales ou physiologiques par le biais de la station de base.

L'objectif de ce travail est de réaliser une application qui assure la surveillance (le monitoring) d'une zone d'intérêt - ou des points cibles dans cette zone- à partir de la station de base. L'application permet de visualiser les champs de captage (l'emplacement des nœuds, leurs densités, leurs distributions, ...). Elle consiste aussi à localiser l'emplacement des nœuds défectueux et de mener des procédures de recouvrement en ces emplacements pour assurer la continuité du monitoring.

**Mots clés** : Réseaux de capteurs, couverture, recouvrement.

## ***Abstract***

A sensors network is composed of a great number of micro-sensors knots spread within an area in order to intercept a phenomenon around them.

The position of the knots used is not necessarily known at first, this allows them to spread at random in inaccessible fields such hostile environment, or during rescue operation in case of disaster.

The most important mission in a sensors network is monitoring, it consists in supervising and gathering information in a geographic area.

The detected data are dispatched thank to a multi-hop routing towards a collect point called basic station. This one can be connected to the sensors network by Internet or Satellite. Thus, the user can send requests to the sensors network.

The objective of this work is to realize an application which supervises an area.

The application allows to visualize the sensors network (their location, density, distribution ...), as well as to locate the damage knots and carry out recovering procedures in those places to ensure a continuous monitoring.

**Key – word**: Sensors network / Coverage / Recovery.

## Liste des figures

### Liste des figures :

Figure 1.1 : Architecture physique d'un capteur .....	(2)
Figure 1.2 : Zone de captage et de communication .....	(3)
Figure 1.3 : Anatomie d'un nœud capteur .....	(3)
Figure 1.4 : Architecture d'un réseau de capteurs sans fils .....	(4)
Figure 1.5 : Pile protocolaire .....	(6)
Figure 1.6 : Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fils .....	(7)
Figure 2.1: Application d'un Scheduling .....	(9)
Figure 2.2: (a) illustration d'un modèle de couverture booléen directionnelle .....	(10)
Figure 2.2: (b) illustration d'un modèle de couverture booléen directionnelle avec un angle d'orientation ajustable.....	(10)
Figure 2.2: (c) un point dans l'espace 3-Covered (Couvert par trois secteurs) .....	(10)
Figure 2.3: (a) illustration d'un modèle de couverture booléen omnidirectionnelle .....	(10)
Figure 2.3: (b) illustration d'un modèle de couverture booléen omnidirectionnelle avec une portée de détection $R_s$ variable .....	(10)
Figure 2.3: (c) un point dans l'espace 3-Covered (Couvert par trois secteurs) .....	(10)
Figure 2.4: Exemple de recouvrement de panne .....	(11)
Figure 2.5: Exemple d'un réseau de capteurs .....	(12)
Figure 2.6: Exemple d'un cas de distance .....	(13)
Figure 2.7: Dispersion des capteurs -Cas distance- .....	(13)
Figure 2.8: Dispersion des capteurs -Cas énergie- .....	(14)
Figure 2.9: Dispersion des capteurs -Cas moyenne- .....	(14)
Figure 2.10: Exemple illustratif d'un réseau de capteurs .....	(16)
Figure 2.11: Exemple d'un réseau de capteurs après construction des $S(i)$ et $BS(i)$ .....	(18)
Figure 4.1 : Interface principale de l'application .....	(34)
Figure 4.2 : Déploiement détaillé sans protocole .....	(35)
Figure 4.3 : Déploiement détaillé avec le BSCP .....	(36)
Figure 4.4 : Déploiement détaillé avec le BSCP .....	(37)
Figure 4.5 Déploiement déterministe dense avec le BSCP .....	(38)
Figure 4.6 Déploiement déterministe dense avec le DCP .....	(39)
Figure 4.7 Déploiement déterministe léger avec le BSCP .....	(41)
Figure 4.8 Déploiement déterministe léger avec le DCP .....	(42)
Figure 4.9 Déploiement aléatoire avec le protocole de communication .....	(44)



*Liste des Tableaux*

**Liste des Tableaux**

Tableau 1 : la moyenne entre l'énergie et la distance de chaque capteur .....(15)

Tableau 2 : classification des capteurs en Bi selon les moyennes triées .....(15)

## ***Introduction générale :***

Les progrès technologiques réalisés ces dernières années ont permis le développement de nouveaux types de capteurs dotés de moyens de communication sans fils, peu onéreux, et pouvant être configurés pour former des réseaux autonomes ou pour la surveillance à distance et le traitement des données dans les environnements complexes et distribués. Les domaines d'application sont nombreux : domotique, santé, domaine militaire ou bien encore surveillance de phénomènes environnementaux.

Les réseaux de capteurs sans fils sont souvent caractérisés par un déploiement dense et à grande échelle dans des environnements limités en terme de ressources. Les limites imposées sont la limitation des capacités de traitement, de stockage et surtout d'énergie car ils sont généralement alimentés par des piles. Recharger les batteries dans un réseau de capteurs est parfois impossible en raison de l'emplacement des nœuds. Il est donc largement reconnu que la limitation énergétique est une question incontournable dans la conception des réseaux de capteurs sans fils en raison des contraintes strictes qu'elle impose sur l'exploitation du réseau. En fait, la consommation d'énergie des capteurs joue un rôle important dans la durée de vie du réseau qui est devenue le critère de performance prédominant.

Plusieurs travaux de recherche sont apparus avec un objectif : optimiser la consommation énergétique des nœuds à travers l'utilisation de techniques de conservation innovantes afin d'améliorer les performances du réseau, notamment la maximisation de sa durée de vie. De façon générale, économiser l'énergie revient finalement à trouver le meilleur compromis entre les différentes activités consommatrices en énergie.

La couverture (le monitoring) est une application importante dans les réseaux de capteurs sans fils qui consiste à assurer la récolte d'information dans une zone donnée. En effet, les données détectées sont acheminées grâce à un routage multi-saut à un nœud considéré comme un point de collecte, appelé station de base. Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau via Internet ou un satellite. Ainsi, l'utilisateur peut adresser des requêtes aux autres nœuds du réseau, en précisant le type de données requises et récolter les données captées telles que les données environnementales ou physiologiques par le biais de la station de base.

L'objectif de ce travail est de réaliser une application qui assure la surveillance d'une zone d'intérêt ou des points cibles dans cette zone à partir de la station de base. L'application permet de visualiser les champs de captage (l'emplacement des nœuds, leurs densités, leurs distributions, ...)

Elle consiste aussi à localiser l'emplacement des nœuds défectueux et de mener des procédures de recouvrement en ces emplacements pour assurer la continuité du monitoring.

Une telle application permettra de contrôler, visualiser, simuler et agir sur les défaillances des capteurs dans le réseau en temps réel.

**Chapitre I: Etude générale des réseaux de**  
**capteurs**

# ***Chapitre I: Etude générale des réseaux de capteurs***

## **I.1 Introduction :**

Le développement qu'a connu la technologie de nos jours a permis de faire des avancées très intéressantes dans le domaine de la communication réseau. Les réseaux de capteurs sans fils (Wireless Sensors Network) ont attiré un grand intérêt dans la dernière décennie, et ont apporté des solutions pour beaucoup d'applications. Ces derniers sont composés de minuscules capteurs qui peuvent être déployés d'une manière précise ou aléatoire et dont l'utilité réside au fait d'avoir un faible coût et une consommation réduite en énergie. Leur fonction consiste à capter les données pour ensuite calculer les informations à l'aide de ces valeurs collectées pour qu'ils puissent après les communiquer à travers l'ensemble du réseau.

## **I.2 Généralités :**

### *I.2.1 Présentation des capteurs :*

#### **I.2.1.1 Définition d'un capteur :**

Un capteur est le dispositif qui transforme une grandeur physique observée (température, pression, humidité, etc.) en une grandeur utilisable (intensité électrique par exemple) [BRI08].

Pour cela, il possède au moins un transducteur dont le rôle est de convertir une grandeur physique en une autre.

#### **I.2.1.2 Architecture d'un capteur :**

L'architecture physique d'un capteur est composée de trois unités:

- **L'unité d'acquisition** : grâce à laquelle on va obtenir des mesures numériques sur les paramètres environnementaux. Elle contient un convertisseur Analogique/Numérique qui va convertir l'information relevée et la transmettre à l'unité de traitement.
- **L'unité de traitement** : est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une interface pour l'unité de transmission. Cette unité est également composée d'un processeur et d'un système d'exploitation spécifique qui traite l'information envoyée par l'unité d'acquisition. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition les traite et les envoie à l'unité de transmission.
- **L'unité de transmission** : est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication radio.

Ces trois unités sont alimentées par une batterie comme la montre la figure ci dessous:

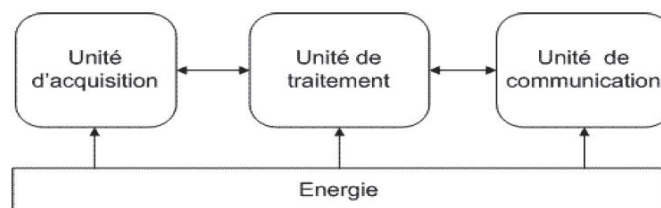


Figure I.1 : Architecture physique d'un capteur

I.2.1.3 Caractéristiques 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 capteurs(ou dispositifs électroniques).

Ainsi, chaque capteur possède un rayon de communication ( $R_c$ ) et un rayon de sensation (surveillance) ( $R_s$ ).

La Figure ci dessous montre les zones définies par ces deux rayons pour le capteur A. La zone de communication est la zone où le capteur A peut communiquer avec les autres capteurs, et la zone de surveillance caractérise la zone où il recueille les informations de l'environnement.

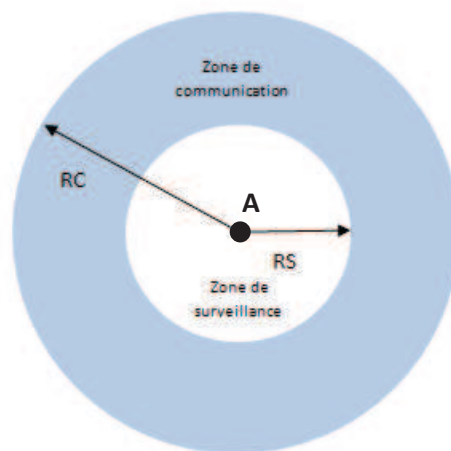


Figure 1.2 : Zone de captage et de communication

I.2.1.4 Architecture d'un nœud capteur :

Un nœud capteur est composé principalement d'un processeur, une mémoire, un émetteur/récepteur radio, un ensemble de capteurs, et une pile [AKY 02].

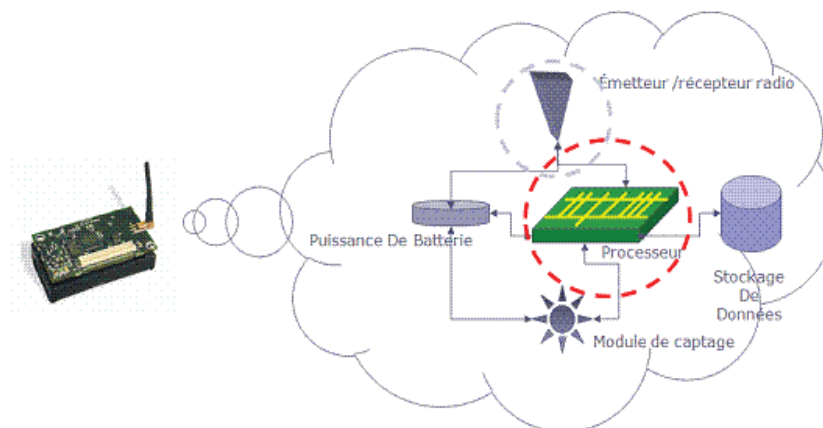


Figure 1.3 : Anatomie d'un nœud capteur

### *I.2.2 Les réseaux de capteur sans fils (RCSF) :*

#### *I.2.2.1 Définition des réseaux de capteur sans fils :*

Un Réseau de Capteurs Sans Fils (RCSF) est un réseaux sans fils qui englobe des capteurs sous une forme précise appelée « Mote ». Le but du réseau est de prélever des informations de l'environnement où il se trouve [CHE08].

#### *I.2.2.2 Architecture des réseaux de capteurs sans fils:*

Un réseau de capteurs sans fils est composé d'un ensemble de nœuds capteurs. Ces nœuds capteurs sont organisés en champs « sensor fields ». Chacun de ces nœuds a la capacité de collecter des données et de les transférer au nœud passerelle (dit "sink" en anglais ou puits) par l'intermédiaire d'une architecture multi-sauts. Le puits transmet ensuite ces données par internet ou par satellite à l'ordinateur central «Gestionnaire de tâches» pour analyser ces données et prendre des décisions.

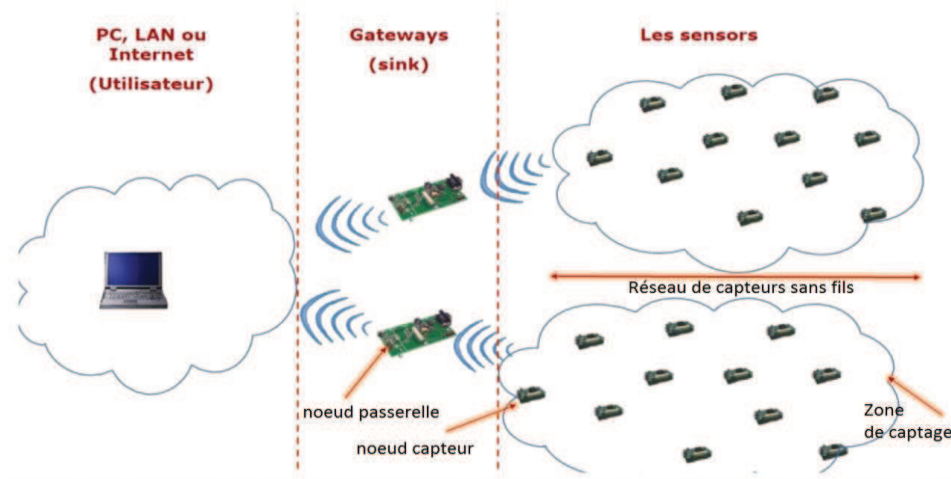


Figure 1.4 : Architecture d'un réseau de capteurs sans fils

#### *I.2.2.3 Facteurs et contraintes de conception des RCSF :*

La conception et la réalisation des réseaux de capteurs sans fils sont influencées par plusieurs paramètres qui aident au développement des algorithmes et protocoles utilisés dans les réseaux de capteurs sans fils.

- **Durée de vie d'un réseau :** C'est l'intervalle de temps qui sépare l'instant de déploiement du réseau où l'énergie du dernier nœud s'épuise. La durée de vie d'un réseau peut varier entre quelques heures à plusieurs années.
- **Ressources limitées:** En plus de l'énergie, les nœuds capteurs ont aussi une capacité de traitement et de mémoire limitée.
- **Facteur d'échelle:** Le nombre de nœud déployés pour une application peut atteindre des milliers. Dans ce cas, le réseau doit fonctionner avec des densités de capteurs très grandes. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions entre les nœuds et nécessite que la station de base soit équipée de mémoire suffisante pour stocker les informations reçues.

- **Topologie dynamique:** La topologie des réseaux de capteurs peut changer au cours du temps pour les raisons suivantes :
  - Les nœuds capteurs peuvent être déployés dans des environnements hostiles (champ de bataille par exemple), la défaillance d'un nœud capteur est donc très probable.
  - Un nœud capteur peut devenir non opérationnel à cause de l'expiration de son énergie.
  - Dans certaines applications, les nœuds capteurs et les stations de base sont mobiles.
- **La tolérance aux pannes :** Les nœuds peuvent être sujets à des pannes dues à leur fabrication ou plus fréquemment à un manque d'énergie. Les interactions externes (chocs, interférences) peuvent aussi être la cause des dysfonctionnements. Afin que les pannes n'affectent pas la tâche première du réseau, il faut évaluer la capacité du réseau à fonctionner sans interruption.
- **Coût de fabrication :** Les nœuds sont des produits fabriqués en série du fait de leur grand nombre. Il faut que leur coût de fabrication soit tel que le coût global du réseau ne soit pas supérieur à celui d'un réseau classique afin de pouvoir justifier son intérêt.

#### 1.2.2.4 La communication dans les réseaux de capteurs sans fils :

- Architecture protocolaire (Pile protocolaire) :

Le rôle de ce modèle consiste à standardiser la communication entre les composants du réseau afin que différents constructeurs puissent mettre au point des produits (logiciels ou matériels) compatibles. Ce modèle comprend 5 couches qui ont les mêmes fonctions que celles du modèle OSI, ainsi que 3 couches pour la gestion de la puissance d'énergie, la gestion de la mobilité ainsi que la gestion des tâches (interrogation du réseau de capteurs). Le but d'un système en couches est de séparer le problème en différentes parties (les couches) selon leur niveau d'abstraction. Chaque couche du modèle communique avec une couche adjacente (celle du dessus ou celle du dessous). Chaque couche utilise ainsi les services des couches inférieures et en fournit à celle de niveau supérieur.

Présentation des différentes couches et leurs fonctions principales :

- **Couche physique:** sa fonction est la transformation des signaux sous forme binaire. Son type de données est le **Bit**.
- **Couche de liaison:** sa fonction est l'adressage physique. Son type de données est le **Trame** (bloc d'information véhiculé au travers d'un support physique).
- **Couche réseau:** sa fonction est de déterminer le parcours des données et l'adressage logique. Son type de données est le **Paquet**.
- **Couche de transport:** sa fonction est la connexion bout à bout, connectabilité et contrôle de flux. Son type de données est le **Segment**.
- **Couche des applications:** sa fonction est d'assurer l'interface avec les applications.
- **Couche de gestion d'énergie:** contrôle l'utilisation de la batterie. Par exemple, après la réception d'un message, le capteur éteint son récepteur afin d'éviter la duplication des messages déjà reçus. En outre, si le niveau d'énergie devient bas, le nœud diffuse à ses voisins une alerte les informant qu'il ne peut pas participer au routage. L'énergie restante est réservée au captage.
- **Couche de gestion de la mobilité:** détecte et enregistre le mouvement du nœud capteur.
- **Couche de gestion des tâches:** ordonnance les différentes tâches de captage de données dans une région spécifique. Il n'est pas nécessaire que tous les nœuds de cette région effectuent la tâche de captage au même temps, certains nœuds exécutent cette tâche plus que d'autres selon leur niveau de batterie.

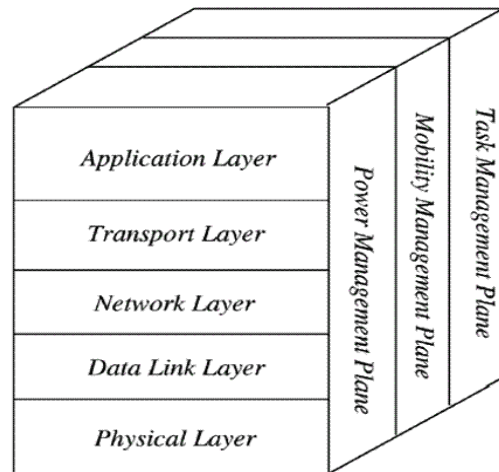


Figure 1.5 : Pile protocolaire

- Les standards de communication :

Il y a une multitude de normes sans fils comme le Wi-Fi (le standard IEEE 802.11) et le WiMax (le standard IEEE 802.16) qui s'adressent au transport des données à haut débit.

