

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bordj bou Arréridj

Faculté des Mathématiques et d'Informatique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme

Master en Informatique

Spécialité : Réseaux et multimédia

Titre

**Simulation du comportement du protocole ODD «
Overview, Design Concepts, and Details » dans les
réseaux de capteurs sans fils avec le simulateur
NETLOGO**

Présenté Par

Lebidi Wafa

Soutenu le 15/09/2021

Devant le jury composé de :

Président	BEL AZZOUG Mouhobe	MCB, Université de BBA
Encadrant	BELALTA Ramla	MCB, Université de BBA
Examineur	BEN MESEHL Ilyes	MCB, Université de BBA

Année universitaire : 2020 /2021

Dédicaces

A mes chers parents.

A mon frère et mes sœurs.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

A tous mes amis.

Remerciements

Mes remerciements vont tout premièrement à dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné pour terminer ce travail. Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude au Docteur ***Belalta Ramla*** que j'ai la chance d'avoir pour directeur de mémoire. J'ai beaucoup apprécié la confiance qu'elle m'a fait, sa disponibilité régulière et le soutien constant. Je tiens énormément à souligner ses qualités humaines.

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

J'ai remercié aussi tous les enseignants, du primaire jusqu'à l'université, qui ont affiné ma formation.

Je tiens à remercier également ma famille et mes amies.

A vous tous, Merci !

Résumé

Les communications sans fils efficaces sur le plan énergétique ont récemment fait l'objet d'une grande attention, en raison de la consommation d'énergie sans cesse croissante des systèmes de communication sans fils.

Dans ce mémoire nous présentons une étude de Simulation du comportement du protocole ODD « Overview, Design Concepts, and Détails » dans les réseaux de capteur sans fils avec le simulateur NETLOGO. Ce modèle vise à étudier l'efficacité énergétique des protocoles de routage multi sauts dans les réseaux de capteurs sans fils distribués. Cela permet d'obtenir une efficacité énergétique dans un réseau qui utilise un routage multipoints et crée deux courbes, pour montrer le meilleur effet d'économie d'énergie par rapport à la transmission directe. Il montre également que le cycle de vie du réseau est affecté par les modifications apportées à ces paramètres dans le même réseau. Les résultats de notre simulation de réseau peut réduire la consommation d'énergie et prolongez la durée de vie du réseau.

Les mots clés : Réseaux des capteur sans fils (RCSF), Routage, Protocole ODD (Overview, Design Concepts, and Détails), Energie, Communication en relai, Communication direct , Simulateur NETLOGO .

Abstract

Energy-efficient wireless communications have been getting a lot of attention lately, due to the increasing power consumption of wireless communication systems.

In This thesis, we present a simulation study of the behavior of the ODD protocol "Overview, design concepts and details" in wireless sensor networks with NETLOGO emulator. This model aims to study the energy efficiency of multi-hop routing protocols in distributed wireless sensor networks. This achieves energy efficiency in a network that uses multi-point routing and creates two curves, to show the best energy-saving effect compared to direct transmission. It also shows that the network lifecycle is affected by changes to these parameters in the same network. Our network simulation results can reduce power consumption and extend network life.

Keywords : Wireless Sensor Networks (RCSF), Routing, ODD Protocol (Overview, Design Concepts, and Details), Power, Relay Connection, Direct Connection, NETLOGO Emulator.

المخلص

حظيت الاتصالات اللاسلكية الموفرة للطاقة باهتمام كبير مؤخراً، بسبب زيادة استهلاك الطاقة لأنظمة الاتصالات اللاسلكية.

في هذه الرسالة نقدم دراسة محاكاة لسلوك بروتوكول "ODD نظرة عامة ومفاهيم التصميم والتفاصيل" في شبكات الاستشعار اللاسلكية مع محاكي NETLOGO يهدف هذا النموذج إلى دراسة كفاءة الطاقة لبروتوكولات التوجيه متعدد القفزات في شبكات الاستشعار اللاسلكية الموزعة. يحقق هذا كفاءة الطاقة في شبكة تستخدم التوجيه متعدد النقاط وينشئ منحنيين، لإظهار أفضل تأثير لتوفير الطاقة مقارنة بالإرسال المباشر. كما يوضح أيضاً أن دورة حياة الشبكة تتأثر بالتغيرات التي تطرأ على هذه المعلمات في نفس الشبكة. يمكن لنتائج محاكاة الشبكة لدينا أن تقلل من استهلاك الطاقة وتطيل عمر الشبكة.

الكلمات الرئيسية: شبكات الاستشعار اللاسلكية (RCSF)، التوجيه، بروتوكول ODD (نظرة عامة، مفاهيم التصميم، والتفاصيل)، الطاقة، اتصال المرحل، الاتصال المباشر، محاكي NETLOGO.

Table des matières

Dédicaces	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
Introduction générale	3
litess	4
1 Routage dans les réseaux de capteurs sans fil (rcsrf)	5
1.1 Introduction	5
1.2 Description d'un réseau de capteur sans fils	5
1.2.1 Définition d'un réseau de capteur	5
1.2.2 Définition d'un réseau ad hoc	5
1.2.3 Différences entre les réseaux de capteurs et les réseaux Ad hoc	6
1.2.4 Architecture d'un réseau de capteurs sans fils	6
1.3 Les capteurs	7
1.3.1 Définition d'un capteur	7
1.3.2 Architecture d'un capteur	7
1.3.3 Les types de capteurs	8
1.4 Applications des RCSF	8
1.5 Caractéristiques et contraintes des réseaux capteurs	9
1.5.1 Déploiement	9
1.5.2 Localisation	10
1.5.3 Couverture	10
1.5.4 Sécurité	10
1.5.5 Énergie et durée de vie	11
1.5.6 Topologie dynamique	11
1.5.7 Groupement «clustering»	11
1.5.8 Communication multi-saut	11
1.5.9 Mobilité	12
1.5.10 Identification	12
1.6 Le principe de fonctionnement de RCSF	12
1.6.1 Les piles protocolaires	12
1.7 Le routage dans un RCSF	13
1.7.1 Définition de routage	13
1.7.2 Approches d'établissement de routes	14
1.8 Type de routage	14

1.8.1	Selon la structure de réseau (figure 1.6)	14
1.8.2	Selon le type de protocole (figure I.10)	17
1.9	Les technologies utilisant dans les RCSF	18
1.9.1	IEEE 802.11x/WiFi	18
1.9.2	IEEE 802.15.1/Bluetooth	18
1.9.3	IEEE 802.15.4/ Zigbee	18
1.10	Les Systèmes d'exploitation	18
1.10.1	TinyOS	19
1.10.2	Contiki	19
1.10.3	LiteOS	19
1.10.4	SOS	19
1.10.5	Mantais OS	19
1.10.6	Nut/OS	19
1.10.7	Nano-RK	19
1.11	Objectif de l'étude :	20
1.12	Conclusion	20
2	Les principes de protocole odd « overview,design concepts end details » et modélisation	21
2.1	Introduction	21
2.2	Les critères de performance des protocoles de routage en RCSF	22
2.3	Pourquoi choisir le protocole ODD :	23
2.4	Principe et fonctionnement du protocole «ODD »	23
2.4.1	But «Purpose »	24
2.4.2	Entités, variables de pays et métriques « Entities, State Variables and Scales »	24
2.4.3	Présentation du processus et de la planification « Process Overview and Scheduling »	24
2.4.4	Principes de conception « Design Concepts »	24
2.4.5	Initialisation « Initialization »	25
2.4.6	La saisie des données « Input Data »	25
2.4.7	Sous-formulaire « Submodel »	25
2.5	Algorithme ODD implémenter	25
2.6	Modélisation UML	26
2.6.1	Diagramme de séquence	26
2.7	Conclusion	27
3	Simulation et réalisation	28
3.1	Introduction	28
3.2	Environnement de travail	28
3.2.1	Présentation de NETLOGO	28
3.2.2	Les concepts Agents	28
3.3	Outils de rédaction	29
3.4	Protocole de routage utilisé	29
3.5	L'implémentation	29
3.6	Evaluation	35
3.7	Conclusion	36
	Conclusion générale	38
	Références	39