Certains dispositifs comme les capteurs n'ont pas besoin d'une largeur de bande très élevée, mais plutôt d'un temps de latence faible (délai entre le moment où l'information est envoyée et celui où elle est reçue) ainsi qu'une consommation d'énergie très basse, pour une longue durée de vie et un grand nombre de dispositifs. D'où la nécessité de concevoir d'autres normes sans fils capables de répondre à ces exigences. Parmi les standards les plus aptes à être exploités dans les réseaux de capteurs sans fils on trouve, le *Bluetooth* et *ZigBee*.

- **Bluetooth :**

Le Bluetooth est un standard de communication sans fils utilisant une technologie radio courte distance destinée à simplifier les connexions entre les appareils électroniques. Il représente l'équivalent de l'USB mais sans fils et sert donc à relier des périphériques avec un ordinateur ou d'autres périphériques (imprimantes, claviers, souris, téléphones portables,...). L'avantage du Bluetooth par rapport au Wi-Fi, se trouve au niveau de la consommation d'énergie, la technologie Bluetooth a une plus faible consommation que le Wi-Fi. Le second avantage est le prix attractif de cette technologie grâce à son faible coût de réalisation. Cependant, cette faible consommation d'énergie ne répond pas encore aux exigences des capteurs.

- **ZigBee :**

Beaucoup moins connu que Bluetooth, ZigBee est le nom d'une suite de protocoles de hauts niveaux pour les réseaux personnels sans fils. La technologie ZigBee a pour but la communication à courte distance telle que la propose déjà la technologie Bluetooth, tout en étant moins chère et plus simple. Sa très faible consommation énergétique et son coût de production très bas en font un candidat idéal pour les RCSF. Elle offre un petit débit de 250 Kb/s théorique contre 1 Mb/s pour le Bluetooth [CHE08], ce qui n'est pas vraiment un handicap pour un réseau de capteurs puisque la taille des paquets échangés n'est pas vraiment importante. Le Protocole Zigbee est simple, économique et peu gourmand en énergie.



1.2.2.5 Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fils :

Les domaines d'applications de cette technologie sont multiples. Par exemple :

- **Le domaine militaire**: Détection et collecte d'informations sur la position de l'ennemi, surveillance des zones hostiles (contaminées), et détection d'agents chimiques et bactériologiques. [HAM 08] [IST 09].
- **l'environnement** : pour la détection des feux de forêt, les inondations, le contrôle de la qualité de l'eau ou de l'air [ING 10].
- **le bâtiment** : lors de tremblements de terre, pour aider les secouristes à retrouver les victimes (capteurs emprisonnés dans le béton à la construction qui détectent le niveau de bruit).
- **le domaine de l'industrie** : gestion des stocks.
- **le domaine des transports** : gestion du trafic.
- **le domaine médical** : Il existe déjà dans le monde médical, des gélules multi-capteurs pouvant être avalées qui permettent sans avoir recours à la chirurgie de transmettre des images de l'intérieur du corps humain [DAV 09] [YUC 08].
- **Applications commerciales** : des nœuds capteurs peuvent être utilisés pour améliorer les processus de stockage et de livraison. Le réseau peut ainsi être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'une marchandise. Un client attendant une marchandise peut alors avoir un avis de livraison en temps réel et connaître la position des marchandises qu'il a commandées [TES 08].

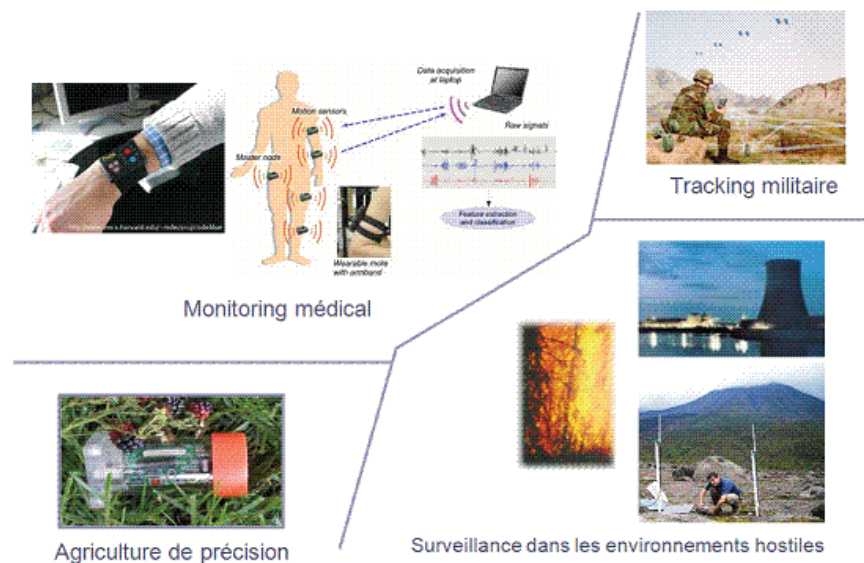


Figure 1.6 : Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fils

### I.3 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu une présentation générale des capteurs, de leurs fonctionnements, de leurs architectures et de leurs utilisations au sein des réseaux sans fils.

Nous avons aussi évoqué les réseaux de capteurs sans fils, de leurs caractéristiques conceptuelles et techniques, et leurs différents domaines d'utilisations.

Le chapitre suivant est dédié à l'un des aspects les plus importants dans les réseaux de capteurs sans fils et qui est la restauration de couverture (le recouvrement).

Nous définirons la notion de couverture, ses modèles dans la littérature, et nous évoquerons quelques protocoles de restauration de couverture.

## **Chapitre II: La couverture dans les réseaux de capteurs sans fils**

# ***Chapitre II: La couverture dans les réseaux de capteurs***

## **II.1 Introduction :**

Les capteurs sont chargés de relever et de router les informations collectées sur la zone couverte vers le point de collecte, également appelé puits. Le puit récupère les informations remontées par les différents capteurs et les transmet au centre de traitement. Les capteurs disposés de manière aléatoire forment la zone de couverture.

L'une des recherches les plus actives dans le domaine des réseaux de capteur sans fil est celle de la couverture. La récolte d'information ou le captage des événements depuis le champ de couverture est la tâche qui vient en premier lieu avant toute autre tâche dans tout réseau de capteurs. Un réseau de bonne qualité doit pouvoir capter l'information pour la router tout en satisfaisant la couverture de toute la zone en cause, sans pour autant affecter négativement les autres contraintes, telles que la connectivité et la consommation d'énergie.

Dans ce chapitre nous allons étudier la couverture, ses modèles, le recouvrement, et deux protocoles de recouvrement.

## **II.2 La couverture :**

### *II.2.1 Définition :*

La couverture est la capacité d'un capteur à surveiller une zone et à recueillir toutes les informations de cette dernière, elle est aussi la tâche principale dans un réseau de capteurs avant toute autre tâche.

Souvent, on juge la qualité d'un réseau de capteurs sans fils de par sa couverture.

### *II.2.2 Couverture et conservation d'énergie :*

Les zones RC et RS représentent la zone de communication et de surveillance d'un capteur. Pour qu'une zone soit complètement couverte, il faut que la densité de capteurs soit suffisante. Comme les capteurs sont généralement disposés sur la zone à couvrir de façon aléatoire, il est nécessaire de disposer d'une densité importante de capteurs. Si la densité des capteurs est trop importante et que la zone que l'on veut surveiller est "trop" couverte, alors des capteurs vont être redondants.

Afin de conserver l'énergie, les capteurs redondants vont se mettre en veille. Ce mécanisme va devenir une stratégie à part entière pour augmenter la durée de vie du réseau (Scheduling).

En effet, en choisissant une densité volontairement élevée de capteurs, on va multiplier le nombre de capteurs redondants. Ainsi de nombreux capteurs seront en mode "économie d'énergie" (en veille) et pourront se substituer aux capteurs défaillants si nécessaire. C'est ce que montre la figure ci-dessous :

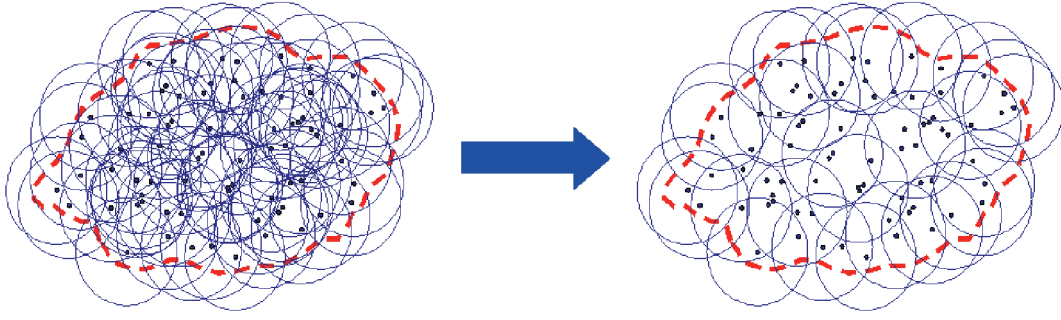


Figure 2.1: Application d'un Scheduling

Au moment de la mise en place du réseau, tous les capteurs sont actifs. Ceux dont la zone est déjà couverte se mettent en veille. Puis les capteurs en veille effectueront régulièrement des requêtes pour savoir s'ils ont besoin de s'activer (Scheduling).

### *II.2.3 Modèles de couvertures [Wan10]:*

Les modèles de couvertures mesurent la capacité et la qualité en capturant la relation géométrique entre un point dans l'espace et les capteurs [Wan10].

Dans la plupart des cas, un modèle de couverture peut être formulé comme une fonction des distances Euclidiennes (et des angles) entre un point spécifique dans l'espace et des capteurs.

Les données d'entrées d'une telle fonction de couverture sont les distances (et angles) entre un point particulier dans l'espace et la localisation des capteurs, et le résultat est appelé *Mesure de couverture de ce point dans l'espace* qui est un résultat non négatif.

Nous introduisons le concept de fonction de couverture dans le contexte de deux dimensions dans l'espace. Soient  $z$  un point dans l'espace, et  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$  un ensemble de capteurs, on utilise  $d(z, s)$  (avec  $d(z, s) \geq 0$ ) pour déterminer la distance Euclidienne entre un capteur et un point dans l'espace :

$$d(s, z) \doteq \sqrt{(s_x - z_x)^2 + (s_y - z_y)^2}$$

Ou  $(s_x, s_y)$  et  $(z_x, z_y)$  sont les coordonnées cartésiennes du capteur  $s$  et du point  $z$ .

Respectivement on utilise  $\phi(s, z)$  (avec  $0 \leq \phi(s, z) < 2\pi$ ) pour déterminer l'angle entre eux.

Le plus souvent on trouve dans la littérature les méthodes de couvertures Booléennes.

- Méthodes de couverture booléenne : où la mesure de la couverture est soit **1** ou **0** pour un point dans l'espace.

#### 1. Méthode de couverture de secteur:

Appeler aussi le modèle de secteur, est une méthode de couverture booléenne.

La fonction de couverture de ce modèle est donnée par :

$$f(d(s, z), \phi(s, z)) = \begin{cases} 1 & \text{if } d(s, z) \leq R_s \text{ and } \phi_s \leq \phi(s, z) \leq \phi_s + \omega, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases}$$

Où  $d(s,z)$  est la distance Euclidienne entre le capteur S et le point Z, et  $\varphi(s,z)$  est leur angle. Dans la figure si dessous :

$\varphi_s$  est appelé un angle d'orientation,  $\omega$  est appelé angle visuel, et  $R_s$  est appelé portée de détection.

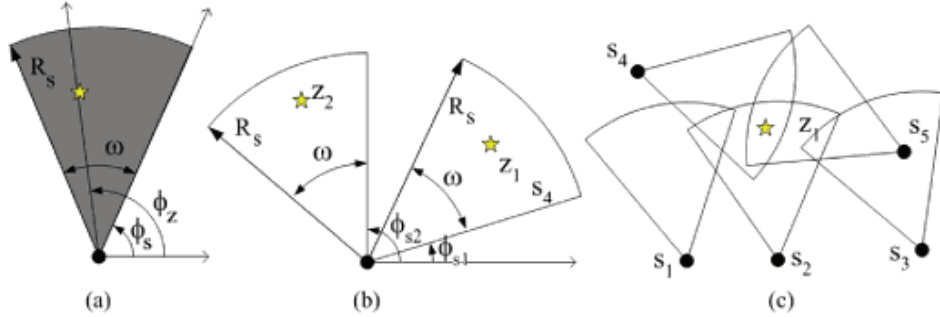


Figure 2.2: (a) illustration d'un modèle de couverture booléen directionnelle.

Figure 2.2: (b) illustration d'un modèle de couverture booléen directionnelle avec un angle d'orientation ajustable.

Figure 2.2: (c) un point dans l'espace 3-Covered (Couvert par trois secteurs).

Tous les points dans l'espace qui sont dans le secteur ayant une mesure de couverture 1 sont dits couverts (Covered) par ce capteur, tandis que tous les points hors du secteur ont une mesure de couverture 0 et ne sont pas couverts par ce capteur.

## 2. le modèle du disque unitaire :

Appelé aussi le modèle déterministe, est le plus cité dans la littérature. La fonction de couverture de ce modèle est donnée par :

$$f(d(s,z)) = \begin{cases} 1 & \text{if } d(s,z) \leq R_s, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases}$$

Où  $d(s,z)$  est la distance Euclidienne entre le capteur S et le point Z et  $R_s$  est appelé portée de détection.

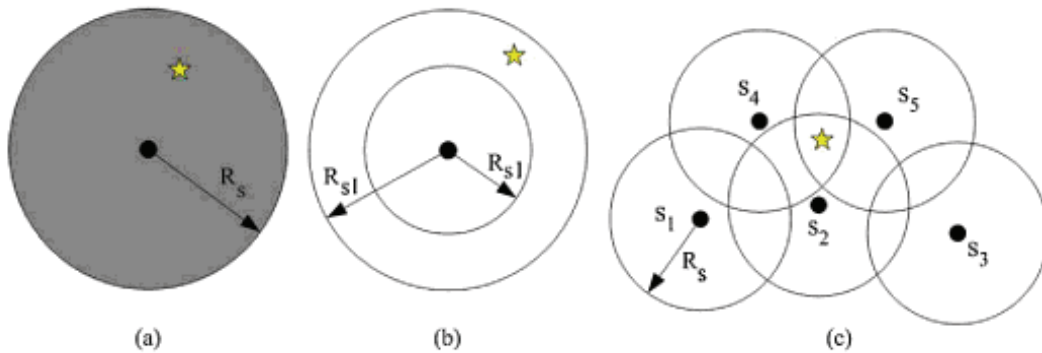


Figure 2.3: (a) illustration d'un modèle de couverture booléen omnidirectionnelle (qui a les mêmes propriétés dans n'importe quelle direction)

Figure 2.3: (b) illustration d'un modèle de couverture booléen omnidirectionnelle avec une portée de détection  $R_s$  variable

Figure 2.3: (c) un point dans l'espace 3-Covered (Couvert par trois secteurs)

Tous les points dans l'espace qui sont dans le secteur ayant une mesure de couverture **1** sont dits couverts (Covered) par ce capteur, tandis que tous les points hors du secteur ont une mesure de couverture **0** et ne sont pas couverts par ce capteur.

## II.3 Le recouvrement

### II.3.1 Définition :

Le recouvrement est la capacité d'un réseau de capteur sans fils à restaurer la couverture après défaillance de quelques nœuds [Che08].

Dans un réseau de capteurs, il doit toujours y avoir un dispositif de recouvrement, car le risque d'un crash, ou affaiblissement d'un ou plusieurs nœuds est quasi permanent et cela entrainera une perte de couverture.

On peut dire aussi que c'est la phase dans laquelle on effectue des opérations d'élimination des effets de pannes.



Figure 2.4: Exemple de recouvrement de panne

### II.3.2 Idée générale :

Les deux techniques les plus utilisées sont “masquage de panne” qui utilise l'information redondante correcte pour éliminer l'impact de l'information erronée, et “répétition” qui effectue, après la détection d'une panne, un nouvel essai pour exécuter une partie du programme, dans l'espoir que la panne soit transitoire.

Cette alternative nous permet de corriger les erreurs pour que le réseau puisse fonctionner normalement ou bien pour tolérer les fautes grâce à des protocoles de recouvrement (Tolérance aux pannes).

Les protocoles tolérants aux pannes peuvent être vus sous deux angles différents, le premier consiste à exécuter un traitement avant la panne, il est appelé *protocole préventif*, et le second consiste à exécuter un traitement après la panne, il est appelé *protocole curatif*.

- **Protocole préventif** : implémente des techniques tolérantes aux pannes qui tentent de retarder ou éviter tout type d'erreur afin de garder le réseau fonctionnel le plus longtemps possible. La conservation d'énergie à titre d'exemple, permet de consommer moins d'énergie et évite donc une extinction prématurée de la batterie ce qui augmente la durée de vie des nœuds.
- **Protocole curatif** : Utilise une approche optimiste, où le mécanisme de tolérance aux pannes implémenté n'est exécuté qu'après la détection de pannes. Pour cela plusieurs algorithmes de recouvrement après pannes sont proposés dans la littérature comme : ROC (Resilient Online Coverage for Surveillance Applications), le protocole BSCP (Backup Scheduling Mechanism for Coverage Preserving), le protocole DCP (Dynamic Distributed Coverage Preserving Protocol).

## II.4 Exemple de protocoles de restauration de couverture :

La restauration de couverture a suscité beaucoup d'intérêts parmi les différents domaines de recherche dans les réseaux de capteurs sans fils, dus à leurs contraintes d'énergie, d'environnement et de déploiement.

De nombreux protocoles ont été créés afin de répondre aux contraintes des réseaux de capteurs sans fils. Nous allons en citer deux d'entre eux, le BSCP (Backup Scheduling Mechanism for Coverage Preserving) et le DCP (Dynamic Distributed Coverage Preserving Protocol).

### II.4.1 BSCP: Backup Scheduling Mechanism for Coverage Preserving [CZB09]:

BSCP comme son nom l'indique est un protocole de couverture et de préservation d'énergie dans un réseau de capteurs.

Ce protocole est basé sur la réalisation d'un **scheduler** où chaque capteur détermine localement, grâce aux échanges de messages, l'état et les moments dans lesquels il va transiter.

Ce protocole fonctionne en deux phases différentes:

1. Phase de construction de Backup(s).
2. Phase d'activation de Backup(s) et transitions d'états (Scheduling).

La région à surveiller est celle dominée par le capteur  $v$ . Les autres capteurs du réseau, proches de  $v$ , peuvent bien entendu participer pour couvrir *entièrement* ou *partiellement* la zone A.