Table des figures

1.1	Architecture d'un réseau de capteur sans fils [1]	6
1.2	Architecture d'un capteur sans fils	7
1.3	Évolution des capteurs [2]	8
1.4	Quelques domaines d'applications des RCSF	9
1.5	Pile protocolaire [1]	13
1.6	Protocoles de routage pour les RCSF selon la structure du réseau [3]	14
1.7	Routage plat [3]	15
1.8	Routage hiérarchique [3]	16
1.9	Routage de localisation [3]	16
1.10	protocole de routage pour les RCSF selon le type de protocole [3]	17
2.1	Les sept éléments du protocole ODD	23
2.2	Diagramme de séquence modélisant la configuration.	26
2.3	Diagramme de séquence et de déploiement/configuration des capteurs et le relais via la radio	27
2.4	Le diagramme de séquence modélisant la collète des données en mode multi-saut.	27
3.1	Interface de notre simulateur ODD	30
3.2	Les parametres de simulation	30
3.3	Code du bouton « Network Setup »	31
3.4	Création du réseau	32
3.5	Désignation des deux noeuds source et destination	32
3.6	Code du bouton "Start Transmossion"	33
3.7	Bouton « Transmission1 »	33
3.8	Le Code du Bouton « Transmission1 »	34
3.9	Le Bouton « Transmission2 »	34
3.10	Le Code du Bouton « Transmission2»	35
3.11	L'énergie de communication directe	35
3.12	L'énergie de communication Relay	36
3.13	L'énergie dépensée	36

Introduction générale

De nombreux systèmes nécessitent de prendre en compte l'environnement. Les progrès de ces dernières années en microélectronique ont permis de fabriquer des capteurs de plus en plus petits, de plus en plus performants et avec des autonomies énergétiques grandissantes. D'autre part, les techniques de réseaux mobiles permettent désormais de s'affranchir des fils et donc de déployer facilement des réseaux de capteurs, dans des endroits même difficiles d'accès.

Un réseau de capteurs peut être vu comme un réseau de microsystèmes disséminés dans un espace donné et communicant entre eux via une liaison sans fil. L'espace où agissent les capteurs s'appelle un champ de captage. Ce qui est intéressant dans les réseaux de capteurs, c'est que les nœuds sont souvent composés d'un grand nombre de micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome.

Par conséquent, on peut définir un Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF) ou "Wireless Sensor Network" (WSN) comme un ensemble de dispositifs très petits, nommés nœuds capteurs, variant de quelques dizaines d'éléments à plusieurs milliers. Dans ces réseaux, chaque nœud est capable de surveiller son environnement et de réagir en cas de besoin en envoyant l'information collectée à un ou plusieurs points de collecte, à l'aide d'une connexion sans fil. Il existe plusieurs types de protocole de routage dans le réseau de capteurs sans fil.

Ces protocoles de routage sont créés afin de permettre la prévention des collisions et l'économie d'énergie. Avant d'entrer dans l'étude détaillée des protocoles de réseau de capteurs sans fil, nous commençons par présenter un capteur sans fil, ses applications et son architecture. Ensuite nous expliquons les différentes contraintes dans un réseau de capteur et particulièrement la consommation d'énergie et les différentes sources causant la perte énergétique et les techniques pour minimiser cette perte.

ODD est conçu pour faciliter l'écriture et la lecture des descriptions ABM et reproduire facilement le modèle, sans avoir à creuser dans la technologie. Les descriptions des modèles ODD peuvent inclure de courtes équations et algorithmes, mais sont basées sur du texte et destinées aux humains. Il est indépendant du matériel et des logiciels utilisés pour implémenter le modèle. ODD se compose de sept composants. Conceptuellement, il est divisé en trois catégories « Aperçu », « Concepts de conception » et « Détails » ; D'où l'acronyme ODD.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté l'étude théorique de réseaux de capteurs sans fil, leurs caractéristiques et leurs applications, le protocole de routage utilisé.

Dans le deuxième chapitre nous avons cité la problématique et les objectifs de ce mémoire puis, nous avons fait la conception de la simulation des réseaux de capteurs, par des diagrammes de séquence et l'automate de l'état de transition.

En fin ,dans le troisième chapitre, nous avons présenté le simulateur NETLOGO ,et le protocole de routage proposé et puis , on a fait Simulation du comportement du protocole ODD « Overview, Design Concepts, and Details » dans les réseaux de capteur sans fil avec le simulateur NETLOGO par des captures d'écran bien expliqués et on a terminé

par une conclusion générale et nous proposons quelques perspectives.

Liste des abréviations

RCSF : Réseaux des Capteurs Sans Fil

tinyOS : micro threading Operating System

DPM : Dynamic Power Managment

Dvc : Dynamic Voltage Scheduling

GPS : Global Position System

CHs : Cluster Heads

AODV : Ad-hoc On Demand Distance Vector

SPIN : Sensor Protocols for Information via Negotiation

DSDV : Destination Sequenced Distance Vector

GSR :Global State Routing

DSR :Dynamic Source Routing

OLSR :Optimized Link State Routing

UML : Unified Modeling Language

ODD (Overview, Design Concepts, and Details)

MC : Multi-Chemin.

WIFI :Wireless fidelity

QOS : Quality of service

Chapitre 1

Routage dans les réseaux de capteurs sans fil (rscsf)

1.1 Introduction

Les RCSF permettent de faciliter le suivi et le contrôle à distance de l'environnement physique avec une meilleure précision. Ils peuvent aussi être déployés pour exploiter diverses applications (environnementales, militaires, médicales, etc.) [2].

De plus, le réseau de capteurs est généralement constitué d'un grand nombre de nœuds de capteurs. Chaque nœud consiste principalement en un ou plusieurs capteurs, d'une unité de traitement et d'une unité de communication. Continuez ce contrat avec l'autre en fonction de la topologie spécifique du réseau pour transférer des informations au centre de contrôle à distance dans le domaine de l'édition.

La technologie des réseaux de capteurs sans fil est un domaine en plein essor, de plus en plus d'applications utilisent cette technologie, les avancées électroniques et informatiques d'aujourd'hui sont capables de développer de minuscules capteurs capables de capter des données, calculer des informations à l'aide de ces données collectés et de communiquer à travers un réseau.

Nous aborderons dans ce chapitre une brève introduction aux Réseaux de Capteurs sans fil, nous citerons les différentes topologies ainsi que la communication entre les nœuds, dit principalement routage de données, une description des protocoles de routages utilisés dans ce domaine nous éclaira sur la communication dans les RCSF et une petite conclusion.

1.2 Description d'un réseau de capteur sans fils

1.2.1 Définition d'un réseau de capteur

Un réseau de capteurs sans fil est un réseau ad hoc avec un grand nombre de nœuds qui sont des micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée. Ils peuvent être aléatoirement dispersés dans une zone géographique, appelée « champ de captage » correspondant au terrain d'intérêt pour le phénomène capté.

1.2.2 Définition d'un réseau ad hoc

Un réseau ad hoc, appelé généralement MANET, est une collection d'unités mobiles munies d'interfaces de communication sans fil, formant un réseau temporaire sans recourir

à aucune infrastructure fixe ou administration centralisée. Dans de tels environnements, les unités se comportent comme des hôtes et/ou des routeurs [4].

1.2.3 Différences entre les réseaux de capteurs et les réseaux Ad hoc

Dans les réseaux Ad hoc traditionnels, les tâches qui traitent l'organisation, la gestion, le routage, et de mobilité visent l'optimisation des différents paramètres de qualité de service (QoS) tel que l'efficacité Dans le débit et les délais de transmission sous la contrainte de mobilité.

Cependant, les réseaux de capteurs englobent un grand nombre de nœuds prospère des sources d'énergie irremplaçable à cause de leur utilisation distante non-assistée dans les environnements hostiles. Ces capteurs communiquent entre eux avec un taux de transmission très faible de l'ordre de 1 à 100kbps. Pour cela, et contrairement aux réseaux ad hoc classiques, le but principal des techniques utilisées est de prolonger la durée de vie des batteries afin de prévenir les dégradations de connectivité dans le réseau. Enfin, les communications dans les réseaux de capteurs sont, dans la plus part des temps, unidirectionnels à partir des capteurs vers le nœud puits [4].

1.2.4 Architecture d'un réseau de capteurs sans fils

Un réseau de capteur sans fils (WSN) est composé d'un grand nombre de nœuds capteurs dispersés dans le terrain d'intérêt appelé "champ de captage" ayant la possibilité de détection et de mesure d'évènements, et de calcul, est munis d'éléments de communication qui donne à un administrateur la capacité de manipuler, observer et réagir aux évènements et aux phénomènes et envoyer les rapports de captage à un nœud spécial appelé puits(sink). L'administrateur est un concept civil, gouvernemental, commercial ou industriel. L'environnement peut être le monde physique, un système biologique, ou un cadre de technologie informatique. Il y a quatre composants de base dans un réseau de capteurs :

- Un ensemble de capteurs distribués ou localisés ;
- Un réseau d'interconnexion (habituellement, mais pas toujours, sans fil)
- Un point central appelé puits (Sink) pour le regroupement et le traitement de l'information
- Un ensemble de ressources informatiques déployées sur le puits pour traiter les données, l'évolution des évènements, le statut requêtes [5].