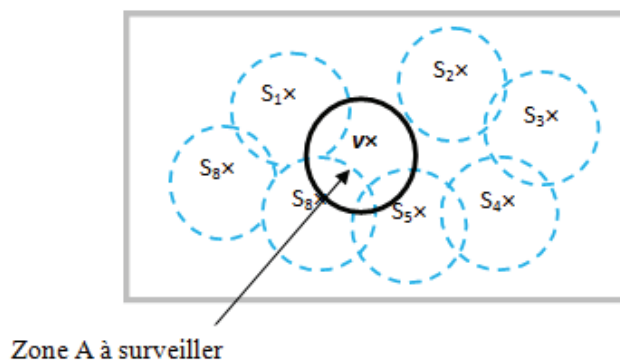


Figure 2.5: Exemple d'un réseau de capteurs

#### 1- Phase de construction de Backup(s) :

Rappelons que le nœud  $v$  est responsable de la surveillance continue d'une zone A, sa panne cause la diminution du degré de couverture de cette dernière, pour cela on est amené à choisir des capteurs voisins remplaçants (à un seul saut). Ces voisins sont regroupés en des *sous ensembles* appelés «**Backup**» dont le rôle est de prendre le relais et d'assurer la couverture exigée en l'absence de  $v$ . (dans le cas où  $v$  tombe en panne)

L'origine de la panne peut être due soit à l'expiration de l'énergie résiduelle du nœud  $v$ , ou carrément le crash de ce dernier.



Les **Backup** seront formés en fonction de trois paramètres :

- La distance
- L'énergie
- La moyenne (Distance, Energie)

**a. Le paramètre distance :**

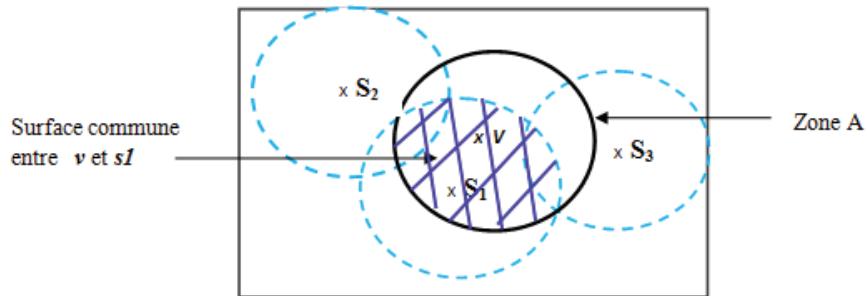


Figure 2.6: Exemple d'un cas de distance

Intuitivement, plus le capteur est proche (en terme de **distance**) de son voisin  $v$ , plus il couvre une bonne surface dans  $A$ , et donc il sera un bon candidat pour continuer à assurer la couverture *partielle* de  $A$  à la place de  $v$  (Figure ci dessus). La collaboration des autres capteurs –proches de  $v$  – peut rendre la surface de  $A$  complètement couverte malgré l'échec de ce dernier.

La notion d'*orbite* est introduite comme étant les trajectoires circulaires équidistantes entre elles et centrées autour de  $v$  (Figure 2.7). L'idée consiste à assembler les capteurs qui appartiennent aux mêmes orbites en un seul backup, de cette manière les capteurs du premier backup couvriront le maximum de surface en  $A$ .

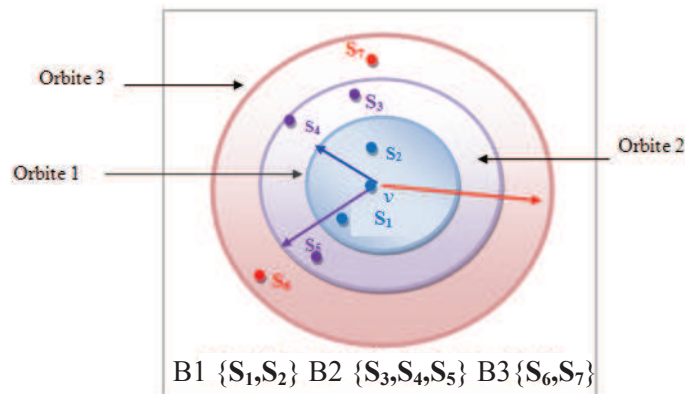


Figure 2.7: Dispersion des capteurs -Cas distance-

**b. Le paramètre énergie :**

On peut avoir le cas où les capteurs (situés en une orbite proche) soient au bout de leurs capacités, pour cela on a pensé à introduire le paramètre énergie. Donc il sera intéressant de récupérer le niveau d'énergie actuel de tous les voisins du nœud  $v$  puis les classer en des **Backups** selon des intervalles d'énergies prédéfinis. De la même manière les backups sont triés dans l'ordre décroissant, le premier élément du backup possède la plus grande énergie résiduelle et donc il assurera la couverture pour une bonne période temps par rapport aux autres.



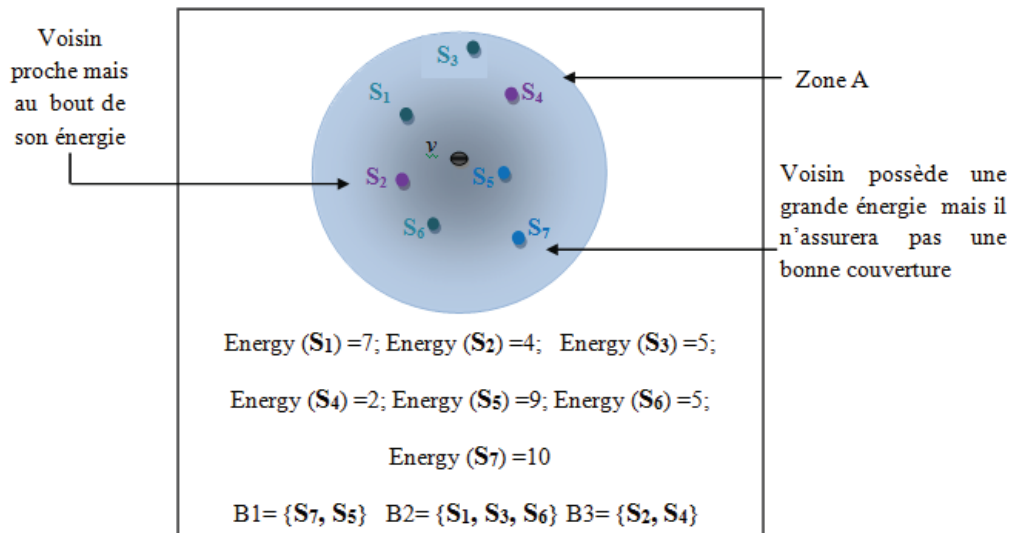


Figure 2.8: Dispersion des capteurs -Cas énergie-

Néanmoins, cette répartition n'assurera pas nécessairement la meilleure couverture, par exemple le capteur S<sub>7</sub> qui possède une bonne énergie (appartient au premier Backup) ne couvre pas une bonne partie de A puisqu'il est trop loin de *v*. Pour cela on a opté pour combiner les deux paramètres distance et énergie.

### c. La moyenne entre la distance et l'énergie :

Pour chaque élément des voisins de *v*, on calcule la moyenne entre son énergie résiduelle et la distance qui le sépare de *v* soit : (Moy\_dist\_enregy(i))

$$\text{Moy\_dist\_energy (i)} = \frac{\text{Distance (S}_i, v) + \text{énergie(S}_i)}{2}$$

Ces moyennes seront triées dans une liste, et le premier **Backup** comportera les valeurs *du milieu* de la liste des moyennes créées précédemment selon des intervalles de moyenne prédéfinie, ses éléments du milieu sont caractérisés par leurs niveaux acceptables d'énergie et leur proximité de *v*.

Les autres **Backups** seront choisis comme le montre l'exemple suivant :

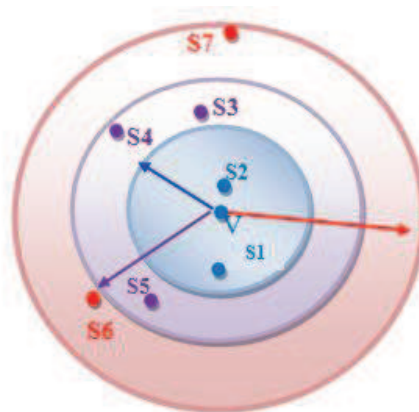


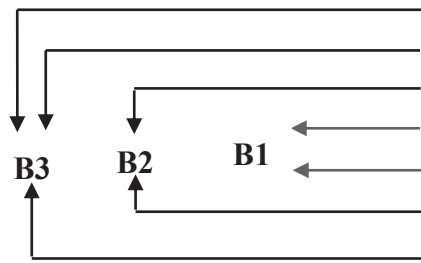
Figure 2.9: Dispersion des capteurs – Cas moyenne –

**Tableau I: la moyenne entre l'énergie et la distance de chaque capteur.**

capteurs (Si)	Energie(Si)	Distance (Si, v)	Moy_dist_energy (i)
S <sub>1</sub>	7	0.75	3.875
S <sub>2</sub>	4	0.25	2.125
S <sub>3</sub>	5	1.25	3.125
S <sub>4</sub>	2	1.75	1.875
S <sub>5</sub>	9	1.5	5.25
S <sub>6</sub>	5	2.25	3.625
S <sub>7</sub>	10	2.75	6.375

**Tableau II: classification des capteurs en Bi selon les moyennes triées.**

Capteurs (Si)	Moy_dist_energy(i) triées
S <sub>4</sub>	1.875
S <sub>2</sub>	2.125
S <sub>3</sub>	3.125
S <sub>6</sub>	3.625
S <sub>1</sub>	3.875
S <sub>5</sub>	5.25
S <sub>7</sub>	6.375



## 2. Phase d'activation de Backup(s) et transitions d'états (Scheduling) :

Une fois le Backups établi (cas moyenne), les nœuds se trouvant dans ce sous ensemble vont être programmés pour basculer entre l'état sleep et actif via un mécanisme de scheduling particulier qui est le suivant :

### a. Scheduling du premier ensemble de secours Bi :

Au départ, le nœud  $v$  surveille la zone A continuellement, tous les nœuds de tous les Bi ( $i \geq 1$ ) sont à l'état sleep (en veille) mis à part le premier élément du B1 (premierB1). Celui-ci se réveille périodiquement pour vérifier si  $v$  est toujours en vie (i.e si sa zone est toujours couverte). Trois cas se présentent :

- (premierB1) reçoit une réponse de la part de  $v$  que l'énergie de  $v$  est supérieure à un certain seuil ( $\text{Energy}(v) > \text{EnergySeuil}$ ), donc (premierB1) se met à l'état sleep pour une certaine période puis il se réveille pour vérifier encore une fois la présence de  $v$  et ainsi de suite.
- (premierB1) reçoit une réponse de la part de  $v$  que l'énergie de  $v$  est inférieure à un certain seuil ( $\text{Energy}(v) \leq \text{EnergySeuil}$ ) ou ne reçoit pas une réponse, donc (premierB1) se met à l'état actif et mobilise les nœuds de son Backup pour devenir actifs.

### b. Scheduling des autres Bi ( $i \geq 2$ ):

De la même manière le premier élément du Bi ( $i \geq 2$ ) vérifie périodiquement l'état du premier  $B_{i-1}$  comme il a été décrit dans la partie précédente.

**II.4.2 DCP: Dynamic Distributed Coverage Preserving Protocol**  
[FIB13]:

DCP comme son nom l'indique est un protocole de couverture dynamique, distribué préserveur d'énergie dans un réseau de capteurs, basé sur des ensembles s'occupant de la surveillance des nœuds de captages dont l'unique tâche est de récolter l'information et l'envoyer à la station de base.

On considérons un réseau de capteurs composé de trois sous ensembles : un ensemble de nœuds surveillants, un ensemble de nœuds BackupSurveillants (surveillant de surveillant) et un ensemble de nœuds BackupCapteurs (remplaçant des capteurs actifs après leurs morts).

Le protocole DCP est basé sur la réalisation d'un **scheduler** où chaque nœud de l'ensemble des capteurs surveillants  $S(i)$  détermine localement de manière **distribuée** et grâce aux échanges de messages périodiques l'état du nœud de captage  $v$  (Actif / Crash) ainsi que les moments d'exécution de la procédure **dynamique distribuée** d'élection de BackupCapteurs pouvant remplacer celui en panne.

La tâche de l'ensemble des BackupSurveillants  $BS(i)$ , qui représentent le deuxième niveau de surveillance, consiste à la vérification d'état de l'ensemble des nœuds surveillants et de s'assurer qu'ils sont toujours fonctionnels. Dans le cas où l'un des surveillants tombe en panne, son surveillant prend la relève afin d'assurer la continuité des tâches de ce dernier. Ceci nous permettra d'assurer la surveillance à deux niveaux.

Le protocole DCP fonction en deux phases :

1. Phase construction des Surveillants et BackupSurveillants.
2. Phase élection et activation des BackupCapteurs.

**1. Phase Construction des Surveillants et BackupSurveillants:**

Rappelons que l'une des conséquences de la densité d'un réseau de capteurs est la redondance des nœuds sur la zone surveillée. Pour cela, on a exploité cette propriété afin de construire **dynamiquement** et de manière **distribuée** l'ensemble des nœuds surveillants ainsi que leur Backup surveillants.

Afin de construire l'ensemble des surveillants  $S(i)$  et  $BS(i)$ , on considère dans la figure 2.10,  $A$  la zone à surveiller,  $V(i) = \{i | 1, 2, \dots, N\}$  l'ensemble des nœuds déployés dans cette zone et  $v$  le nœud de captage initial.

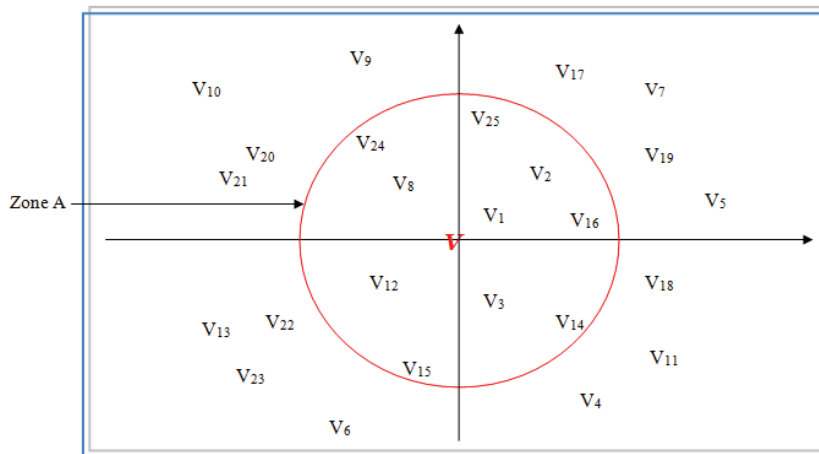


Figure 2.10: Exemple illustratif d'un réseau de capteurs

La construction des S(i) et des BS(i) se fera suivant trois paramètres:

- La position
- La distance
- L'énergie

**a. Le paramètre position :**

Tout d'abord  $v$  énumère ses voisins de communication à un saut, et les classe selon leur position en des sous ensembles appelés *voisins de communication du quart (i)* noté *Voisincomquart (i)*, où  $i$  est le numéro du quart ( $i = 1..4$ ). Cela est réalisé grâce aux coordonnées  $x$  et  $y$  de chaque nœud.

Dans l'exemple ci-dessus (figure 2.10), pour chaque quart, nous aurons l'ensemble suivant :

- *Voisincomquart (1)* = {V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>5</sub>, V<sub>7</sub>, V<sub>16</sub>, V<sub>17</sub>, V<sub>19</sub>, V<sub>25</sub>}
- *Voisincomquart (2)* = {V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>11</sub>, V<sub>14</sub>, V<sub>18</sub>}
- *Voisincomquart (3)* = {V<sub>6</sub>, V<sub>12</sub>, V<sub>13</sub>, V<sub>15</sub>, V<sub>22</sub>, V<sub>23</sub>}
- *Voisincomquart (4)* = {V<sub>8</sub>, V<sub>9</sub>, V<sub>10</sub>, V<sub>20</sub>, V<sub>21</sub>, V<sub>24</sub>}

**b. Le paramètre distance :**

Rappelons que, plus le capteur est proche (en terme de **distance**) du capteur  $v$ , plus il couvre une bonne surface dans la zone A à surveiller, et donc il sera un bon candidat pour continuer à assurer la couverture *partielle* de A à la place de  $v$ , *i.e.* que les nœuds les plus proches du nœud de captage  $v$  (nœuds appartenant au rayon de captage) sont plus prioritaires d'être des nœuds capteurs remplaçants que des nœuds surveillants ou backup surveillants. On a introduit dans ce cas, le paramètre distance. L'idée consiste à choisir parmi les ensembles construits ci-dessus (*Voisincomquart (i)* de  $v$ ) les nœuds appartenant au rayon de communication (R<sub>c</sub>) *mais* qui n'appartiennent pas au rayon de captage (R<sub>s</sub>) pour être surveillant S(i) et backup surveillants BS(i). Cette propriété de distance assure la connectivité entre le nœud de captage, son surveillant et son backup surveillant.

Ainsi selon la figure 2.10, pour chaque quart, nous aurons les ensembles suivants :

- *Voisinquart (1)* = {V<sub>7</sub>, V<sub>5</sub>, V<sub>19</sub>, V<sub>17</sub>}
- *Voisinquart (2)* = {V<sub>11</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>18</sub>}
- *Voisinquart (3)* = {V<sub>6</sub>, V<sub>13</sub>, V<sub>22</sub>, V<sub>23</sub>}
- *Voisinquart (4)* = {V<sub>9</sub>, V<sub>10</sub>, V<sub>20</sub>, V<sub>21</sub>}

Notons que les éléments de chaque ensemble sont triés par ordre décroissant selon leur distance par rapport à  $v$ . De cette manière, le premier élément de chaque ensemble sera l'élément le plus lointain de  $v$  dans son quart.

**c. Le paramètre énergie :**

On pouvons avoir le cas où les capteurs choisis soient au bout de leurs capacités, alors qu'il peut y en avoir d'autres dans les mêmes ensembles avec plus d'énergie, pour cela on a pensé à introduire le paramètre énergie où il sera plus intéressant de récupérer le niveau d'énergie résiduelle actuelle de tous les nœuds des ensembles *Voisinquart (i)* cités ci-dessus puis les classer en ordre décroissant selon leurs énergies.

Ce paramètre a été introduit afin de réaliser un *compromis* entre la distance et l'énergie de chaque nœud surveillant S(i) et BackupSurveillant BS(i).