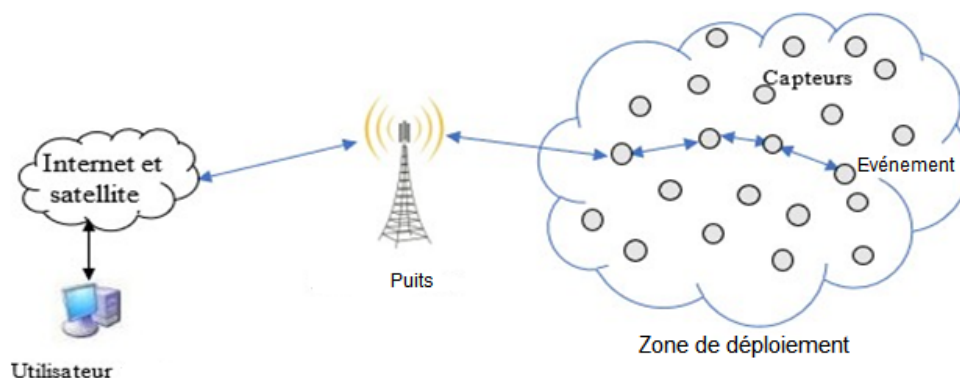


FIGURE 1.1 – Architecture d'un réseau de capteur sans fils [1]

1.3 Les capteurs

1.3.1 Définition d'un capteur

Un capteur est un dispositif ayant pour fonction d'échanger une grandeur physique observée en une mesure généralement électrique qui sera à son tour traduite en une donnée binaire compréhensible et exploitable grâce à un système d'information. Parmi les différents types de mesures enregistrées par les capteurs, on peut citer entre autres : les mouvements la température, l'humidité, l'accélération la luminosité, la distance, la position, la pression, la présence d'un gaz, la vision, le son, etc... .

1.3.2 Architecture d'un capteur

Dans l'image suivant on va présenter le composant d'un capteur sans fils :

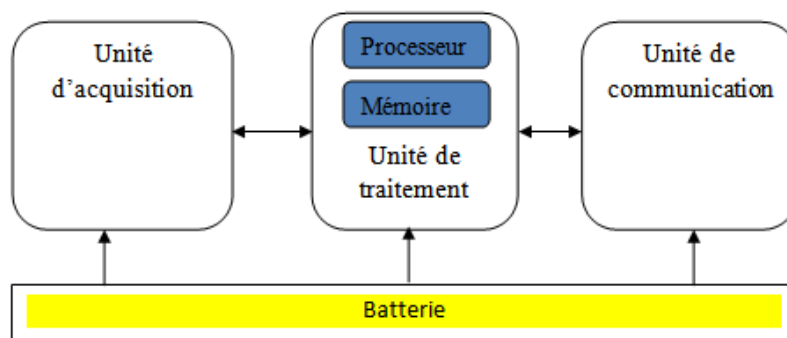


FIGURE 1.2 – Architecture d'un capteur sans fils

Cette architecture s'articule autour de quatre unités :

a. L'unité de traitement

C'est l'unité principale du capteur. Elle est composée d'un microcontrôleur dédié et de la mémoire, son rôle est de contrôler le bon fonctionnement des autres unités. Sur certains capteurs elle peut embarquer un système d'exploitation pour faire fonctionner le capteur. Elle peut aussi être couplée à une unité de stockage, qui servira par exemple à y enregistrer les informations transmises par l'unité d'acquisition de données.

b. L'unité d'acquisition

Composée d'un ou plusieurs capteurs, Habituellement elle est composée du capteur lui-même qui permet la mesure des grandeurs physiques ou analogiques et de l'ADC qui permet la conversion des données sur les paramètres environnementaux et les transformer en signaux numériques afin de pouvoir être traité par l'unité de traitement.

c. L'unité de communication

Est responsable de toutes les émissions et réceptions de données .Elle est équipée d'un couple émetteur/récepteur pour communiquer au sein du réseau. Il existe cependant d'autres possibilités de transmission (optique, infrarouge, etc...)

d. Batterie

Elle alimente les unités que nous avons citées et elle n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de conception de protocoles pour les réseaux de capteurs. Il existe des capteurs qui sont dotés d'autres composants additionnels tels que les systèmes de localisation GPS (Global Position System) [6].

1.3.3 Les types de capteurs

Il existe actuellement un grand nombre de capteurs, avec des fonctionnalités diverses et variées. La plupart des capteurs dépendent de l'application pour lesquels ils ont été conçus (capteurs aquatiques, sous-terrain, etc. .) En l'occurrence, la figure 1.3 illustre l'évolution des capteurs au cours de ces dernières années.

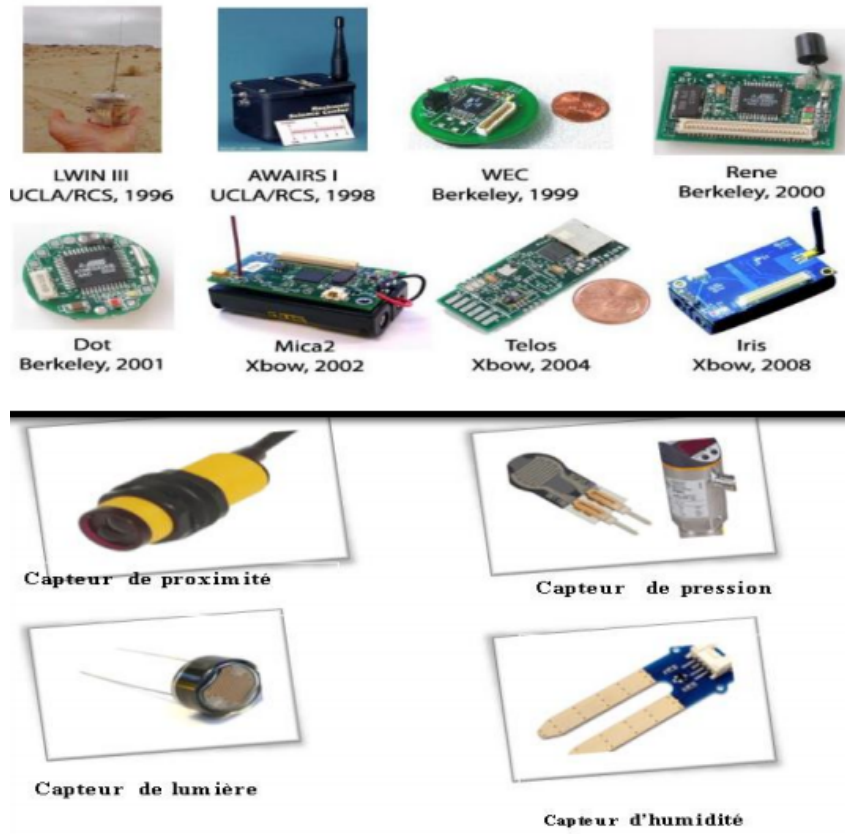


FIGURE 1.3 – Évolution des capteurs [2]

1.4 Applications des RCSF

Les RCSF peuvent avoir beaucoup d'applications (voir figure suivantes). Parmi elles, nous citons :

- **Découvertes de catastrophes naturelles :**

On peut créer un réseau autonome en dispersant les nœuds dans la nature. Des capteurs peuvent ainsi signaler des événements tels que feux de forêts, tempêtes ou inondations. Ceci permet une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours.

- **Détection d'intrusions :**

En plaçant, à différents points stratégiques, des capteurs, on peut ainsi prévenir des cambriolages ou des passages de gibier sur une voie de chemin de fer (par exemple) sans avoir à recourir à de coûteux dispositifs de surveillance vidéo.

- **Applications métier :**

On pourrait imaginer devoir stocker des denrées nécessitant un certain taux d'humidité et une certaine température (min ou max). Dans ces applications, le réseau doit pouvoir collecter ces différentes informations et alerter en temps réel si les seuils critiques sont dépassés.

- **Contrôle de la pollution :**

On pourrait disperser des capteurs au-dessus d'un emplacement industriel pour détecter et contrôler des fuites de gaz ou de produits chimiques. Ces applications permettraient de donner l'alerte en un temps record et de pouvoir suivre l'évolution de la catastrophe.

- **Agriculture :**

Des nœuds peuvent être incorporés dans la terre. On peut ensuite questionner le réseau de capteurs sur l'état du champ (déterminer par exemple les secteurs les plus secs afin de les arroser en priorité).

On peut aussi imaginer équiper des troupeaux de bétail de capteurs pour connaître en tout temps, leur position ce qui éviterait aux éleveurs d'avoir recours à des chiens de berger.

- **Surveillance médicale :** En implantant sous la peau de mini capteurs vidéo, on peut recevoir des images en temps réel d'une partie du corps sans aucune chirurgie pendant environ 24h. On peut ainsi surveiller la progression d'une maladie ou la reconstruction d'un muscle.

- **Contrôle d'édifices :**

On peut inclure sur les parois des barrages des capteurs qui permettent de calculer en temps réel la pression exercée. Il est donc possible de réguler le niveau d'eau si les limites sont atteintes. On peut aussi imaginer inclure des capteurs entre les sacs de sables formant une digue de fortune. La détection rapide d'infiltration d'eau peut servir à renforcer le barrage en conséquence. Cette technique peut aussi être utilisée pour d'autres constructions tels que ponts, voies de chemins de fer, routes de montagnes, bâtiments et autres ouvrages d'art.

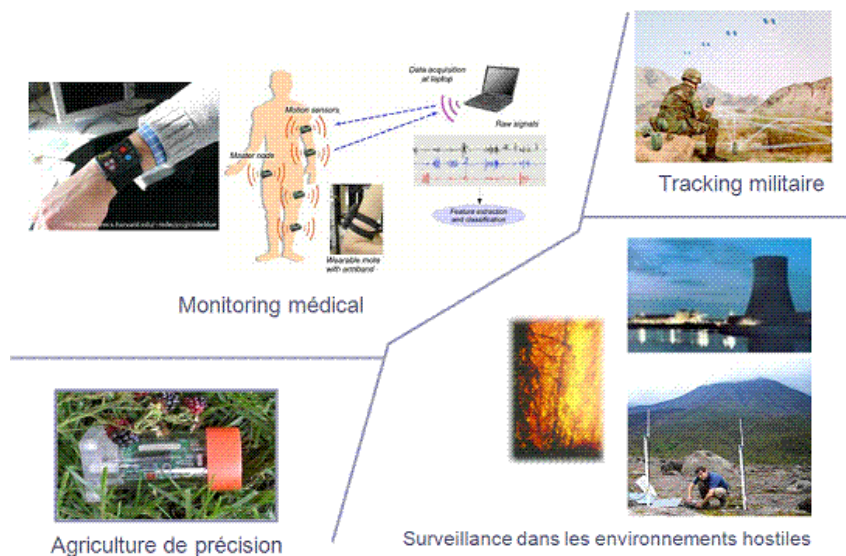


FIGURE 1.4 – Quelques domaines d'applications des RSCF .

1.5 Caractéristiques et contraintes des réseaux capteurs

Un réseau de capteurs présente les caractéristiques suivantes :

1.5.1 Déploiement

Le déploiement des capteurs est la première opération (phase) dans le cycle de vie d'un réseau de capteurs [7]. On peut envisager plusieurs formes de déploiements selon les besoins des applications. Les nœuds peuvent être déployés aléatoirement d'un avion par exemple,

ou bien ils peuvent être placés un par un d'une manière déterministe par un humain ou un robot. Le déploiement peut être fait d'un seul coup ou bien peut être un processus continu en redéployant d'autres capteurs dans une même zone. Dans un grand nombre d'applications, le déploiement manuel est impossible. De plus, même lorsque l'application permet un déploiement déterministe, le déploiement aléatoire est adopté dans la majorité des scénarios à cause de raisons pratiques tels que le coût et le temps. Cependant, le déploiement aléatoire ne peut pas fournir une distribution uniforme sur la région d'intérêt, ce qui déclenche de nouveaux problèmes dans les réseaux de capteurs. Les principaux problèmes engendrés sont la localisation, la couverture de la zone, et la sécurité.

1.5.2 Localisation

Comme les capteurs sont lâchés aléatoirement, chaque capteur doit définir lui-même sa position, pour pouvoir délivrer une information complète aux administrateurs. La localisation sert en particulier à identifier l'origine géographique de l'information (d'où vient-elle?). La majorité des applications exige la connaissance de la position physique des nœuds pour pouvoir localiser les événements. La question qui suit immédiatement la détection d'un événement est « où se passe-t-il? », sans connaître leurs positions, les nœuds seront incapables de répondre à une telle question. Plusieurs techniques de localisation sont disponibles. La première et la plus développée est l'utilisation du GPS (Global Positioning System). Cette technique n'est pas applicable à l'ensemble du réseau de capteurs, car elle est bien trop coûteuse du point de vue financier comme du point de vue énergétique. Pour réduire ce coût, on a proposé d'autres approches qui consistent à équiper une partie des capteurs d'un module GPS, permettant de se localiser grâce aux coordonnées terrestres (longitude et latitude). Une fois leurs coordonnées absolues récupérées, ces nœuds émettent leur position autour d'eux, qui servira ensuite de repères aux autres (ceux n'étant pas équipés de module GPS) pour qu'ils puissent à leur tour se localiser. Une deuxième technique de localisation consiste à déployer un seul nœud mobile au lieu de plusieurs équipés par un GPS. Une fois déployé, le mobile traverse toute la zone en diffusant des informations autour de lui pour aider les nœuds à trouver leurs positions—dans le chapitre suivant nous expliquerons plus en détails le problème de localisation ainsi que les différentes solutions existantes.

1.5.3 Couverture

Un nœud capteur permet de surveiller une zone appelée zone de couverture. Après un déploiement aléatoire une des questions fondamentales qui se pose après la localisation est la couverture. Elle consiste à déterminer le degré de couverture de la zone d'intérêt. On peut distinguer trois sortes de couverture [7]. La couverture « clairsemée », où les nœuds déployés assurent la couverture d'une partie de la zone d'intérêt. La couverture « dense », dans ce cas la zone est presque complètement couverte. La couverture « redondante », où on peut trouver des zones couvertes plusieurs fois par plusieurs nœuds. En général, la couverture peut être considérée comme la mesure de la qualité de service d'un réseau de capteurs. Par ailleurs, une mauvaise répartition des capteurs engendrera une perte de certains nœuds qui n'auront pas de voisins et qui par conséquent seront isolés et déconnectés du réseau.

1.5.4 Sécurité

Comme les nœuds sont dispersés dans une zone publique et ouverte, ils doivent être capables de maintenir privées les informations qu'ils recueillent. Par conséquent, la sécurité

des données dans les réseaux de capteurs devient encore plus significative. Ceci consiste à concevoir des protocoles pour assurer la sécurité des communications. La difficulté du problème vient de nombreuses limitations dont le déploiement aléatoire ou on ne doit pas présupposer une connaissance préalable de voisinage.

1.5.5 Énergie et durée de vie

La durée de vie est un élément essentiel pour tout réseau de capteurs sans fil. Le but de n'importe quelle application est d'avoir des nœuds placés sur le terrain pour des mois ou des années. Le principal facteur limitant la durée de vie d'un réseau de capteurs est l'énergie. Comme la seule source d'énergie d'un capteur est une batterie à durée de vie limitée, l'optimisation énergétique doit être prise en considération quel que soit le problème traité. Donc il est très important que les batteries durent le plus longtemps possible, étant donné que dans la plupart des applications il est impossible de retourner les changer. Plusieurs solutions, à la fois matérielles et logicielles, ont été proposées afin d'optimiser la consommation d'énergie pour maximiser la durée de vie du réseau de capteurs. Par exemple du côté des batteries l'utilisation des piles à combustible qui atteignent des performances bien supérieures aux batteries classiques. Au niveau logiciel, le but est de concevoir des algorithmes non complexes distribués pour minimiser la consommation d'énergie, et des protocoles (routage par exemple) à moindre communication. Diverses approches ont été proposées dans ce domaine.

1.5.6 Topologie dynamique

Le réseau de capteurs a une topologie dynamique surtout lorsqu'il s'agit d'un réseau mobile. La moindre défaillance énergétique d'un capteur peut donc changer significativement la topologie du réseau et imposer une réorganisation coûteuse de ce dernier. La perturbation des communications (comme les obstacles, l'interférence, etc.) peut induire des cassures des liens entre les nœuds voisins. Le redéploiement et l'ajout d'autres nœuds peuvent être envisagés pour pallier quelques défaillances. Dans tous les cas, le réseau de capteurs doit pouvoir se réorganiser rapidement avec un coût énergétique réduit. De nouveaux protocoles de communications (surtout de routage) doivent être développés afin de supporter les services hauts niveaux et les opérations temps réel, et de s'adapter facilement aux changements extrêmes du réseau.