Ainsi, les ensembles *Voisinquart (i)* triés (selon leurs énergies) deviennent :

- **Voisinquant (1)** = {V<sub>5</sub>, V<sub>7</sub>, V<sub>19</sub>, V<sub>17</sub>}
- **Voisinquant (2)** = {V<sub>11</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>18</sub>}
- **Voisinquant (3)** = {V<sub>13</sub>, V<sub>23</sub>, V<sub>22</sub>, V<sub>6</sub>}
- **Voisinquant (4)** = {V<sub>20</sub>, V<sub>10</sub>, V<sub>9</sub>, V<sub>21</sub>}

Afin de construire les ensembles Surveillants et BackupSurveillant, on choisira le premier élément de chaque ensemble **Voisinquant (i)** comme surveillant dans son quart et le deuxième comme backupsurveillant. À la fin de cette phase, on aura les ensembles suivants :

- **S(i)** = {V<sub>5</sub>, V<sub>11</sub>, V<sub>13</sub>, V<sub>20</sub>}
- **BS(i)** = {V<sub>7</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>23</sub>, V<sub>10</sub>}

Chaque élément de ces ensembles est caractérisé par les deux critères de **distance et d'énergie** :

- Chaque élément appartient au rayon de communication (R<sub>c</sub>) **mais** n'appartient pas au rayon de captage (R<sub>s</sub>).
- Chaque élément a une énergie résiduelle acceptable pour pouvoir assurer la surveillance du nœud de captage *v* jusqu'à sa mort.

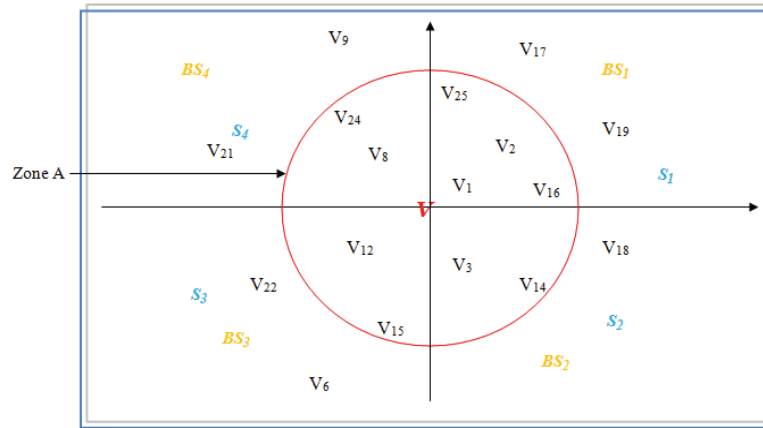


Figure 2.11: Exemple d'un réseau de capteurs après construction des S(i) et BS(i)

### • Détection des pannes :

Après la sélection des ensembles de surveillants et BackupSurveillants, tous les nœuds du réseau sont à l'état 'Sleep' sauf les capteurs *v*, s'occupant de la collecte d'informations, qui est en état 'Actif' et l'ensemble de ses Surveillants et BackupSurveillant se mettent en 'Actif' en Round Robin (travaillant à tour de rôle) afin de bien effectuer leurs tâches de surveillance tout en minimisant la consommation de leur énergie.

Sachant que pour chaque nœud surveillant, il existe un nœud BackupSurveillant qui assure que ce dernier (le surveillant) n'a subi aucune panne. À chaque fois qu'un nœud *v* (responsable de captage) est en état Actif, le travail de ses surveillants se fait comme suit :

- Le premier nœud surveillant ainsi que son Backup (appartenant au 1<sup>er</sup> quart) se met à l'état 'Actif', pendant un temps *t*, afin de s'assurer que *v* est toujours vivant en s'échangeant des messages périodiques (chaque *t/2*) avec lui, contenant le seuil d'énergie de ce dernier. Tandis que les autres nœuds de l'ensemble surveillants **S(i)** et l'ensemble BackupSurveillants **BS(i)** se mettent à l'état 'Sleep'.

À cette étape on distingue trois cas possibles :

- ✓ Le cas où le BackupSurveillant reçoit un message du surveillant, chaque *t = t/2*, pendant son activation, ceci veut dire que le surveillant est toujours en vie.
- ✓ Le cas où le BackupSurveillant ne reçoit pas de message du surveillant, chaque *t = t/2*, pendant son activation, cela veut dire que le surveillant ne fonctionne

plus, dans ce cas son BackupSurveillant prend directement la relève en se déclarant en tant que surveillant. Ce dernier (BackupSurveillant) assurera la surveillance à la place du surveillant par échange périodique de messages de vérification d'état avec le nœud de captage  $v$ .

- ✓ Le cas où le surveillant (ou BackupSurveillant) ne reçoit pas de réponse du nœud de captage  $v$ , cela veut dire que ce dernier (le nœud  $v$ ) ne fonctionne plus, et donc les autres nœuds de l'ensemble des surveillants se mettent en état « Actif » et déclenchent automatiquement la procédure d'élection de BackupCapteurs  $BC(i)$  qui va être détaillée dans la deuxième phase.

- Après que le temps  $t$  soit écoulé, le second nœud surveillant ainsi que son Backup (appartenant au 2<sup>e</sup> quart) se met en état 'Actif' pendant un temps  $t$  et commence leur tâche de surveillance durant toute cette période, tandis que les autres nœuds se mettent en état 'Sleep'.

Ainsi de suite pour les surveillants et BackupSurveillant appartenant au 3<sup>eme</sup> quart et 4<sup>eme</sup> quart.

## **2. Phase Election et activation des BackupCapteurs:**

Dans cette phase on a deux niveaux, le premier au niveau du capteur  $v$ , et le deuxième au niveau du BackupCapteur choisi.

- 1<sup>er</sup> Niveau :

Dans le cas où  $v$  tombe en panne ou que son énergie atteint le seuil minimal, l'ensemble des  $S(i)$  sera mené à choisir d'autres nœuds afin de le remplacer. Pour cela, chaque surveillant choisira, parmi les voisins de captage de  $v$  et ceux appartenant à son quart, le nœud qui a le maximum d'énergie et l'élira comme « BackupCapteur » de son quart.

- 2<sup>e</sup> Niveau :

Après l'activation des « BackupCapteurs », chacun choisira un nœud  $S(i)$  et un autre  $BS(i)$  appartenant à son quart selon les mêmes critères de la première phase (*Distance* et *Energie*).

Les deux nouveaux ensembles  $S(i)$  et  $BS(i)$  commenceront leur travail (première phase du protocole). Chaque  $S(i)$  et  $BS(i)$  travaillera avec son  $BC(i)$  en le considérant comme nœud initial tout en lui envoyant des messages périodiques à chaque instant  $t$ .

Dès qu'un surveillant détecte que l'énergie de son  $BC(i)$  a atteint le seuil min, il fera appel à la procédure d'élection de BackupCapteur et en choisira un remplaçant (la deuxième phase).

Ce nouveau  $BC(i)$  s'activera, prendra la place de celui en panne et commencera son travail comme pour le premier  $BC(i)$  et ainsi de suite pour chaque  $BC(i)$  qui tombera en panne.

## **II.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons vu que le critère de couverture était un élément indispensable dans les réseaux de capteurs sans fils.

Cela a donné lieu à de nombreuses recherches concernant ce dernier, qui ont abouties à la création de protocoles pouvant restaurer la couverture, minimiser la consommation d'énergie du réseau, et augmenter la durée de vie du réseau.

Dans le chapitre suivant nous allons concevoir une plateforme de surveillance, qui nous permettra de visualiser le déploiement des capteurs, l'énergie résiduelle et la couverture du réseau de capteurs en temps réel, simuler des tests avec quelques protocoles et récupérer les résultats des tests enregistrés pour d'éventuelles comparaisons.

## **Chapitre III: Conception et modélisation**

# **Chapitre III Conception et modélisation:**

## **III.1 Introduction :**

Les chapitres précédents nous ont permis de connaître les capteurs et leurs spécifications, les réseaux de capteurs, leurs architectures et leurs différents domaines d'utilisation, et le recouvrement dans les réseaux de capteurs sans fils.

Dans ce chapitre nous allons prendre connaissance des détails de notre application, de ses fonctionnalités, et de son fonctionnement.

Pour la conception de cette application, nous avons choisi l'outil « UML » pour exprimer les besoins des clients et décrire la solution proposée.

## **III.2 Le langage de modélisation UML : [UML2014]**

### *III.2.1 Définition :*

UML ( Unified Modeling Language ou « langage de modélisation unifié ») est un langage de modélisation graphique. Il est apparu dans le monde du génie logiciel, dans le cadre de la « conception orientée objet ». Couramment utilisé dans les projets logiciels, il peut être appliqué à toutes sortes de systèmes ne se limitant pas au domaine informatique, et peut représenter l'activité d'un objet/logiciel, des acteurs, un processus, un schéma de base de données, des composants logiciels, et bien plus encore.

### *III.2.2 Analyse des besoins :*

#### **III.2.2.1 Définition :**

Appelée aussi phase de spécification, elle sert à analyser les besoins de l'utilisateur et à définir ce qui devra être fait à travers des schémas et des descriptions textuelles. Le cas d'utilisation (Use case) est un outil clé pour analyser et exprimer clairement les besoins.

Après étude et analyse des besoins, nous avons conclu que notre application devra répondre aux besoins suivants :

Visualisation du réseau de capteurs à travers une simulation de test, donner des informations sur les capteurs, agir sur les pannes du réseau, et consulter les résultats des simulations.

#### **III.2.2.2 Diagramme de cas d'utilisation :**

##### **III.2.2.2.1 Définition :**

Le Use case est un diagramme qui est utilisé dans la phase d'analyse des besoins pour :

- Recueillir, analyser et organiser les besoins
- Recenser les fonctionnalités du système.
- Décrire le comportement sous forme d'action.
- Définir les relations entre le système et l'environnement.



**III.2.2.2.2 Définition des acteurs du système :**

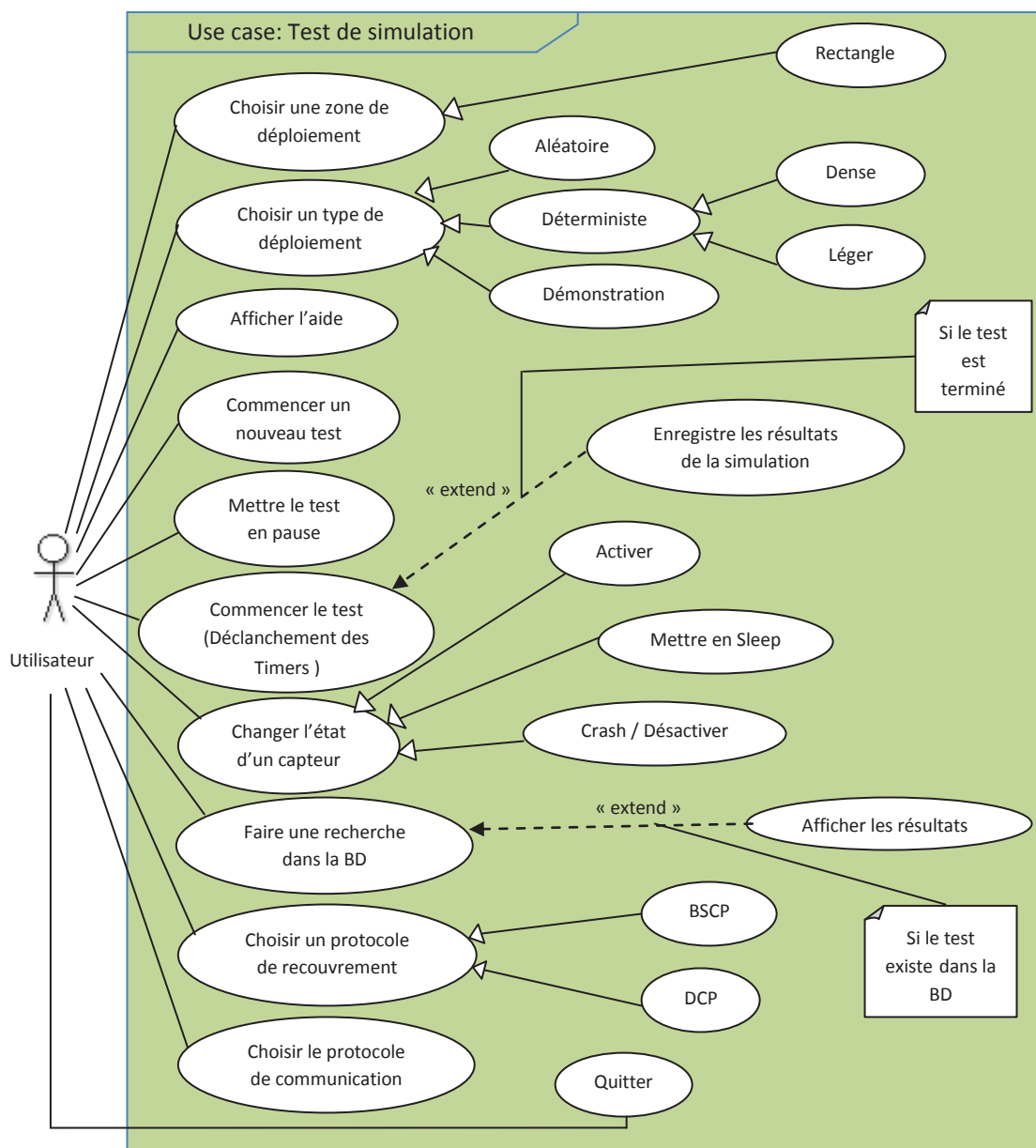
Les acteurs qui interagissent avec le système sont :

- L'utilisateur de l'application
- Le Timer responsable de la gestion du réseau.

**III.2.2.2.3 Identification des cas d'utilisation**

Une fois que les acteurs qui interagissent avec le système sont définis, nous allons spécifier les différents scénarios d'utilisation:

a- Diagramme de cas d'utilisation N° 1 : description générale d'une simulation :



### Chapitre III Conception et modélisation:

#### *Description du diagramme N°1*

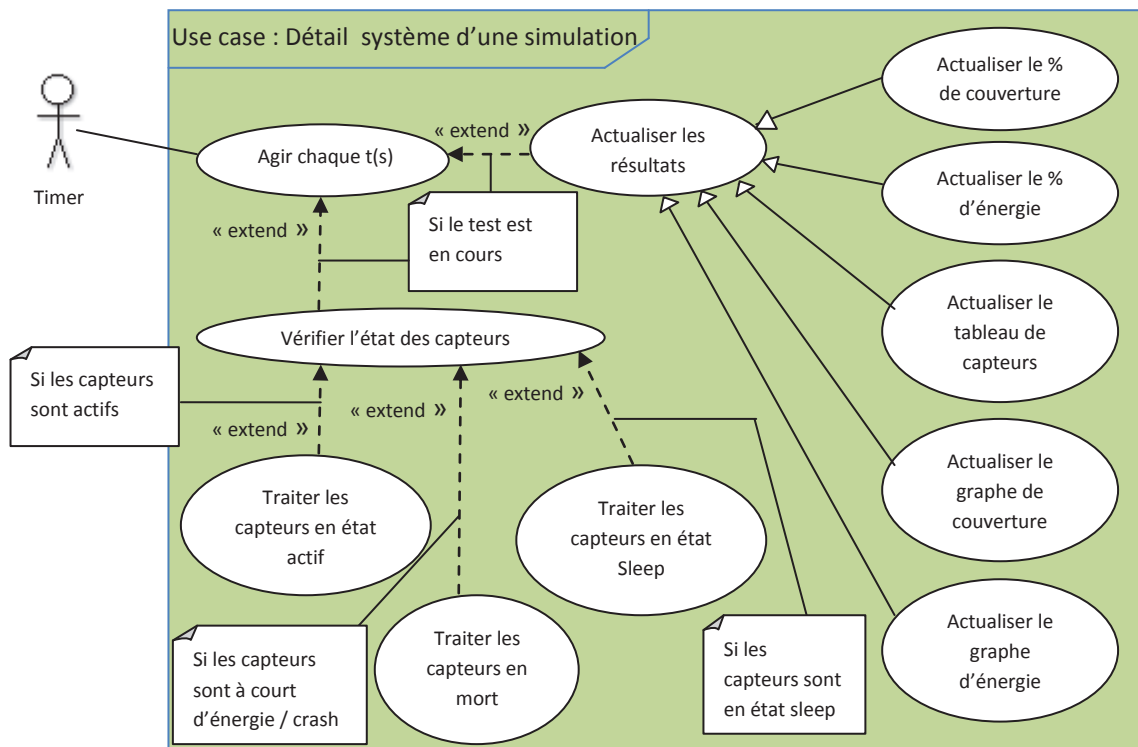
**Auteur :** Tout utilisateur.

**Objectif :** simuler un test d'application

**Scénarios :**

- 1- L'utilisateur choisit une zone de déploiement.
- 2- L'utilisateur choisit un type de déploiement.
- 3- L'utilisateur choisit un protocole de recouvrement ou pas.
- 4- L'utilisateur lance le test de simulation.
- 5- L'utilisateur peut lancer le protocole de communication ou pas.
- 6- L'utilisateur peut changer l'état des capteurs ou pas.
- 7- L'utilisateur peut sauvegarder les résultats du test ou pas.
- 8- L'utilisateur peut lancer une nouvelle simulation à la fin du test.
- 9- L'utilisateur peut quitter l'application.

b- Diagramme de cas d'utilisation N° 2 : Détails système d'une simulation :



#### *Description du diagramme N°2*

**Auteur :** Timer.

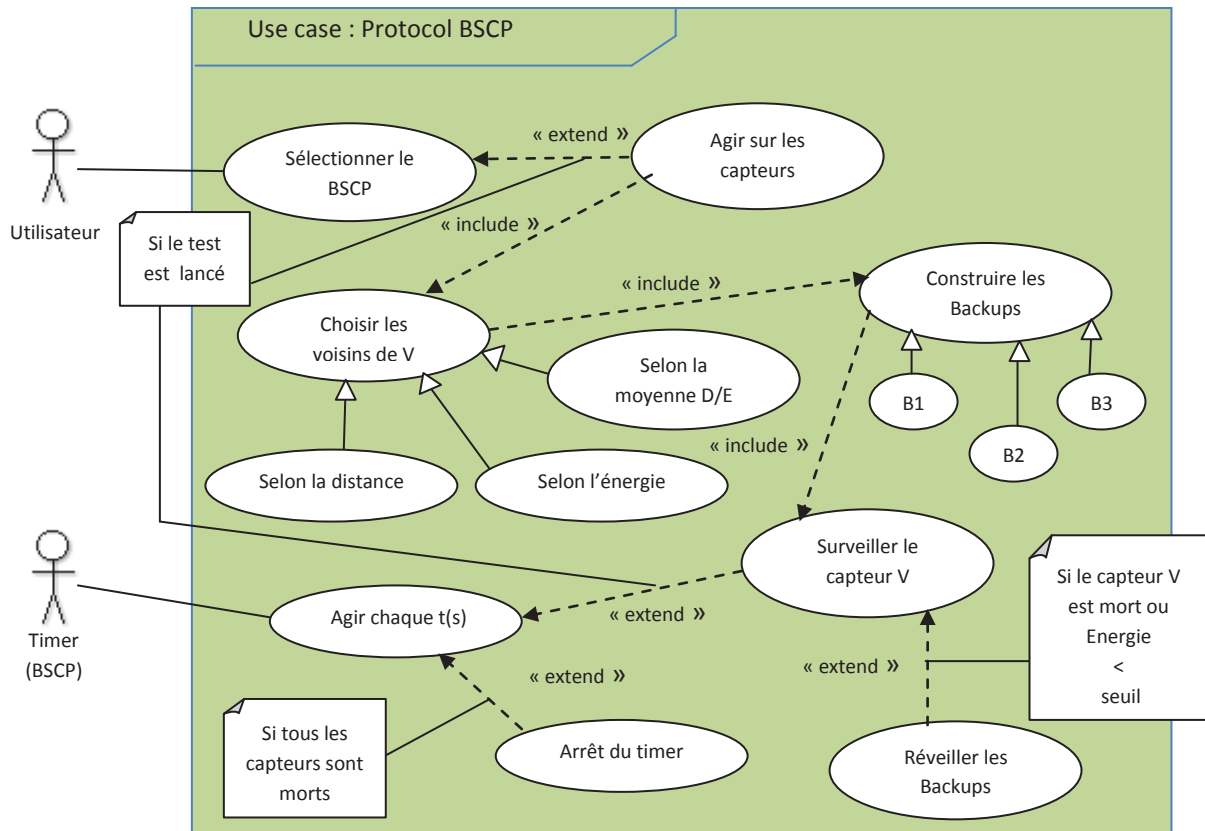
**Objectif :** Montrer comment le « Timer » gère les capteurs.