1.5.7 Groupement «clustering»

Un réseau de capteur est souvent constitué de plusieurs milliers de nœuds capteurs. Pour réduire la complexité des algorithmes de routage, faciliter l'agrégation de données, simplifier la gestion du réseau comme l'affectation des adresses, et optimiser la consommation d'énergie, les nœuds sont regroupés dans des clusters. Les nœuds qui sont regroupés ensemble dans un cluster seront capables de communiquer facilement les uns avec les autres. Un chef de cluster est élu pour effectuer plusieurs tâches, comme le filtrage, la fusion et l'agrégation. Toutes les communications de tous les nœuds seront effectuées par l'intermédiaire du chef du cluster auquel ils appartiennent.

1.5.8 Communication multi-saut

Un réseau de capteurs est constitué d'un grand nombre de nœuds déployés dans une zone locale, ayant une courte portée (rayon communication), un faible débit et aucune

existence d'infrastructure. Un nœud capteur peut communiquer directement avec ses voisins, c'est-à-dire ceux qui sont à sa portée de communication, et fait office de routeur pour les autres nœuds

1.5.9 Mobilité

Un réseau de capteurs statique ne considère aucune mobilité des nœuds, ni de l'observateur, ni de la zone d'intérêt. Dans ce cas, les capteurs sont regroupés pour capter par exemple la température dans une région déterminée. D'autre part, dans un réseau de capteurs mobile les nœuds, la zone d'intérêt, et l'observateur sont mobiles. Si les nœuds se déplacent, cela implique un changement de la zone d'intérêt qui devient alors « mobile ». Comment un nœud peut-il être mobile? Il peut être attaché à un robot, à un être humain, véhicule, etc. À notre connaissance, pour l'instant la mobilité des réseaux de capteurs n'est pas largement traitée. La majorité des recherches existantes considèrent des réseaux statiques [7].

1.5.10 Identification

Les nœuds dans un réseau de capteurs sont souvent nommés par leurs attributs. Avec le grand nombre de nœuds, il peut être impossible de faire attention à chaque nœud à part. Par exemple, un utilisateur est plus intéressé par la zone ayant une température supérieure à 30 ° C, ou par la température moyenne dans le quadrant sud-est, plutôt que par la température du capteur dont son identifiant est 101.

1.6 Le principe de fonctionnement de RCSF

L'utilisation des RCSF est généralement reliée avec l'absence d'infrastructure. Ainsi leur fonctionnement demande l'utilisation de protocoles collaboratifs. Pour diriger au mieux ces réseaux, il faut ainsi trouver un accommodement entre les contraintes inhérentes aux capteurs et les exigences (besoin) exprimés par les applications.

1.6.1 Les piles protocolaires

Pour la communication, le puits et tous les nœuds capteurs emploient une pile de protocole présentée sur la figure 1.5. Cette pile de protocoles combine énergie et routage intelligent, intégration des données avec les protocoles réseaux, une communication avec consommation efficace de l'énergie sur un réseau sans fil et une coopération des efforts entre les nœuds capteurs. Elle comprend une couche physique, une couche de liaison de données, une couche réseau, une couche transport, une couche application ; en plus, un niveau de gestion de l'énergie, un niveau de gestion de la mobilité et un niveau de gestion des tâches [3].

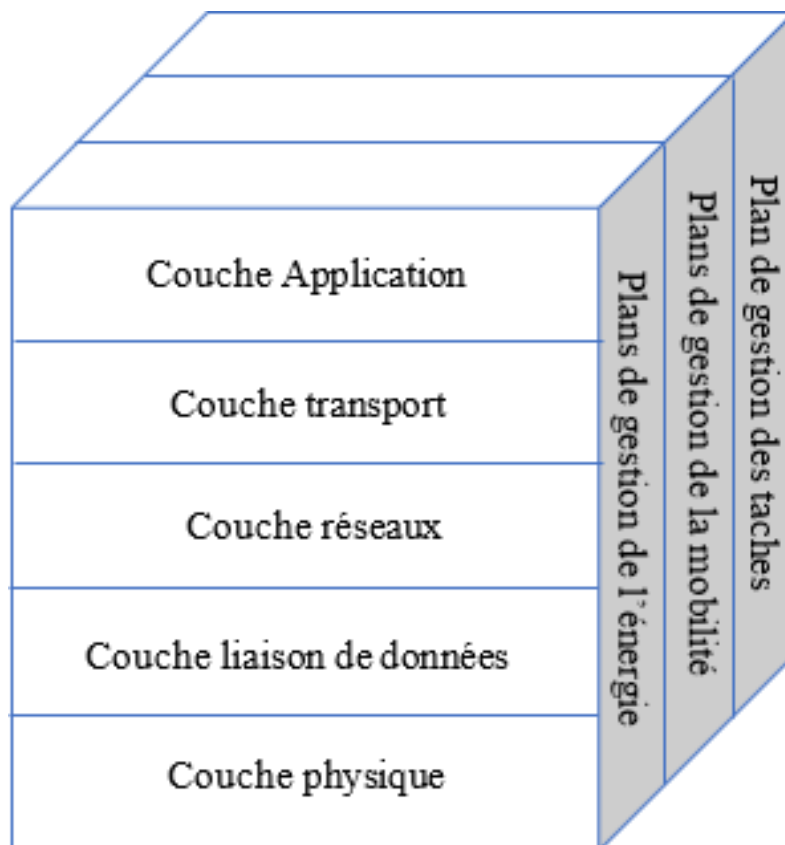


FIGURE 1.5 – Pile protocolaire [1]

Rôle des couches :

- Couche physique : Matériels pour envoyer et recevoir les données.
- Couche liaison de données : Gestion des liaisons entre les nœuds et les stations de base, contrôle d'erreurs.
- Couche réseau : Routage et transmission des données.
- Couche transport : Transport des données, contrôle de flux.
- Couche application : Interface pour les applications au haut niveau.
- Plan de gestion d'énergie : Contrôle l'utilisation d'énergie.
- Plan de gestion de mobilité : Gestion des mouvements des nœuds.
- Plan de gestion de tâche : Balance les tâches entre les nœuds afin d'économiser de l'énergie.

1.7 Le routage dans un RCSF

1.7.1 Définition de routage

Le routage est un processus qui permet de sélectionner des chemins dans un réseau pour transmettre des données depuis un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires. Le routage est une tâche exécutée dans de nombreux réseaux, tels que le réseau téléphonique, les réseaux de données électroniques comme l'Internet, et les réseaux de transports. Sa performance est importante dans les réseaux décentralisés, c'est-à-dire où l'information n'est pas distribuée par une seule source, mais échangée entre des agents indépendants. En fonction du nombre de destinataires et de la manière de délivrer le message, on distingue :

- Unicast : qui consiste à acheminer les données vers une seule destination déterminée.
- Broadcast : qui consiste à diffuser les données à toutes les machines.

- Multicast : qui consiste à délivrer le message à un ensemble de machines manifestant un intérêt pour un groupe.

- Anycast : qui consiste à délivrer les données à un seul membre d'un groupe, généralement le plus proche, au sens du réseau.

1.7.2 Approches d'établissement de routes

1. Approche basée sur l'état du lien Chaque nœud de réseau maintient une vue globale de la topologie du réseau qui lui permet de calculer les chemins vers toutes les destinations. Les nœuds diffusent périodiquement (par inondation) l'état des liens avec leurs voisins à tous les nœuds du réseau. La diffusion peut aussi être produite lorsqu'un des nœuds détecte un nouveau lien vers un de ses voisins corrompus ou lorsqu'une mise à jour de la table de topologie est faite. Le problème de cette approche, les messages de contrôle surchargent le réseau et surtout quand il s'agit d'un réseau avec un grand nombre de nœuds.

2. Approche basée sur le vecteur de distance Dans cette approche, chaque nœud transmet à ses voisins la distance en termes de nombre de sauts qui le sépare de chaque destination dans le réseau et le nœud voisin utilisé pour atteindre cette destination. Donc, un nœud établit les routes vers les autres destinations en se basant sur les informations reçues depuis tous ses voisins. Ce dernier calcule le chemin le plus court vers n'importe quelle destination dans le réseau. Si la distance séparant deux nœuds change on répète le processus de calcul. L'approche du vecteur des distances évite l'inondation, mais elle est moins précise que l'approche basée sur l'état du lien puisqu'il est aussi difficile de trouver des routes alternatives en cas de coupure de routes.