**Scénarios :**

- 1- Le Timer travail chaque seconde :
  - a- Actualiser les résultats **Si** le test est en cours.
  - b- Vérifier l'état des capteurs **Si** le test est en cours :
    - Si** les capteurs sont actifs traitement particulier pour l'état actif.
    - Si** les capteurs sont Sleep traitement particulier pour l'état Sleep.
    - Si** les capteurs sont à court d'énergie ou Crash, traitement particulier.

### Chapitre III Conception et modélisation:

#### c- Diagramme de cas d'utilisation N° 3 : Protocole BSCP :



#### *Description du diagramme N°3*

**Auteur :** Tout utilisateur, Timer.

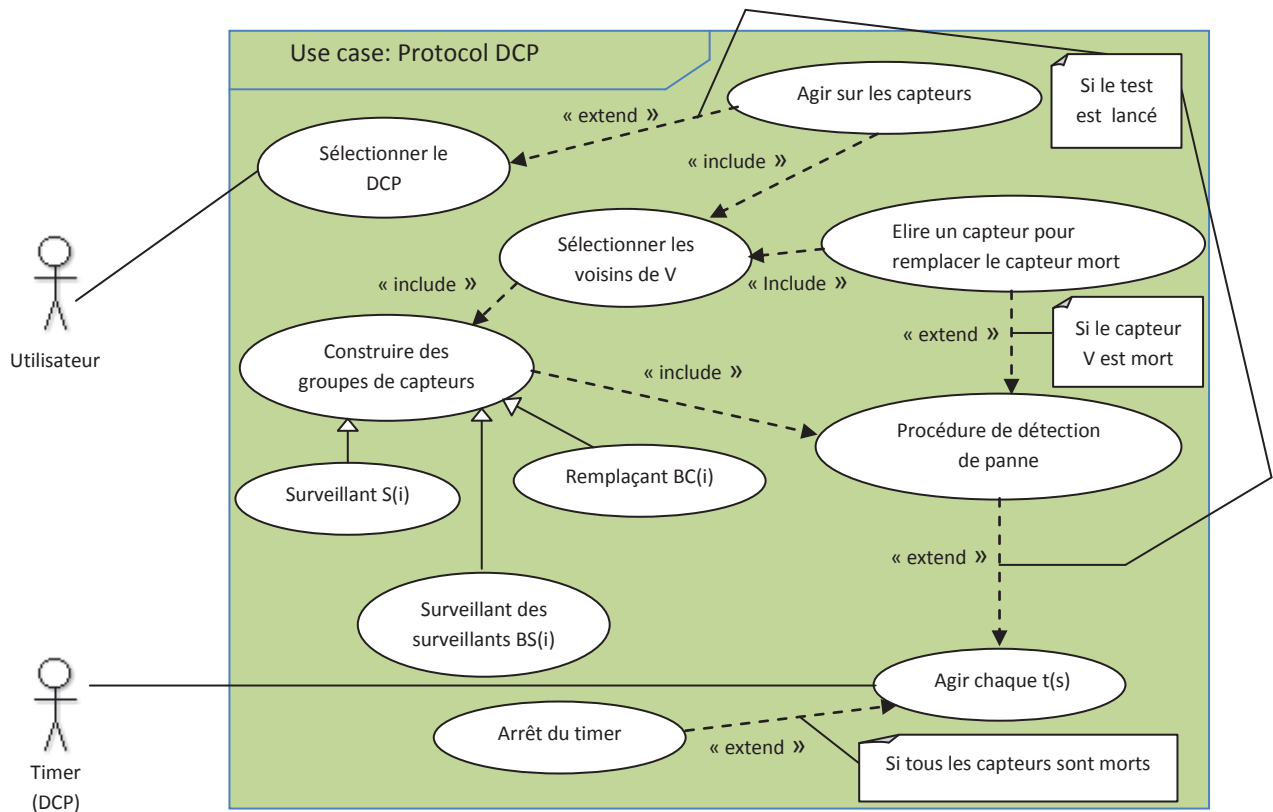
**Objectif :** Montrer le fonctionnement du BSCP.

**Scénarios :**

- 1- L'utilisateur sélectionne le protocole BSCP.
- 2- **Si** le test de simulation est en cours :
  - a- Agir sur les capteurs.
  - b- Choisir les voisins de V.
  - c- Construire les Backups.
  - d- Surveiller le capteur V.
  - e- Le Timer agit chaque t(s) : Lance la procédure de surveillance chaque période t(s).
    - Si** V est mort réveiller les Backups
    - Si** tous les capteurs sont morts arrêt du Timer.

### Chapitre III Conception et modélisation:

#### d- Diagramme de cas d'utilisation N° 4 : Protocole DCP :



#### Description du diagramme N°4

**Auteur :** Tout utilisateur, Timer.

**Objectif :** Montrer le fonctionnement du DCP.

**Scénarios :**

1- L'utilisateur sélectionne le protocole DCP.

2- Si le test de simulation est en cours :

a- Agir sur les capteurs.

b- Sélectionner les voisins de V.

c- Construire les groupes de capteurs.

d- Procédure de détection de panne.

e- Le Timer agit chaque t(s) : Lance la procédure de détection de pannes

Si V est mort élire un capteur remplaçant, et refaire les étapes de 'a' jusqu'à la e.

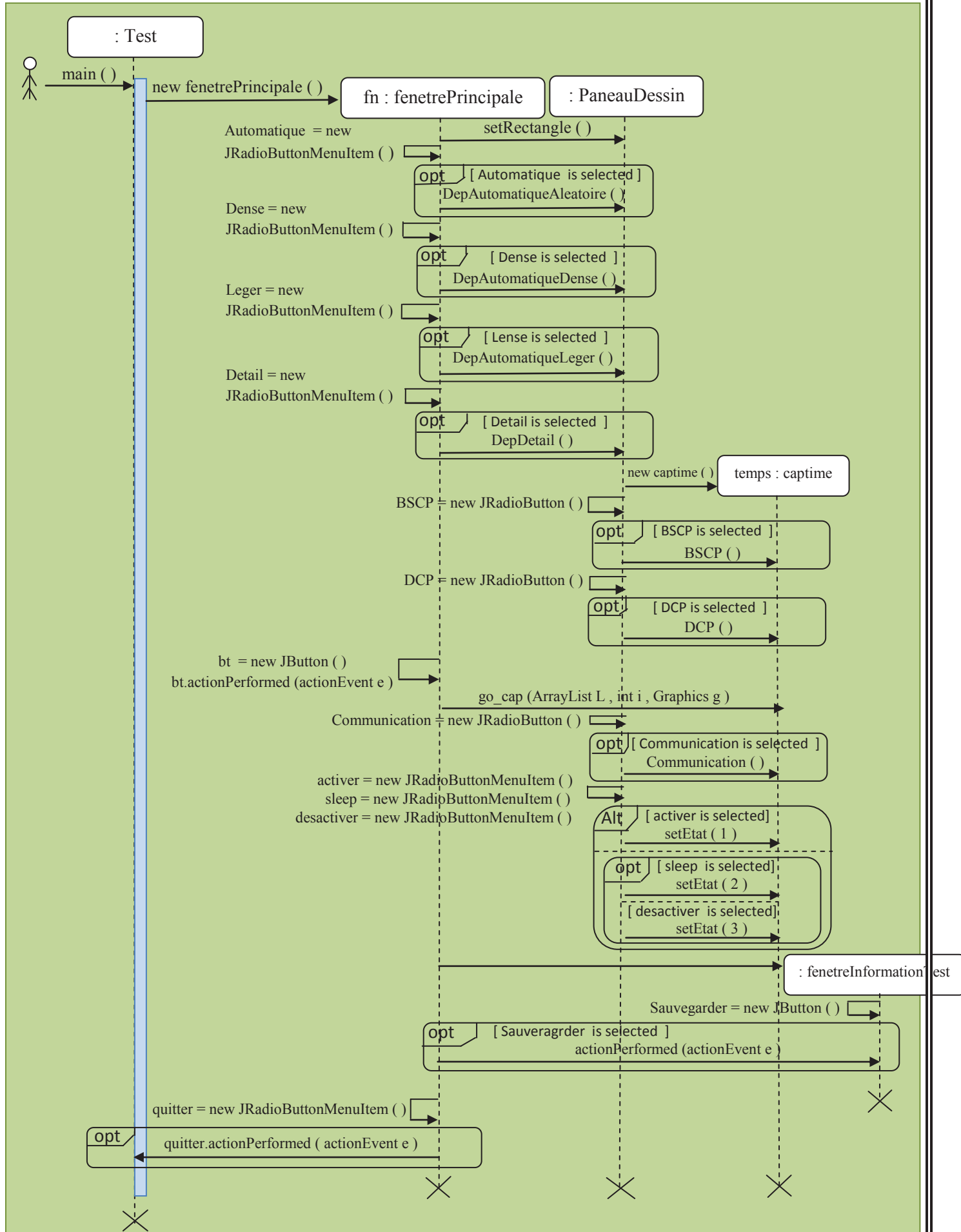
Si tous les capteurs sont morts arrêt du Timer.

#### III.2.2.3 Diagramme de séquence :

Le diagramme de séquence est la représentation séquentielle du déroulement des traitements et des interactions entre les éléments du système et/ou de ses acteurs.

Suite aux descriptions textuelles des cas d'utilisation, le scénario général peut être représenté en utilisant un diagramme de séquences.

### Chapitre III Conception et modélisation:

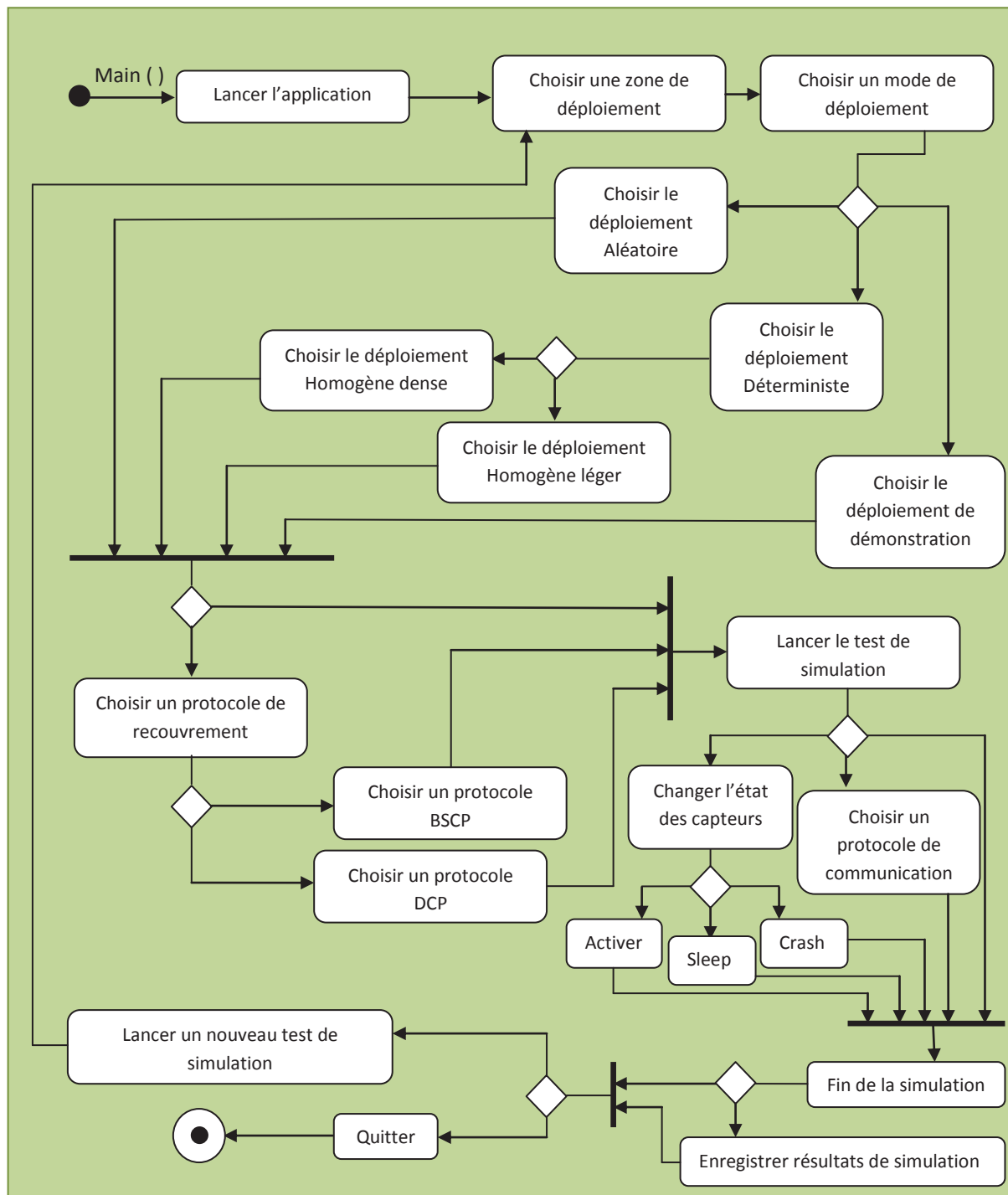


III.2.2.4 Diagramme d'activité :

Le diagramme d'activité représente la dynamique du système. Il montre l'enchaînement des activités d'un système ou même d'une opération.

Le diagramme d'activité permet de modéliser le comportement interne, d'une classe, d'un cas d'utilisation ou d'une opération sous forme d'une succession d'actions, et il est le plus approprié pour modéliser la dynamique d'une tâche.

Nous allons modéliser le cas d'utilisation de la description générale d'une simulation :



#### III.2.2.5 Schéma relationnel :

Le schéma relationnel permet de structurer les données pour les stocker dans un SGBD (système de gestion de la base de données) et les récupérer quand on veut.

Nos données sont stockées dans la table suivante :

resultat ( ID\_Test , Date\_Test , Heure\_Test, Pourcentage\_Max\_Coverage , Temps\_Max\_Coverage, Pourcentage\_Max\_Energie , Temps\_Max\_Energie , Nombre\_Capteurs , Temps\_Test , Scheduler\_utilise , Deploiement\_utilise )

- ID\_Test : Permettra de référencier chaque simulation par un identifiant unique.
- Date\_Test : Nous renseignera sur la date de la simulation.
- Heure\_Test : Nous renseignera sur l'heure de la simulation.
- Pourcentage\_Max\_Coverage : Nous donnera le pourcentage maximum de la couverture lors de la simulation.
- Temps\_Max\_Coverage : correspondra au temps où l'énergie est à son maximum.
- Pourcentage\_Max\_Energie : Nous donnera le pourcentage maximum de l'énergie lors de la simulation.
- Temps\_Max\_Energie : correspondra au temps où la couverture est à son maximum.
- Nombre\_Capteurs : Correspond au nombre de capteurs pour chaque simulation.
- Temps\_Test : Nous précise la durée de la simulation.
- Scheduler\_utilise : Nous renseignera sur le protocole de recouvrement utilisé.
- Déploiement\_utilise : Nous renseignera sur le déploiement utilisé.

## III.2 Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons vu la partie conception de l'application qui a mené à la mise en place des différents diagrammes expliquant le fonctionnement et la structure de notre application. Nous avons aussi mis en avant les outils qu'on a utilisé pour réaliser notre application.

Le chapitre suivant nous fera état de quelques résultats de simulations réalisées, de comparaisons entre le protocole BSCP et le protocole DCP, d'une description de tous les déploiements, et du protocole de communication.

## **Chapitre IV : Implémentation**



# **Chapitre IV : Implémentation**

## **IV.1 Introduction :**

Dans ce chapitre nous allons évaluer les performances de notre application, pour cela nous procéderons à des tests de simulations en la présence de plusieurs paramètres. Nous comparerons aussi les deux protocoles réalisés.

Avant de présenter les résultats des simulations, nous allons introduire l'environnement de développement, outils que nous avons utilisés, paramètres de simulation, et les métriques à mesurer avec cette simulation.

## **IV.2 Environnement et outils de développement :**

### *IV.2.1 Java [ORA2014]:*

Le langage **Java** est un langage de programmation informatique orienté objet créé par la société Sun (actuellement propriété d'Oracle) et présenté officiellement le 23 mai 1995.

Nous avons choisi Java (version JAVA7 Update 51) pour son langage orienté objet simple (par rapport au C++), pour son efficacité et sa capacité à créer des applications réseaux, du contenu Web, et même des applications mobiles et imbriquées. Cependant ce qui a vraiment déterminer notre choix c'est sa popularité et sa portabilité sur plusieurs systèmes d'exploitation, avec peu ou pas de modifications grâce aux diverses plateformes et frameworks.

### *IV.2.2 Eclipse [ECL14]:*

Eclipse est un logiciel Open source visant à concevoir et réaliser des logiciels libres avec différents langages de programmations. Il offre une multitude d'outils, d'environnements de programmations intégrés, des frameworks, et même un AGL (Atelier Génie Logiciel) offrant modélisation, conception, testing, gestion de configuration et bien plus encore.

Notre choix s'est porté naturellement sur Eclipse (Version: Juno Service Release 1) pour sa gratuité et sa très bonne performance avec Java (avec le JRE pour compiler le code source).

### *IV.2.3 MySql[SQL14] :*

MySql est un système de gestion de base de données relationnelle (SGBDR). Il fonctionne sur plusieurs systèmes d'exploitation, et compatible avec de nombreux langages de programmations, il dispose d'une version Open Source distribuée avec des produits libres.

Nous avons travaillé avec Mysql (Version: MySql 5.5.20) pour sa simplicité et sa fiabilité avec Java (grâce au pilote JDBC).