1.8 Type de routage

1.8.1 Selon la structure de réseau (figure 1.6)

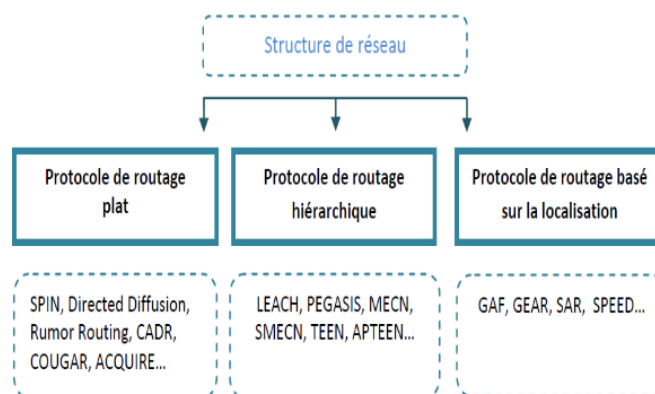


FIGURE 1.6 – Protocoles de routage pour les RCSF selon la structure du réseau [3]

Routage à plat : Appelé également routage centré données (data centric) où tous les nœuds ont les mêmes tâches à accomplir. C'est la première approche utilisée dans l'acheminement des données dans les RCSF. Elle se base sur la collaboration de tous les nœuds du réseau. Les propriétés des données sont spécifiées par un système de dénomination par attribut (attribut, valeur) en raison de la difficulté d'affecter un identificateur global à chaque nœud vu leur nombre important. Parmi leurs avantages, la simplicité d'où la possibilité d'établir des communications sans surcoût où chaque nœud n'aura besoin que

des informations de ses voisins directs. L'inconvénient est l'épuisement des ressources en énergie des nœuds proches de la station de base car tout le trafic vers cette dernière passe obligatoirement par eux.

1. Routage à plat :

Appelé également routage centré données (data centric) où tous les nœuds ont les mêmes tâches à accomplir. C'est la première approche utilisée dans l'acheminement des données dans les RCSF. Elle se base sur la collaboration de tous les nœuds du réseau. Les propriétés des données sont spécifiées par un système de dénomination par attribut (attribut, valeur) en raison de la difficulté d'affecter un identificateur global à chaque nœud vu leur nombre important.

Parmi leurs avantages, la simplicité d'où la possibilité d'établir des communications sans surcoût où chaque nœud n'aura besoin que des informations de ses voisins directs. L'inconvénient est l'épuisement des ressources en énergie des nœuds proches de la station de base car tout le trafic vers cette dernière passe obligatoirement par eux.

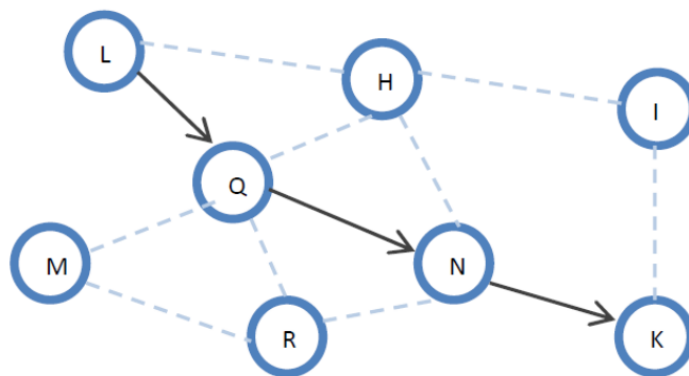


FIGURE 1.7 – Routage plat [3]

2. Routage hiérarchique :

Cette approche est basée sur la formation de clusters (zones communes). Le principe est de router les données récoltées par chaque nœud du cluster à son chef de zone (Cluster Head), qui et après des traitements sur leurs parties communes, les transmettra à la prochaine destination (Si le CH ne pourra pas atteindre directement la station de base, les informations seront routées vers le prochain chef de zone). L'avantage est la réduction des coûts en communication et en énergie en minimisant le nombre de messages circulant sur le réseau, étant donné que les CHs appliquent des fonctions d'agrégat sur les données du cluster ce qui permet de les combiner. L'inconvénient concerne la taille du réseau. En outre, quand la taille du réseau augmente, le processus d'élection du Cluster Head devient critique et gourmand en ressources.

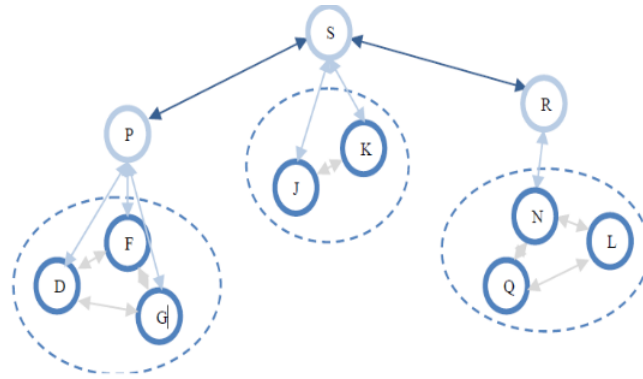


FIGURE 1.8 – Routage hiérarchique [3]

3. Routage basée sur la localisation :

L'identification des emplacements géographiques des nœuds capteurs sur la zone de captage est d'une importance capitale pour les mécanismes de routage de données dans les RCSF. Ces informations de localisation permettent le calcul des positions des capteurs et les distances qui les séparent afin de construire les chemins les plus courts entre un nœud source et sa destination.

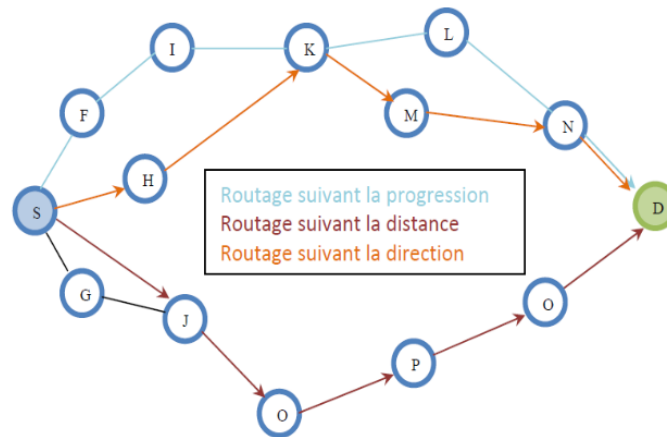


FIGURE 1.9 – Routage de localisation [3]

1.8.2 Selon le type de protocole (figure I.10)

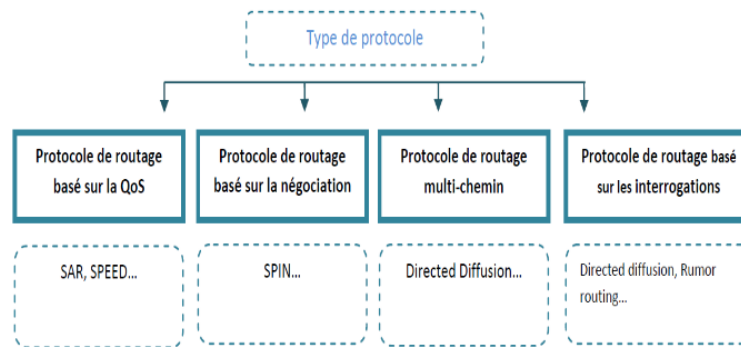


FIGURE 1.10 – protocole de routage pour les RCSF selon le type de protocole [3]

4. Protocole de routage multi-chemin :

Il se base sur l'adoption de plus qu'un chemin menant vers la destination, et ce, pour avoir des chemins de secours si jamais le chemin principal serait rompu.

5. Protocole de routage basé sur la négociation des données

En détectant le même phénomène, les nœuds capteurs inondent le réseau par les mêmes paquets de données. Ce problème de redondance peut être résolu en employant des protocoles de routage basés sur la négociation. En effet, avant de transmettre, les nœuds capteurs négocient entre eux leurs données en échangeant des paquets de signalisation spéciales, appelés META-DATA. Ces paquets permettent de vérifier si les nœuds voisins disposent des mêmes données à transmettre. Cette procédure garantit que seules les informations utiles seront transmises et élimine la redondance des données.

6. Protocole de routage basé sur les interrogations :

La collecte des informations sur l'état de l'environnement est initiée par des interrogations envoyées par les nœuds « Sink ».

7. Protocole de routage basé sur la QoS :

Ce type de protocoles tend à satisfaire certaines métriques, pendant la transmission des données vers la destination finale. Parmi ces métriques, nous citons : le délai de bout en bout, la gigue, PDR (Paquet Delivery Ratio), énergie consommée.

*** Protocoles de routage non halachique****1- AODV : (Ad-hoc OnDemand Distance Vector)**

C'est un protocole à vecteur de distance, comme DSDV, mais il est réactif plutôt que proactif comme DSDV. En effet, AODV ne demande une route que lorsqu'il en a besoin. Une entrée de la table de routage contient essentiellement l'adresse de la destination, l'adresse du nœud suivant, la distance en nombre de sauts (i.e. le nombre Des nœuds nécessaires pour atteindre la destination), le numéro de séquence destination, le temps d'expiration de chaque entrée dans la table.

2- SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation)

L'idée derrière le SPIN est d'échanger des informations sur les données à envoyer en utilisant des paquets de signalisations spéciales nommées méta-DATA. Ceci permet d'éviter le problème des données redondantes.

3- DSDV (Destination Sequenced Distance Vector)

DSDV est un protocole proactif de routage à vecteur de distance. Chaque nœud du réseau maintient une table de routage contenant le saut suivant et le nombre de sauts

pour toutes les destinations possibles. Des diffusions de mises à jour périodiques tendent à maintenir la table de routage complètement actualisée à tout moment.

4- GSR (Global State Routing)

Le protocole GSR est un protocole similaire au protocole DSDV décrit précédemment. Ce protocole utilise les idées du routage basé sur l'état des liens (Link State, LS), et les améliore en évitant le mécanisme inefficace d'inondation des messages de routage. GSR utilise une vue globale de la topologie du réseau, comme c'est le cas dans les protocoles basés sur LS. Le protocole utilise aussi une méthode, appelée la méthode de dissémination, utilisée dans le DBF (Distributed Bellman-Ford).

5- DSR (Dynamic Source Routing) DSR

Est un protocole de routage réactif qui utilise le routage de source afin d'envoyer des paquets de données. Dans ce type de routage, les entêtes des paquets de données portent la séquence des nœuds à travers lesquels le paquet doit passer.

6- OLSR (Optimized Link State Routing)

Comme son nom l'indique, OLSR est un protocole proactif à état des liens optimisé ; il permet d'obtenir aussi des routes de plus court chemin.

7- GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)

Ce protocole de routage géographique se base sur le fait que tous les nœuds connaissent leur position, par exemple, grâce à un équipement GPS (Global Positioning System) ou encore par un système de positionnement distribué [8].

1.9 Les technologies utilisant dans les RCSF

1.9.1 IEEE 802.11x/WiFi

Le protocole de communication WiFi est le plus utilisé pour toutes les applications sans fil, les capteurs ont eu recours ce protocole pour permettre la communication entre nœuds. En outre, cette technologie exige une consommation d'énergie trop importante. Par conséquent, la durée de vie de capteurs alimentés par des piles ne dépasse généralement quelques heures C'est pourquoi les applications de capteurs à base de communication sans fil WiFi ont été négligées [9].

1.9.2 IEEE 802.15.1/Bluetooth

Elle utilise des communications sur de courtes distances avec un débit de communication limitée, ceci a comme but la création et le maintien de réseaux à portée personnelle. Mais il n'est pas le plus utilisé dans les réseaux de capteurs car son grand défaut est sa trop grande consommation d'énergie [10].

1.9.3 IEEE 802.15.4/ Zigbee

Il nécessite très peu d'énergie pour son fonctionnement ce qui favorise l'utilisation de ce standard dans le cas des réseaux de capteurs.

1.10 Les Systèmes d'exploitation

Les systèmes d'exploitation dédiés aux réseaux de capteurs sont aujourd'hui embarqués dans le nœud capteur, cette tendance a permis de développer davantage du caractère

intelligent de ces nœuds capteurs. À cet effet, plusieurs systèmes d'exploitation ont été développés, les plus connus dans ce domaine sont TinyOs et Contiki,

1.10.1 TinyOS

Est un système d'exploitation intégré, modulaire, open source destiné aux RCSF. Sa conception a été entièrement réalisée en NesC « langage orienté composants syntaxiquement proche du C », cette plate-forme logicielle ouverte est une série d'outils développés par l'Université de Berkeley et enrichie par une multitude d'utilisateurs. Cet OS est capable d'intégrer très rapidement les innovations en relation avec l'avancement des applications et des réseaux eux-mêmes tout en minimisant la taille du code source NesC en raison des problèmes inhérents de mémoire dans les réseaux de capteurs. Afin de permettre l'extension des capteurs par d'autres fonctionnalités, TinyOS est structuré en plusieurs composants avec interfaces bidirectionnelles [11].

1.10.2 Contiki

Est un système d'exploitation open-source, multitâche, Léger, et flexible pour les capteurs des réseaux sans fils développé et soutenu par l'Institut d' Informatique Suédoise par Adam Dunkels. Le système complet est supposé pouvoir tourner sans problème avec 2 ko de RAM et 40 ko de mémoire flash, il est configurable modulaire pour réseaux de capteurs, le code est écrit en c.

1.10.3 LiteOS

C'est un système open, il est utilisé le langage de programmation C++, dans son développement des programmes et leur déploiement sur les capteurs. LiteOS possède une faible empreinte mémoire et peut fonctionner avec 4 ko de RAM et 128 Ko de mémoire flash. Les résultats expérimentaux montrent que le système TinyOS est le système le plus économe en énergie en comparaison avec les autres systèmes.

1.10.4 SOS

Système d'exploitation développé par l'université de Los Angeles en Californie (UCLA) écrit en langage C et qui reprend le système de programmation événementielle [12].

1.10.5 Mantais OS

Système d'exploitation dédié aux réseaux de capteurs développé par l'université du Colorado (USA) et écrit en langage C. Contrairement à TinyOs qui est basé sur un modèle de programmation événementielle, Mantis OS s'articule autour d'un modèle commandé par l'exécution de processus [13].

1.10.6 Nut/OS

Système d'exploitation multitâches pour systèmes embarqués avec une pile TCP/IP.

1.10.7 Nano-RK

Est un système d'exploitation temps réel basé sur les réservations (RTOS) entièrement préemptif. Conçu par l'université de Carnegie Mellon avec une prise en charge de routage

multi sauts pour une utilisation dans les réseaux de capteurs sans fil. Nano-RK fonctionne actuellement sur la plateforme FireFly ainsi que sur les nœuds MicaZ [14].

1.11 Objectif de l'étude :

Le modèle a été conçu pour étudier l'efficacité énergétique du protocole de routage multi-sauts pour les réseaux de capteurs sans fil décentralisés.

- La principale question était de savoir comment l'efficacité énergétique était atteinte dans les réseaux utilisant le routage multi-sauts ?
- Quels paramètres ont donné les économies d'énergie optimales par rapport à la transmission directe ?
- Comment la durée de vie du réseau est-elle affectée par les modifications de ces paramètres dans le même réseau ?

1.12 Conclusion

Nous avons parcouru les différentes notions de base dans les réseaux de capteurs sans fil ainsi que les principaux protocoles de routage dans les réseaux de capteurs et quelle que les protocoles de routages utilisés, le prochain chapitre détaillera le fonctionnement du protocole ODD (Overview, Design Concepts, and Details) qui est l'un des protocoles de communications les plus importants dans ce domaine ainsi que la modélisation.

Chapitre 2

Les principes de protocole odd « overview, design concepts end details » et modélisation

2.1 Introduction

Un réseau sans fil multi-saut est un ensemble d'entités mobiles et/ou fixes formant un réseau dynamique temporaire avec ou sans l'aide de toute administration centralisée. Cette particularité rend le routage problématique en cas d'instabilité des éléments qui composent les communications non directes. Afin de palier ces problèmes, de nouvelles formes de routage sont utilisées comme le routage multi-chemin (MC). Le routage MC permet d'envoyer les données sur des chemins multiples et semble être une solution efficace pour ces réseaux. Ce fichier décrit un modèle basé sur des agents pour étudier l'efficacité énergétique du routage multi-sauts dans un réseau de capteurs sans fil décentralisé. est primordial dans ce domaine. La modélisation d'un processus, d'un concept ou d'un système du monde réel, consiste à créer une association de fonctions et d'équations, appelée modèle, qui sert comme une approximation, une représentation ou une idéalisation de certains des aspects de sa structure, de son comportement, de sa fonction, ou de ses caractéristiques. Cette modélisation peut être utilisée pour représenter :

- Le système en cours de développement.
- L'environnement dans lequel le système opère. Et notre système dont on va travailler est en mesure de faire :
 - La modélisation de l'environnement opérationnel dans lequel chaque élément qui compose le réseau va fonctionner.
 - La simulation du protocole d'inondation par des capteurs sans fils fixes.
 - Le développement de ces concepts pour consolidation avant l'engagement du développement du système réel.
 - La comparaison entre les concepts/solutions candidats répondant aux probléma-

tiques posées et les concepts et options qui offrent le meilleur fonctionnement.