## IV .3 Implémentation :

### IV .3.1 Présentation de l'interface principale :

L'interface principale de notre application est constituée de cinq sections très importantes comme le montre la figure suivante :

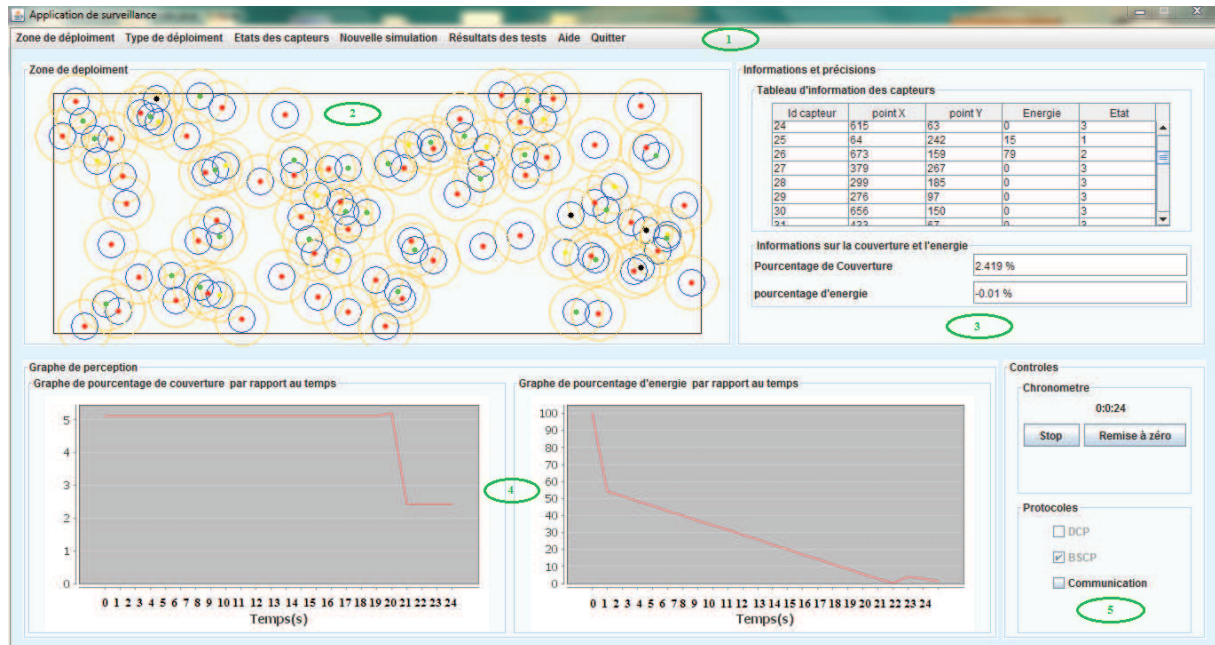
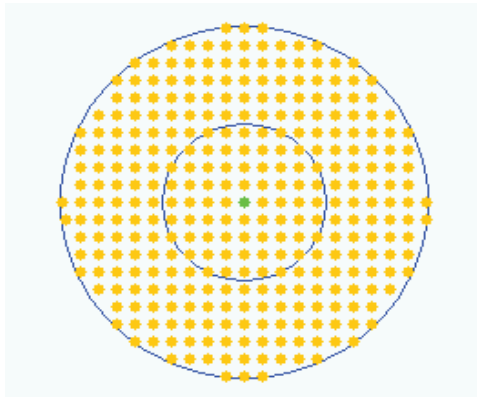


Figure 4.1 : Interface principale de l'application

- 1- La barre de menu : grâce à laquelle on peut choisir la zone de déploiement (Rectangle), le type de déploiement (Déterministe dense, Déterministe léger, Aléatoire et Détailler), changer l'état des capteurs (Actif, Sleep, Inactif), lancer une nouvelle simulation, consulter la base de données pour voir les résultats des anciennes simulations, consulter l'aide de l'application pour avoir des détails sur l'application, et quitter l'application.
- 2- La zone de déploiement : nous permet de visualiser le déploiement des capteurs dans la zone, leurs états, et leurs comportements.
- 3- La section informations et précisions : nous apporte des précisions sur la localisation des capteurs, leurs énergies, leurs états en temps réel, tout comme le pourcentage de couverture et d'énergie du réseau en temps réel.
- 4- Graphe de perception : il contient deux graphes :  
Le premier nous permet de connaître et de suivre le pourcentage de couverture du réseau, en calculant chaque seconde la couverture de tout le réseau.  
Le deuxième graphe nous permet de connaître et de suivre le pourcentage d'énergie du réseau, en calculant chaque seconde de tout le réseau.
- 5- La section contrôles : contient deux parties :  
La première permet de contrôler la simulation (débuter le test ou le mettre en pause).  
La deuxième permet de lancer des protocoles tels que le recouvrement (DCP et BSCP) et le protocole de communication, qui montre les échanges d'informations possibles entre les capteurs.

IV.3.2 Simulation d'un cas de déploiement détaillé sans protocole :

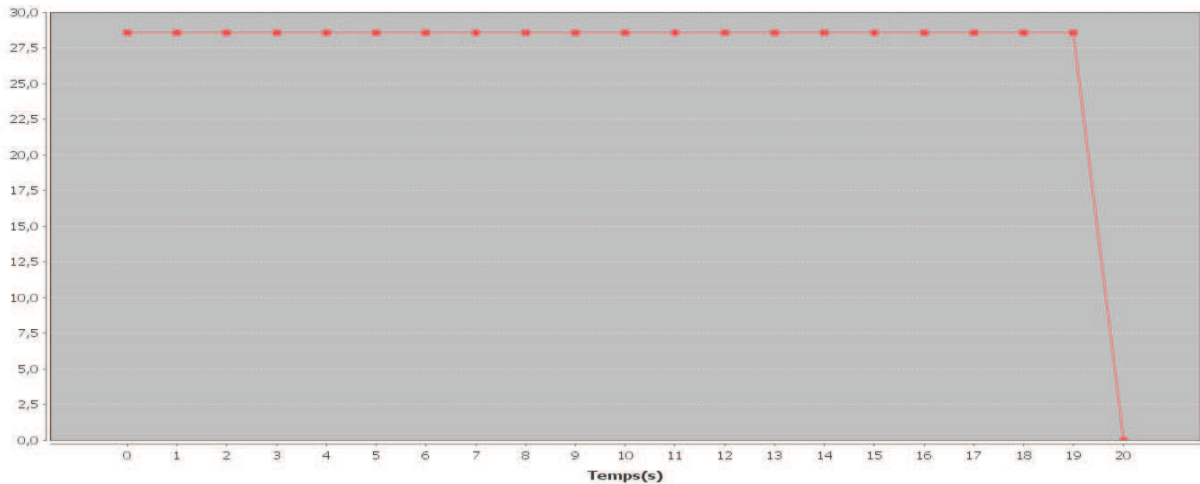


Cette simulation nous permet de voir le comportement d'un capteur avec ses voisins. Comme nous pouvons voir le capteur se compose de deux zones principales qui sont le rayon de surveillance (le petit cercle bleu), qui s'occupe de relever les informations de l'environnement, et le rayon de communication (le grand cercle bleu) qui s'occupe de transmettre les informations récoltées au centre de traitement.

Figure 4.2 : Déploiement détaillé sans protocole

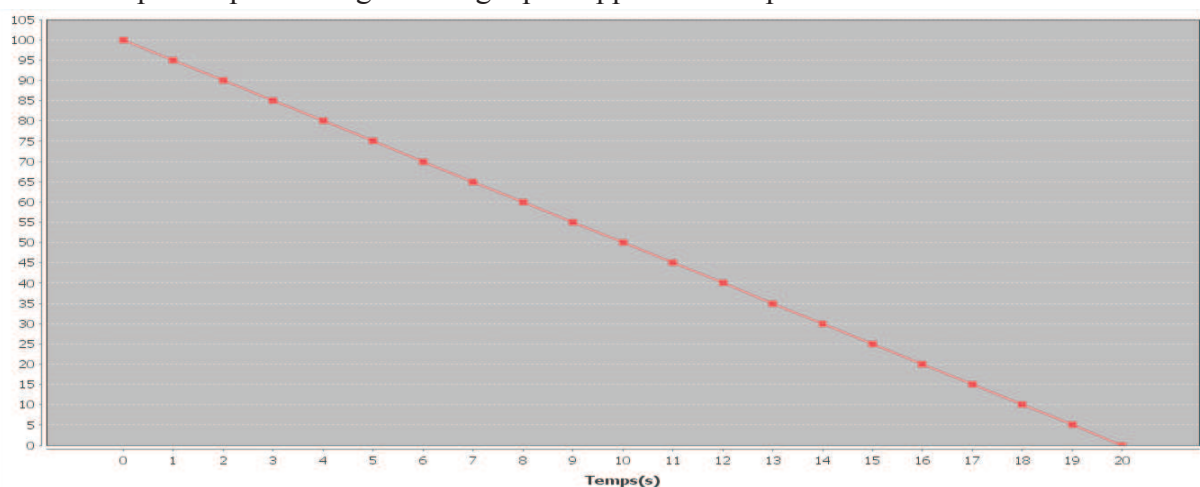
Les résultats obtenus :

- Graphe de pourcentage de couverture par rapport au temps:



Nous remarquons que le pourcentage de couverture est constant jusqu'à  $t = 19s$ , car tous les capteurs sont actifs (le capteur principale en vert et ses voisins), du fait qu'il n'y ait pas de protocoles de recouvrement mis en place. Puis à  $t = 20s$  les capteurs sont morts.

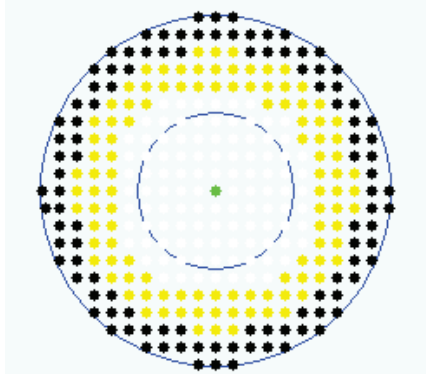
- Graphe de pourcentage d'énergie par rapport au temps:



Nous pouvons constater que l'énergie est constamment en baisse jusqu'à la mort du réseau à  $t = 20s$ , car il n'y a pas de protocole qui gère la conservation d'énergie.

*IV .3.3 Simulation d'un cas de déploiement détaillé avec protocole :*

*IV .3.3.1 Cas BSCP :*

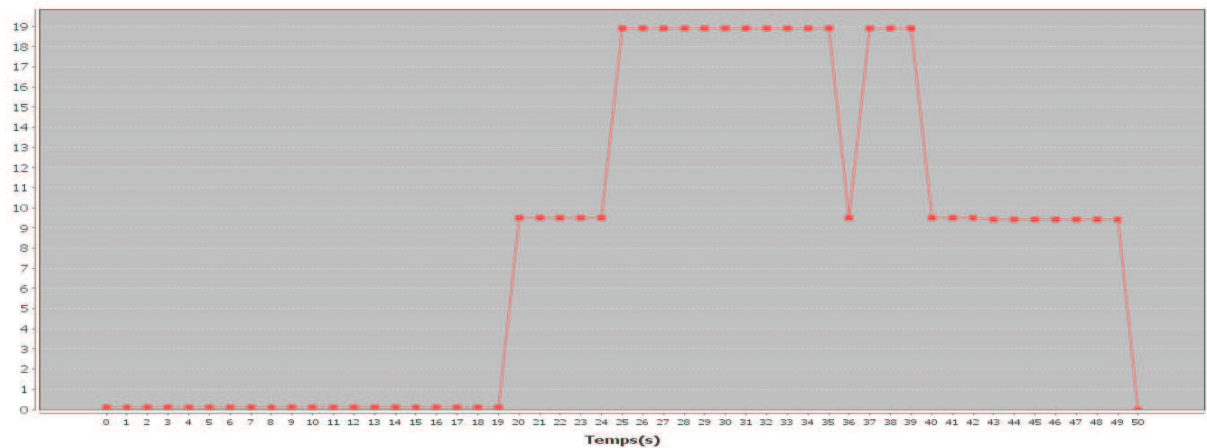


Comme on peut l'apercevoir dans le cas du déploiement détaillé avec le protocole BSCP, pour chaque capteur actif, tous ses voisins sont à l'état sleep et font partie d'un Backup (groupe de capteurs qui sont responsables de surveiller le capteur actif et le remplacer après sa mort). On a trois Backups construits selon un compromis entre l'énergie et la distance du capteur actif, qui sont ordonnés dans un ordre croissant en terme de performance: Le Backup1 en blanc, le Backup2 en jaune et le Backup3 en noir.

Figure 4.3 : Déploiement détaillé avec le BSCP

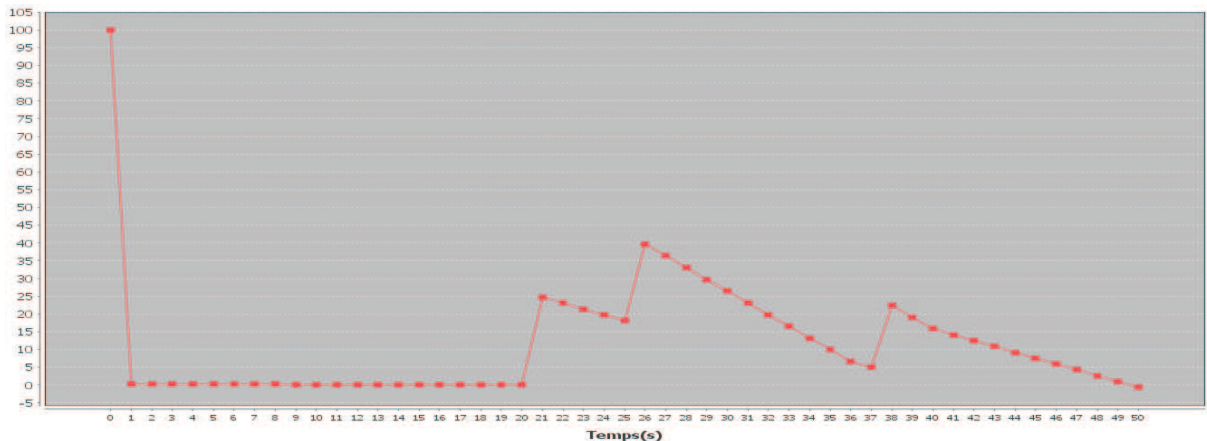
Les résultats obtenus :

- Graphe de pourcentage de couverture par rapport au temps:



Nous pouvons voir que la couverture est constante et très faible car qu'il y a qu'un seul capteur actif. à partir de  $t = 19s$ , on distingue une hausse car le Backup1 s'est réveillé du fait que le capteur actif soit mort, puis une autre hausse à  $t = 24s$ , car le Backup2 s'est réveillé à cause de la mort du surveillant du 1<sup>er</sup> backup, et à  $t = 35s$  les capteurs du Backup 1 et le surveillant du backup 2 sont morts, donc à  $t = 36s$  le Backup3 se réveille puis à  $t = 39s$  les capteurs du Backup2 sont tous morts ce qui fait que seuls les capteurs du Backup3 sont actifs et couvrent la zone, d'où le moment de stabilité jusqu'à  $t = 50s$  où tous les capteurs sont morts.

- Graphe de pourcentage d'énergie par rapport au temps:

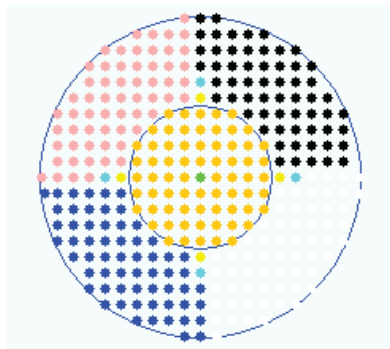


Nous constatons la baisse d'énergie qui frôle le zéro, car il n'y a qu'un seul capteur actif. A  $t = 20s$  une première hausse d'énergie survient car le capteur est mort et remplacé par le Backup1, jusqu'à  $t = 25s$  où le surveillant du capteur initial est mort, ce qui déclenche l'activation du Backup2, qui à son tour diminue jusqu'à  $t = 37s$  laissant place au Backup3 après la mort du surveillant du Backup1, puis à  $t = 50s$  le réseau est mort.

### Comparaison :

Nous constatons que l'utilisation d'un protocole de recouvrement nous offre une meilleure gestion de la couverture, et une durée de vie du réseau qui est considérablement meilleure.

#### IV .3.3.2 Cas DCP :



Le déploiement détaillé avec le protocole DCP se présente comme suit :

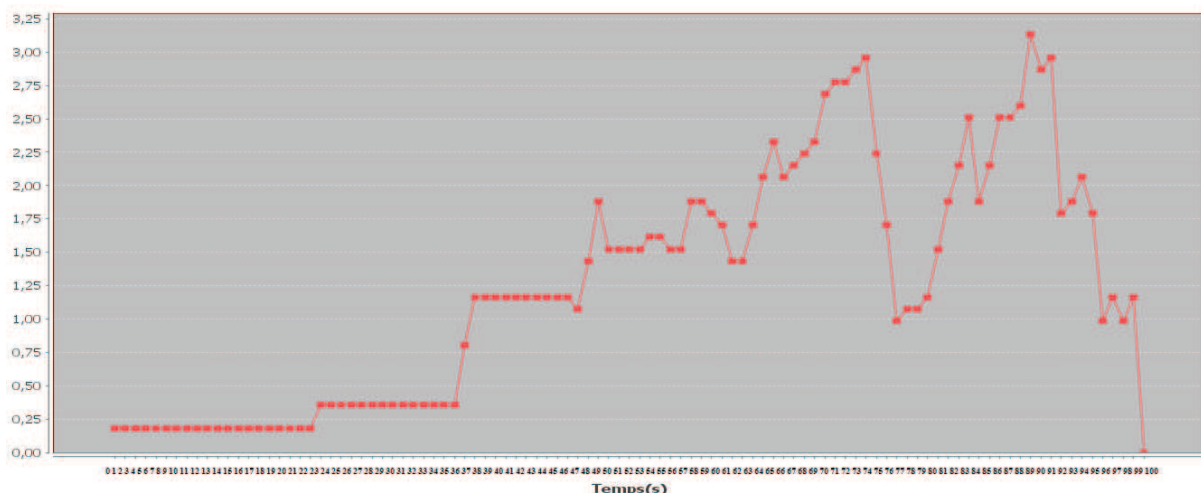
- Les voisins de surveillance sont destinés à remplacer le capteur actif après sa mort (en orange).
- Le capteur est caractérisé par quatre quarts (représentés en Noir, Rose, Bleu, et blanc).
- Pour chaque quart, le capteur actif détermine un surveillant (en jaune) qui surveille ce dernier et un surveillant du surveillant (en bleu clair) en fonction de deux critères : la distance et l'énergie.

Figure 4.4 : Déploiement détaillé avec le BSCP

- Dès que le capteur actif est mort, les surveillants de chaque quart choisiront un remplaçant au niveau de leurs quarts, et à son tour il choisira des voisins de surveillance, des surveillants et des surveillants de surveillants.

Les résultats obtenus :

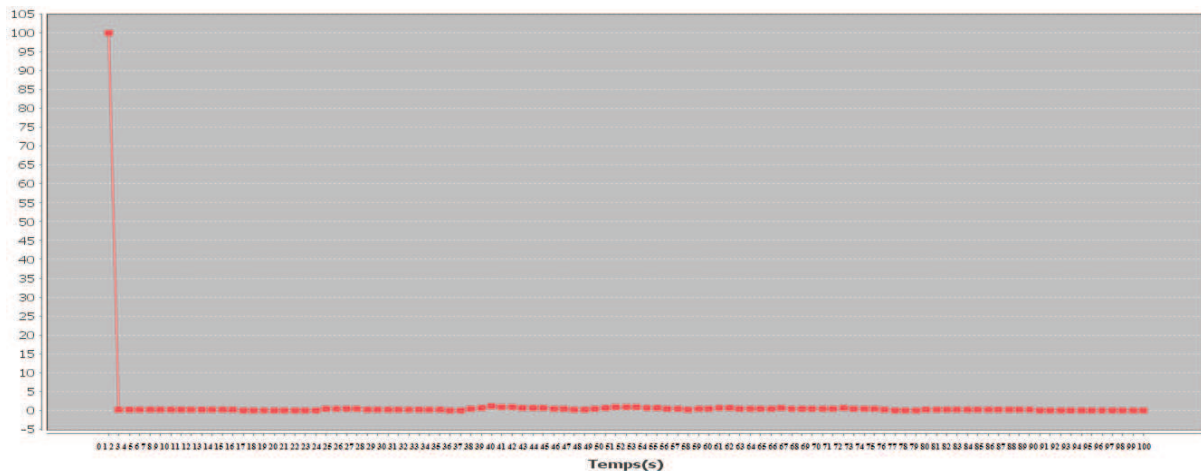
- Graphe de pourcentage de couverture par rapport au temps:



Nous constatons que le taux de couverture est constant mais presque inexistant (0.20%), car il n'y a qu'un seul capteur actif jusqu'à  $t = 20s$  qui coïncide avec la mort du capteur, juste après une hausse est remarquée. On peut voir plusieurs hausses accompagnées de plusieurs baisses qui représentent le processus d'élection de nouveaux capteurs par les surveillants de chaque quart, et la mort des capteurs.



- Graphe de pourcentage d'énergie par rapport au temps:



Nous constatons une énergie très faible tout au long de la simulation car un capteur actif n'est remplacé que par maximum quatre capteurs après sa mort. Toutefois on a une bonne conservation d'énergie dans le réseau puisque la simulation a duré 100s.

#### Comparaison :

En comparant le protocole BSCP avec le DCP nous constatons que : le BSCP nous offre une meilleure couverture, mais le DCP nous offre une durée de vie plus longue. Dans les prochains cas de simulations nous analyserons ces comparaisons avec plus de détails.

#### *IV.3.4 Simulation d'un cas de déploiement Déterministe Dense avec protocole :*

##### *IV.3.4.1 Cas BSCP :*

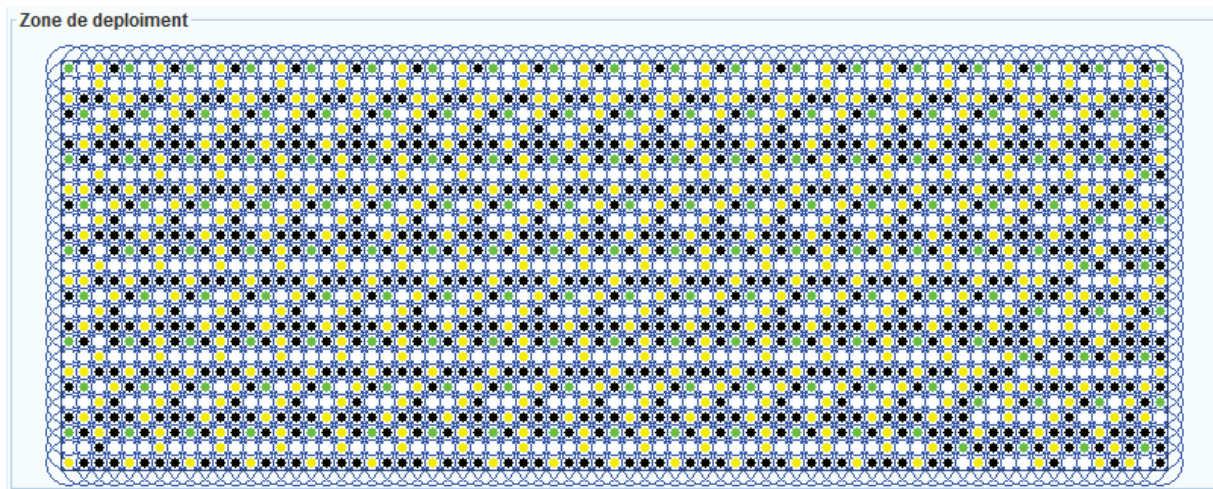


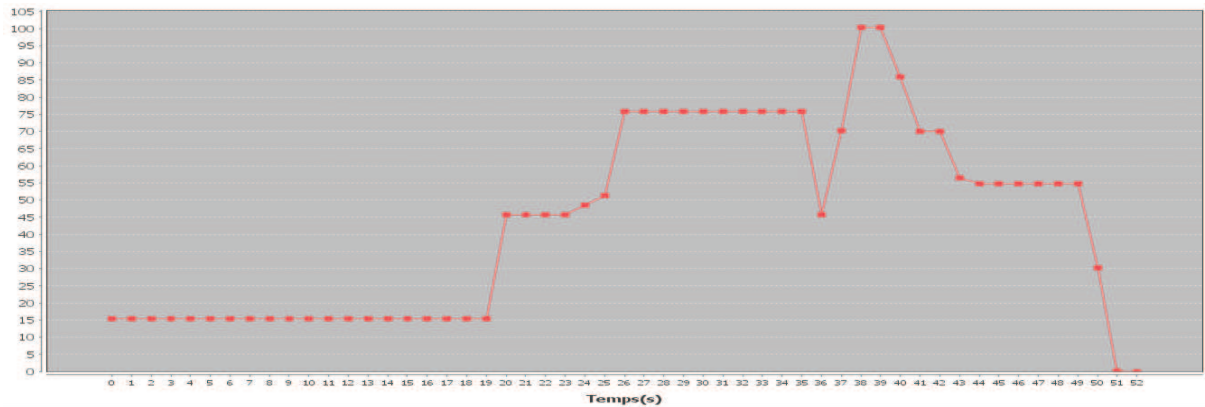
Figure 4.5 Déploiement déterministe dense avec le BSCP

Le déploiement dense est constitué de 1971 capteurs de mêmes caractéristiques (énergie initiale, énergie de communication, énergie de perception, rayon de surveillance, rayon de communication).

Plus le réseau est dense plus le protocole BSCP est performant en terme de restauration de couverture.

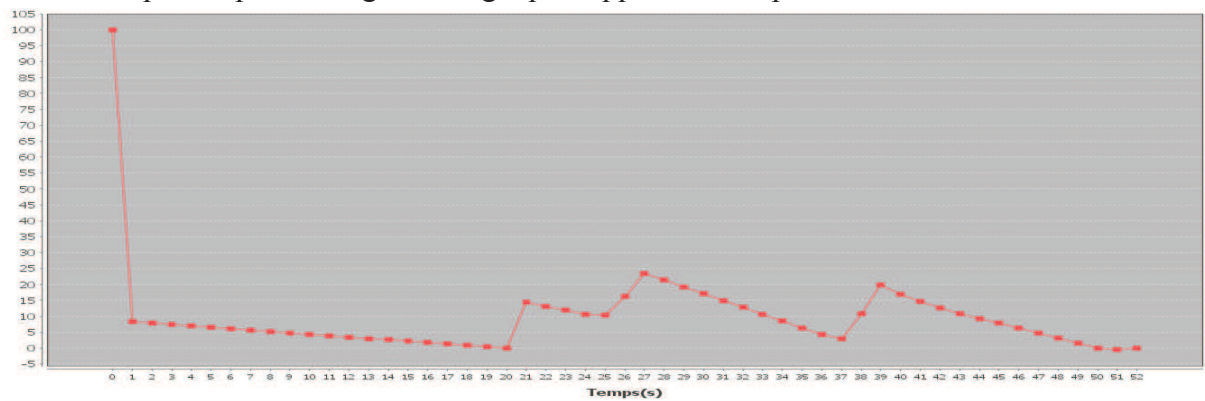
Les résultats obtenus :

- Graphe de pourcentage de couverture par rapport au temps:



Nous pouvons voir que le pourcentage de couverture initiale est à un peu plus de 15% tant que tous les capteurs initialement actifs le sont. Dès qu'ils sont morts les backups prennent place et la couverture augmente jusqu'à arriver à 100.3% à  $t = 39s$  ce qui montre bien l'impacte d'un protocole de recouvrement dans un réseau. La durée de vie du réseau est de 52s.

- Graphe de pourcentage d'énergie par rapport au temps:



Nous constatons une énergie qui commence aux environs de 10% correspondant au nombre de capteurs actifs, et qui est en baisse constante jusqu'à  $t = 20s$  où tous les capteurs sont morts. A partir de là, on distingue trois hausses correspondantes aux réveils des Backup (le 1<sup>er</sup> à  $t = 20s$ , le 2<sup>ème</sup> à  $t = 27s$  et le 3<sup>ème</sup> à  $t = 39s$ ). La durée de vie du réseau est de 52s.

### IV .3.3.2 Cas DCP :

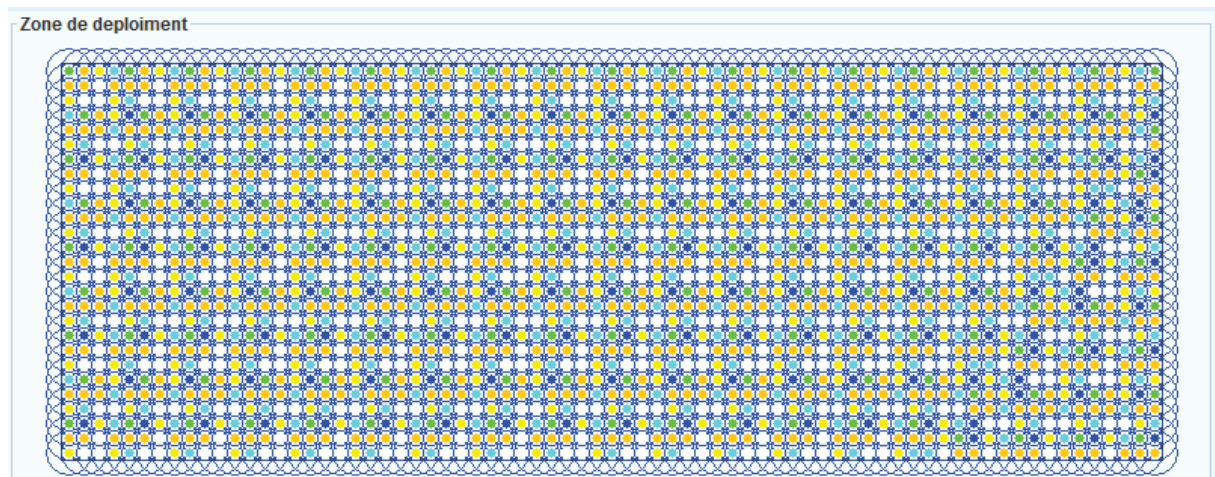


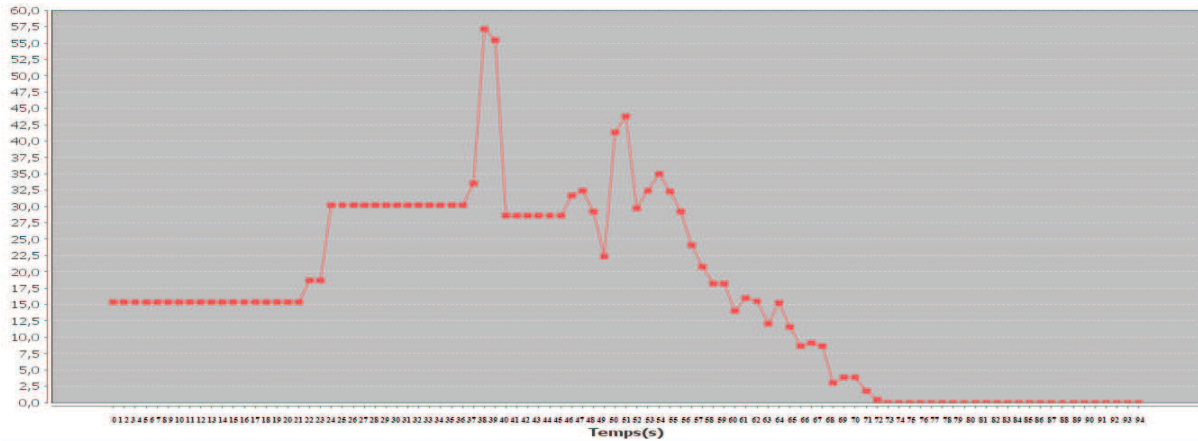
Figure 4.6 Déploiement déterministe dense avec le DCP

## Chapitre IV : Implémentation

A la différence du protocole BSCP, le DCP est un protocole dynamique c.à.d les capteurs remplaçants ne sont connus qu'après la panne du capteur. Avec le DCP, plus le réseau est dense plus il est performant en terme de conservation d'énergie, et offre une couverture satisfaisante.

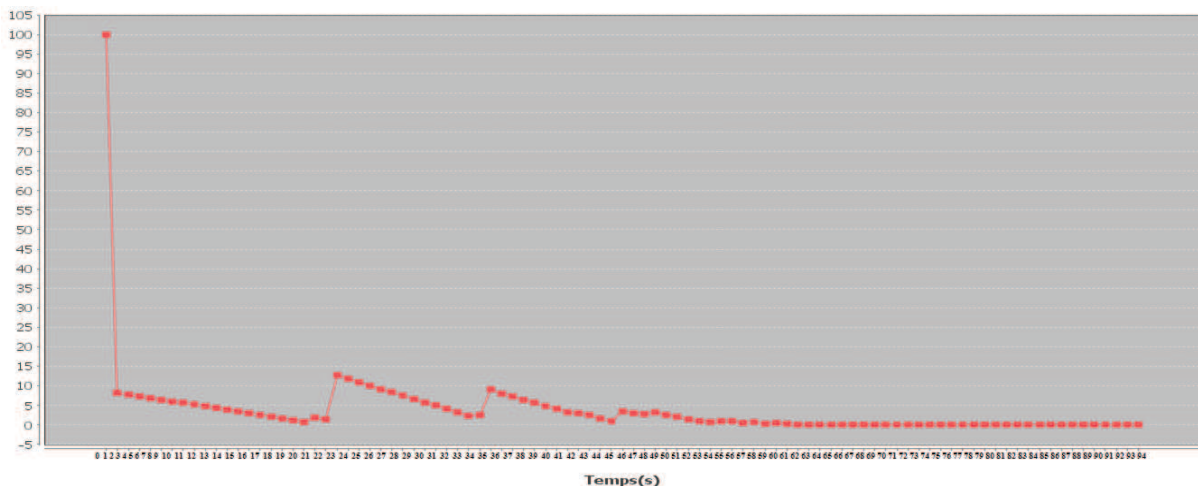
Les résultats obtenus :

- Graphe de pourcentage de couverture par rapport au temps:



Nous pouvons voir que le pourcentage de couverture initiale est un peu plus de 15% tant que tous les capteurs initialement actifs le sont. A  $t = 19s$  ils atteignent un seuil minimal d'énergie ce qui donne lieu à de plusieurs hausses et baisses dues à l'élection de nouveaux capteurs, et la mort de plusieurs capteurs. Le pourcentage maximum de 57.1% est atteint à  $t = 34s$ . La mort de tous les capteurs actifs survient à  $t = 73s$ , mais le réseau n'est pas mort jusqu'à  $t = 94s$  car les surveillants et les surveillants des surveillants n'ont plus trouvé de capteurs à élire, ce qui fait que le réseau est mort une fois qu'ils sont morts.

- Graphe de pourcentage d'énergie par rapport au temps:



Nous constatons une énergie basse tout au long de la simulation (moins de 15%) car un capteur actif est remplacé que par maximum quatre capteurs après sa mort. Elle atteint 14.7% à  $t = 23s$  avec la première vague de remplacement des capteurs initiaux. Toutefois on a une bonne conservation d'énergie dans le réseau puisque que le test de simulation a duré 94s.

### Comparaison :

On peut voir dans le déploiement homogène dense que le protocole BSCP offre une meilleure couverture (103.3%) que le protocole DCP (57.1%), par contre le DCP offre une



meilleure gestion de l'énergie au niveau du réseau ce qui se répercute sur la durée de vie du réseau (94s pour le DCP contre 52s pour le BSCP).

#### *IV.3.5 Simulation d'un cas de déploiement Déterministe Léger avec protocole :*

##### *IV.3.5.1 Cas BSCP :*

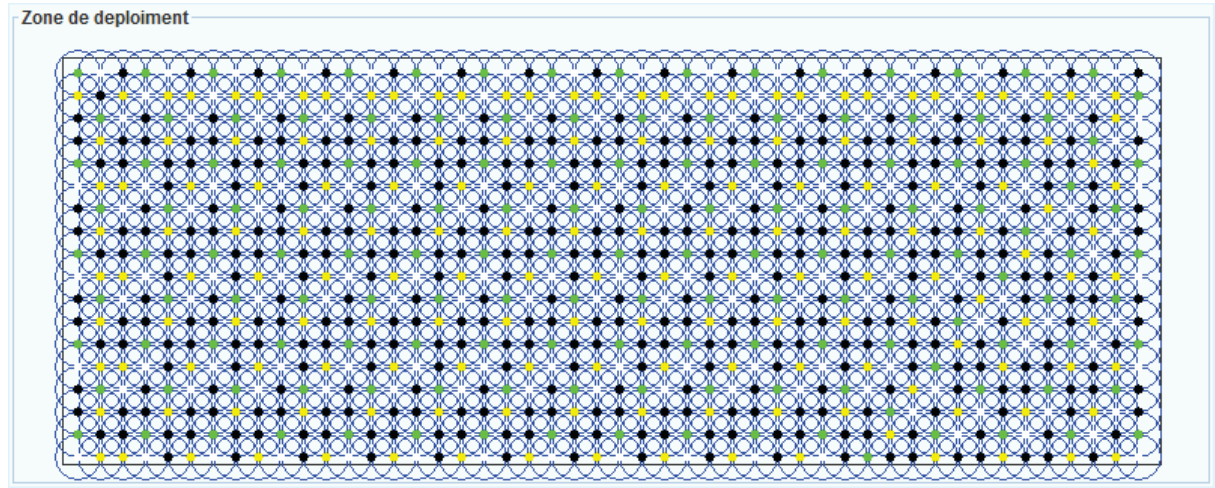
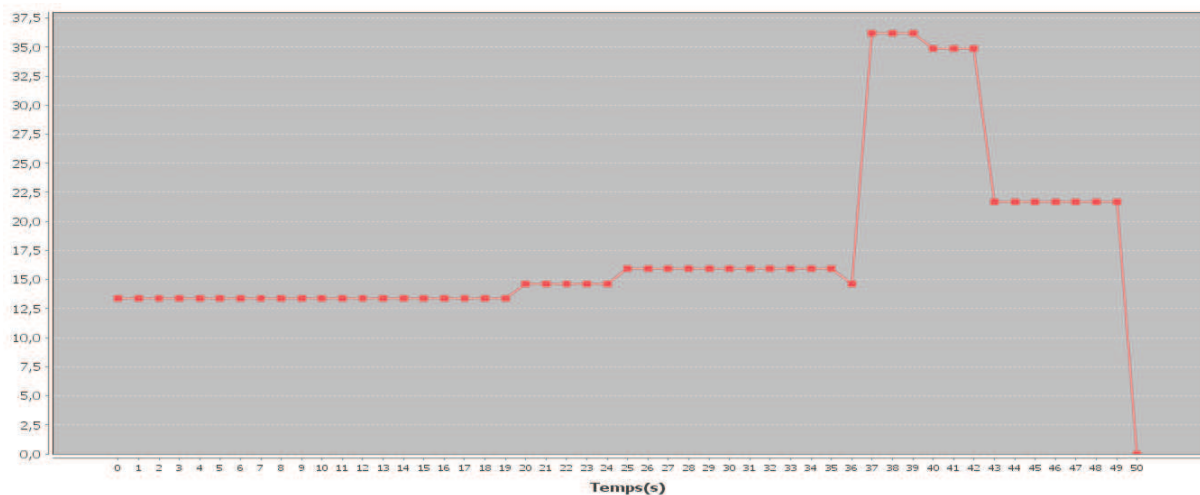


Figure 4.7 Déploiement déterministe léger avec le BSCP

Le déploiement dense est constitué de 864 capteurs de mêmes caractéristiques (énergie initiale, énergie de communication, énergie de perception, rayon de surveillance et de communication).

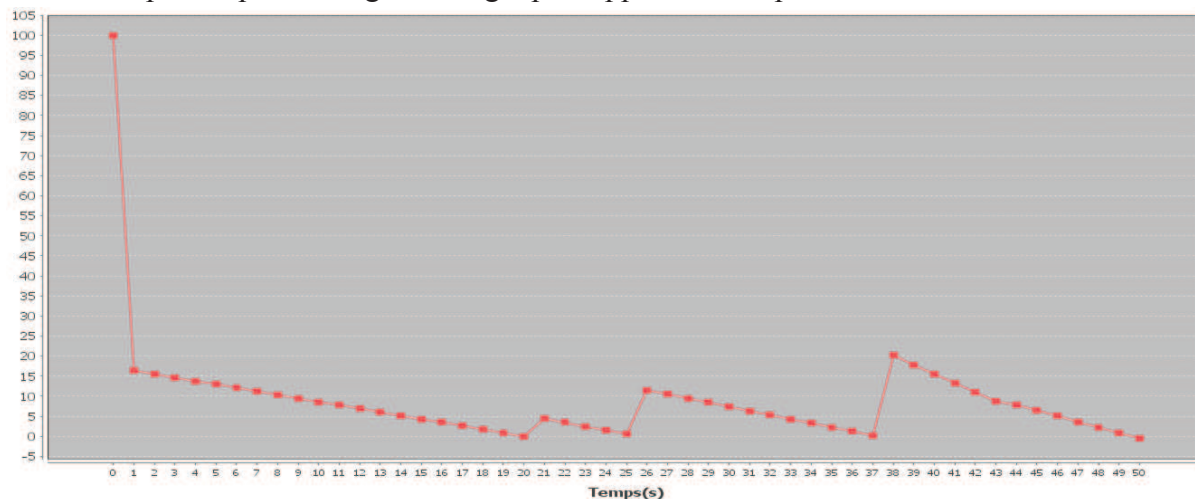
Les résultats obtenus :

- Graphe de pourcentage de couverture par rapport au temps:



Nous apercevons une couverture initiale de 13% qui est constante tant que les capteurs initialement actifs le sont toujours. A  $t = 19s$  ils atteignent le seuil minimal d'énergie ce qui nous donne une petite hausse due à l'activation du 1<sup>er</sup> Backup et une autre hausse à  $t = 24s$  due à l'activation du 2<sup>ème</sup> Backup puis une dernière hausse à  $t = 42s$  due à l'activation du 3<sup>ème</sup> Backup. Nous remarquons une constance de  $t = 43s$  jusqu'à  $t = 49s$  car il ne reste que les capteurs du 3<sup>ème</sup> Backup qui sont actifs, et à  $t = 50s$  tous les capteurs sont morts.

- Graphe de pourcentage d'énergie par rapport au temps:



Nous remarquons que ces résultats sont très légèrement en dessous de ceux du déploiement homogène dense avec le BSCP, que ce soit pour le taux d'énergie, ou pour la durée de vie du réseau (52s pour le déploiement dense contre 50s pour le déploiement léger).

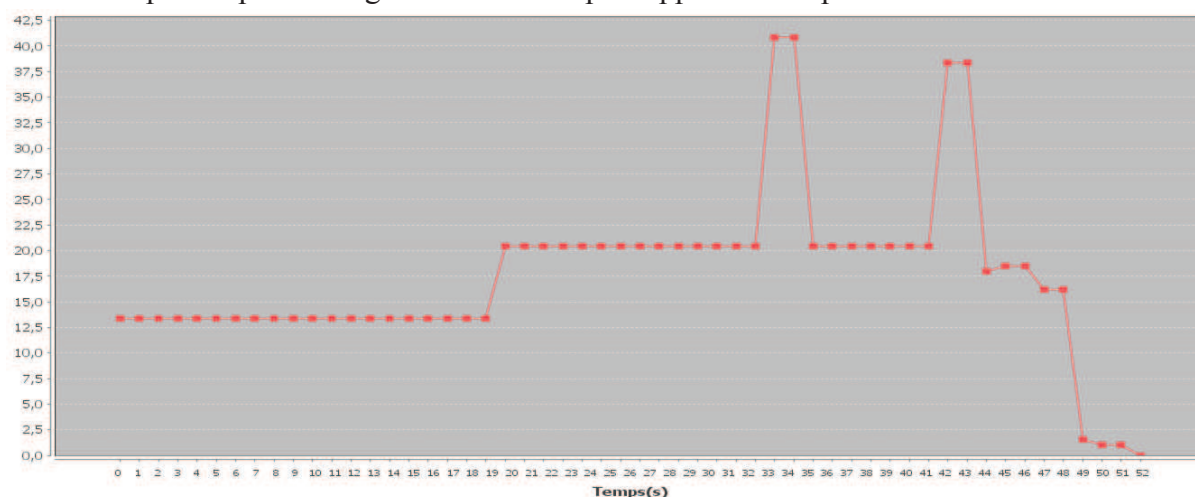
#### IV .3.5.2 Cas DCP :



*Figure 4.8 Déploiement déterministe léger avec le DCP*

Les résultats obtenus :

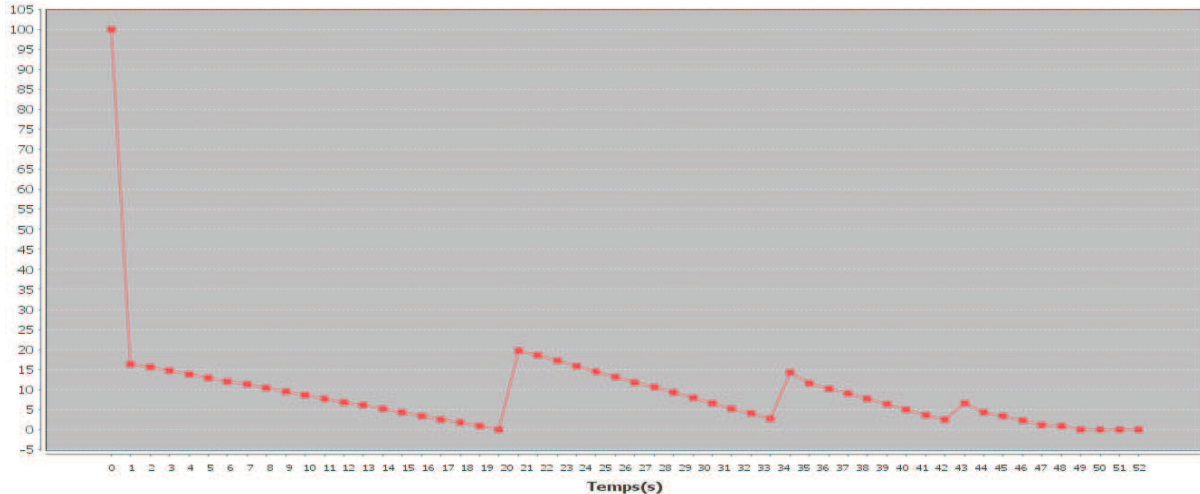
- Graphe de pourcentage de couverture par rapport au temps:



## Chapitre IV : Implémentation

A travers ce graphe, nous pouvons voir que le pourcentage de couverture initiale est à 13% tant que tous les capteurs initialement actifs le sont. A  $t = 19s$  ils atteignent un seuil minimal d'énergie ce qui donne lieu à plusieurs hausses et baisses dues à l'élection de nouveaux capteurs, et la mort de plusieurs capteurs. Le pourcentage maximum qui approche les 41% est atteint à  $t = 33s$ .

- Graphe de pourcentage d'énergie par rapport au temps:



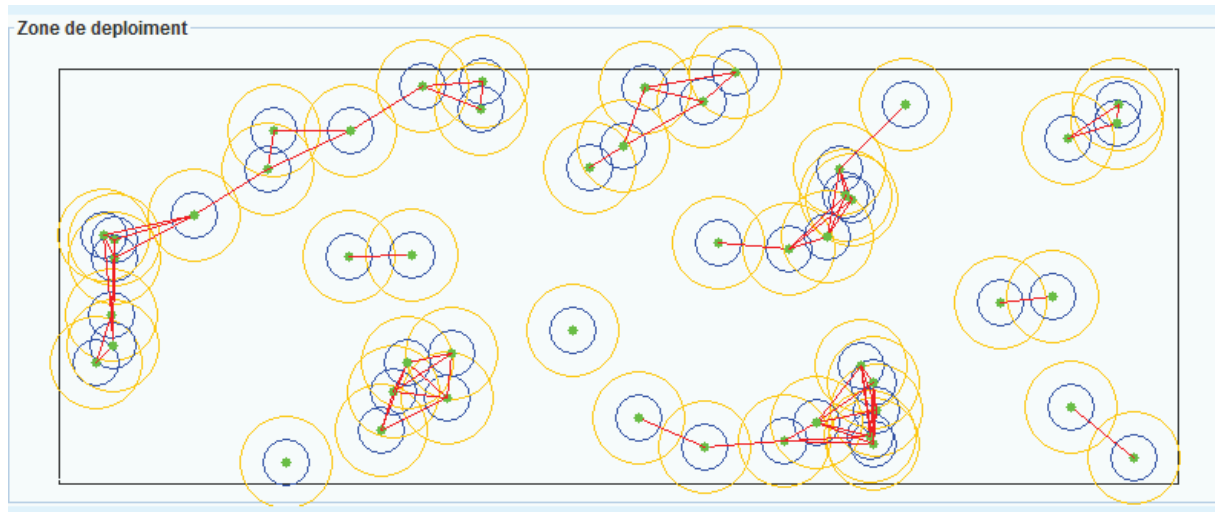
Nous remarquons que ces résultats sont très légèrement au dessus de ceux du déploiement homogène dense avec le DCP pour le taux d'énergie, mais pas pour la durée de vie du réseau (94s pour le déploiement dense contre 52s pour le déploiement léger).

### Comparaison :

Dans le déploiement homogène léger nous remarquons que le taux de couverture est meilleur dans le protocole DCP que pour le protocole BSCP, et la durée de vie et largement meilleure pour le DCP aussi.

Donc nous pouvons dire que contrairement au BSCP moins le nombre de capteurs et grand plus les résultats sont meilleurs.

*IV .3.6 Simulation d'un cas de déploiement Aléatoire avec protocole de communication :*



**Figure 4.9 Déploiement aléatoire avec le protocole de communication**

Le déploiement aléatoire est un déploiement réaliste et plus concret que le déploiement déterministe. En réalité, la majeure partie du temps on utilise le déploiement aléatoire car souvent on déploie des milliers de capteurs dans des environnements relativement grands et hostiles comme les régions volcaniques, les forêts ou même parfois le milieu aquatique (océans, rivières, etc....).

L'aspect de la communication dans les RCSF est très important, c'est ce qui permet aux informations relevées à partir de l'environnement d'être consultées dans des stations de surveillances. L'information se transmet de capteur à capteur avec une condition, qu'ils soient voisins de communication, jusqu'à des nœuds puits (Sinks) qui interagissent avec les ordinateurs et leur transmettent les informations pour être analysées et stockées.

## **IV .4 Conclusion:**

Ce dernier chapitre nous a permis de voir l'impact que peut avoir un protocole de recouvrement sur un réseau de capteurs sans fils.

Nous avons pu conclure que le protocole BSCP offrait un meilleur taux de couverture dans des réseaux très denses par rapport au protocole DCP.

Nous avons aussi vu que le protocole DCP gère mieux la conservation d'énergie dans les réseaux de capteurs parfois presque le double du temps de vie du réseau par rapport au BSCP, tout en offrant un taux de couverture acceptable. Comme on a pu aussi voir que le protocole DCP dans un réseau moyennement dense arrivait à donner une meilleure couverture que celle du protocole BSCP.

## ***Conclusion générale :***

Le travail réalisé s'inscrit dans le domaine des réseaux de capteurs sans fils. Les nombreuses recherches menées dans ce domaine sont très intéressantes et prometteuses.

Nous avons choisi de réaliser une application en relation avec les réseaux de capteurs sans fils, car c'est un domaine très intéressant, vaste, et qui regroupe beaucoup d'aspects et de concepts informatiques (réseau, système d'exploitation, base de données, intelligence artificielle, génie logiciel, ...).

L'utilisation des réseaux de capteurs sans fils dans tous les domaines, et tous les secteurs, notamment l'industrie, la médecine, l'agriculture, et même le domaine militaire, n'a fait qu'objectiver notre choix.

Ce projet de fin de cycle nous a permis d'exploiter et de mettre en application nos connaissances acquises tout au long de notre Licence.

L'aboutissement d'un semestre de travail nous a permis de réaliser une application de surveillance des réseaux de capteurs sans fils.

L'application qu'on a réalisé permet de déployer, visualiser, surveiller l'état des réseaux de capteurs (surveillance des capteurs, surveillance de la couverture et l'énergie) et de traiter des aspects majeurs comme la couverture, l'énergie, la détection de panne, le recouvrement, et agir en conséquence pour le bon fonctionnement de ces derniers en employant des protocoles spécifiques.

La principale difficulté été de bien comprendre tous les concepts théoriques des réseaux de capteurs sans fils, bien assimiler les protocoles de recouvrement qu'on a utilisé et de les reprogrammer, car initialement ils ont été implémentés dans un autre langage de programmation que celui avec le quelle on a travaillé et de trouver des solutions innovantes et efficaces pour réaliser l'application de surveillance.

Nous aurions voulu enrichir notre application par un large choix de zones de déploiement, une visualisation 3D du réseau, inclure l'aspect routage dans la communication en rajoutant les stations de bases et montrer l'échange d'information entre elle et le centre de traitement, pouvoir réaliser des tests de simulations sur de vrais capteurs, intégrer plus de protocoles de recouvrements, et offrir plus de fonctionnalités.

Pour conclure, se qu'on peut tirer de cette petite expérience, c'est que nous avons appris à travailler en binôme, à bien gérer le temps, à travailler intelligemment et étapes par étapes, rédiger un bon document et savoir mettre en valeur son travail à travers la présentation.



## Bibliographie :

- ❖ [AKY 02] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "*a survey on sensors networks* ", IEEE Communications Magazine, 2002.
- ❖ [BRI 08] F. Brissaud, D. Charpentier, A. Barros, C. Bérenguer, "*Capteurs intelligents : Nouvelles technologies et nouvelles problématiques pour la sûreté de fonctionnement* ", Procédure du 16ème Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, 2008.
- ❖ [CHE08] Yacine Chellal, "*Systèmes intelligents pour le transport* ", Réseaux de capteurs sans fils, 2008.
- ❖ [CZB09] Manel Chenait, Bahia Zebbane, Houda Zeghilet and Nadjib Badache, "*BSCP: Backup Scheduling Mechanism for Coverage Preserving in WSNs* ". The Third International Conference on Sensor Technologies and Applications, Sensorcomm, 2009.
- ❖ [DAV 09] David M. Davenport, Budhaditya Deb, and Fergus J. Ross, "*Wireless propagation and coexistence of medical body sensor networks for ambulatory patient monitoring* ", Sixth International Workshop on Wearable & Implantable Body Sensor Networks Conference, 2009.
- ❖ [ECL14] Site : <http://www.eclipse.org>, 2014
- ❖ [FIB13] FILALI Nawel, BELHOCINE Ibtisame, "*Proposition d'un protocole de Restauration de couverture dans les réseaux de capteurs* ", Mémoire de Master, Spécialité : Réseaux et Systèmes Distribués, USTHB, **Projet n° : 23/2013**
- ❖ [HAM 08] Mohamed Hamdi, Nouredine Boudriga, and Nejla Essaddi, "*An optimized broadband sensor network for military vehicle tracking. Int. J. Communication Systems* ", IEEE Wireless Communications & Networking Conference, 2008.
- ❖ [ING 10] François Ingelrest, Guillermo Barrenetxea, Gunnar Schaefer, Martin Vetterli, Olivier Couach, and Marc Parlange. Sensorscope, "*Application specific sensor network for environmental monitoring* ", ACM Transactions on Sensor Networks Volume 6, 2010.
- ❖ [IST 09] Tibor Istvan Nagy and Jozsef Tick, "*Intelligent sensor networks in the military and civil sectors* ", 5th International Symposium, 2009.
- ❖ [ORA14] Site : <http://www.oracle.com>, 2014
- ❖ [SQL14] Site : <https://www.mysql.fr>, 2014

### **Bibliographie**

- ❖ [TES 08] Vassileios Tsetsos, George Alyfantis, Tilemahos Hasiotis, Odysseas Sekkas, and Stathes Hadjiefthymiades, "*Commercial wireless sensor networks: Technical and business issues* ", the Second Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services, 2008.
- ❖ [UML14] Site : <http://www.uml.org>, 2014
- ❖ [Wan10] Wang Bang, "*Sensor Coverage Model* ", Coverage Control in Sensor Networks, 2010.
- ❖ [YUC 08] Mehmet R. Yuce, Peng Choong Ng, and Jamil Y. Khan, "*Monitoring of physiological parameters from multiple patients using wireless sensor network* ", Journal of medical systems volume 32, 2008.