2.2 Les critères de performance des protocoles de routage en RCSF

La performance des réseaux de capteurs sans fil est fondée sur les facteurs suivants :

- **Évolutivité** : l'évolutivité est un facteur important dans les réseaux de capteurs sans fil. Une zone de réseau n'est pas toujours statique, elle change selon les besoins des utilisateurs. Tous les nœuds dans le domaine du réseau doivent être évolutifs ou être en mesure de s'adapter aux changements dans la structure du réseau en fonction de l'utilisateur.

- **L'énergie** : chaque nœud utilise peu d'énergie pour des activités telles que la détection, le traitement, le stockage et la transmission. Un nœud dans le réseau doit savoir combien d'énergie sera utilisée pour effectuer une nouvelle tâche à laquelle il est soumis. L'énergie consommée peut varier selon le type de fonctionnalité ou l'activité qu'il a à accomplir.

- **Le temps de traitement** : il se réfère au temps pris par le nœud dans le réseau pour assurer l'ensemble de l'opération commençant par la détection, le traitement des données ou le stockage de données, la transmission ou la réception sur le réseau.

- **Le schéma de transmission** : la transmission de données par les nœuds de capteurs vers la destination ou la station de base se fait par un schéma de routage à un seul saut ou à multi saut.

- **La capacité du réseau** : tous les nœuds du réseau de capteurs utilisent certaines ressources du réseau qui les aident à accomplir certaines activités comme la détection ou la transformation.

- **Synchronisation** : dans les communications radio entre les nœuds de capteurs d'un WSN, les capteurs écoutent en permanence les transmissions et consomment de l'énergie s'ils ne sont pas synchronisés les uns les autres. Pour cela, un nœud doit avoir la même notion de temps pour se mettre en veille et se réveiller que ses voisins.

- **Contrôle de paquets** : un paquet envoyé avant la transmission entre deux nœuds est appelé le paquet de contrôle. Le paquet de contrôle contient le nombre de bits de données envoyés, l'adresse du nœud de destination et certaines informations qui contribuent à éviter les collisions pendant la transmission. Protocole utilise

2.3 Pourquoi choisir le protocole ODD :

La capacité de traiter les différents niveaux du modèle de manière incrémentielle Description, du plus général au plus détaillé. Assez Parce qu'on ne peut pas rentrer directement dans les détails ou le code collector Modèle. Par conséquent, il est nécessaire d'avoir une vue d'ensemble pour le comprendre Le contexte du modèle et ses objectifs, pour comprendre ce que fait le modèle Avant de savoir comment le faire, concentrez-vous progressivement sur ses composantes globales et leurs interactions. nous avons ensuite Vous pouvez étape par étape les détails des données manipulées et opérations modélisées. Et dans ce but même l'ODD. le protocole était Avancée. Ce protocole sera décrit dans notre thèse.

2.4 Principe et fonctionnement du protocole «ODD »

Le principe de Schéma de routage multi-sauts dans Le protocole ODD (Overview, Design Concepts, and Détails) a été publié pour les réseaux sans fil décentralisés. Les modèles de simulation qui décrivent des objets indépendants individuels (modèles individuels, IBM) ou des agents (modèles à base d'agents, ABM) sont devenus un outil largement utilisé, non seulement en écologie, mais aussi dans de nombreuses autres disciplines traitant de systèmes complexes composés de destinations. Cependant, il n'existe pas de protocole standard pour décrire ces simulations, ce qui peut les rendre difficiles à comprendre et à reproduire. Cet article présente une proposition de protocole standard, ODD, pour décrire les IBM et les ABM, développé et testé par 28 concepteurs couvrant un large éventail de domaines au sein de l'écologie. Ce protocole se compose de trois groupes (aperçu, concepts de conception et détails), qui sont divisés en sept éléments dans le même ordre (Figure 2.1) :

Overview	Purpose
	State variables and scales
	Process overview and scheduling
Design concepts	Design concepts
Details	Initialization
	Input
	Submodels

FIGURE 2.1 – Les sept éléments du protocole ODD

Qui peuvent être regroupés en trois groupes : vue d'ensemble, concepts de conception et détails [15].

2.4.1 But «Purpose »

Le modèle est conçu pour étudier l'efficacité énergétique d'un protocole de routage multi-sections pour les réseaux de capteurs sans fil décentralisés. La principale question était de savoir comment l'efficacité énergétique a-t-elle été atteinte dans les réseaux utilisant le routage multipoint ? Quels paramètres ont permis des économies d'énergie optimales par rapport à la transmission directe ? Comment la durée de vie du réseau est-elle affectée par les modifications de ces paramètres dans le même réseau ?

2.4.2 Entités, variables de pays et métriques « Entities, State Variables and Scales »

Le formulaire a deux entités. Nœuds de capteurs sans fil et paquets de données. Les nœuds sont dispersés de manière aléatoire dans une zone de 150 x 150. Ils ont les variables suivantes : puissance, emplacement géographique et estimation de l'état du canal. Les paquets de données ne contiennent qu'une seule variable. Sa taille est fixe. La longueur d'un pas de temps équivaut à un cycle de transmission de données entre une source aléatoire et un nœud de destination.

2.4.3 Présentation du processus et de la planification « Process Overview and Scheduling »

Il y a trois processus principaux dans ce modèle. Le premier processus implique deux nœuds aléatoires qui initient la communication entre eux en envoyant des paquets RTS (demande d'envoi) et CTS (scan pour transmission) à la puissance de transmission maximale. Le deuxième processus implique le nœud source, qui recherche tous les nœuds connectés avec une bonne qualité de lien et sélectionne le meilleur nœud en termes de géo localisation comme étape suivante. Le dernier processus consiste en l'envoi du nœud source au nœud relais sélectionné avec la puissance de transmission correspondante.

2.4.4 Principes de conception « Design Concepts »

Le principe principal abordé dans ce modèle est la fourniture de puissance possible du routage multi-sauts pour les communications sans fil d'égal à égal. L'énergie nécessaire pour transmettre à un nœud distant est beaucoup plus que l'énergie nécessaire pour transmettre à un nœud proche. Ce protocole suit un schéma de communication et de décodage simple. Les agents (nœuds de capteurs sans fil) décident quel nœud relayer en fonction de la qualité de la liaison et de l'emplacement géographique. Ainsi, un comportement adaptatif apparaît entre les agents pendant le temps d'opération. Les paramètres de réseau optimaux peuvent être calculés en examinant le modèle dans un environnement de réseau décentralisé. Le caractère aléatoire est utilisé dans ce modèle pour modéliser différents nœuds essayant de communiquer entre eux.

2.4.5 Initialisation « Initialization »

La grille est initialisée au démarrage du formulaire. Les nœuds sont déployés au hasard pour simuler un réseau de capteurs décentralisé sur une vaste zone. Les nœuds de capteur sont également initialisés dans le processus. L'énergie initiale des nœuds et leurs emplacements géographiques sont reconnus par les agents. Tous les agents établissent une bonne liaison sans fil avec des nœuds ayant une bonne qualité de liaison.

2.4.6 La saisie des données « Input Data »

L'environnement reste constant pendant la simulation. Par conséquent, il n'y a pas de données d'entrée pour le modèle d'environnement.

2.4.7 Sous-formulaire « Submodel »

Il n'y a qu'un seul sous-formulaire dans ce formulaire. Lorsque le nœud relais n'a pas d'autres nœuds avec une bonne qualité de liaison et un emplacement géographique idéal vers lequel migrer, il choisit le deuxième meilleur nœud et lui transfère les données.

2.5 Algorithme ODD implémenter

Emax // énergie max, paramétrable

Energy // energie initiale, paramétrable

Energy_threshold // seuil d'énergie

Energy_direct = 0 Energy_realy = 0

TQ(énergie de tous les nœuds >0) Alors

1- 1- Désigner un nœud source et un nœud destination et calculer leurs énergie avec la formule :

* $energy = energy - Emax$

calculer aussi

* $energy_relay = energy_relay + 2*Emax$

* $energy_direct = energy_direct + 2*Emax$

2- La source envoie un message à tous ses voisins

3- Désigner un nœud relais « Relay mode » parmi les nœuds voisins (le nœud le plus proche à la destination) et calculer l'énergie du « Relay mode » en utilisant la formule :

* $energy = energy - energy_threshold$

* la distance entre le nœud émetteur et le nœud relais

* calculer l'énergie relais et direct : $energy_relay = energy_relay + energy_threshold$

* la distance entre le nœud émetteur et le nœud relay $energy_direct = energy_direct + energy_threshold$

* la distance entre le nœud émetteur et le nœud destination

4- Repeat

Le relay mode transmet le message à tous ses voisins et les étapes 2 et 3 sont se exécutées jusqu'à arrive au nœud destination

FIN

2.6 Modélisation UML

Dans cette section, nous utilisons l'approche de modélisation UML pour modéliser les taches de configuration et les échanges d'informations entre différents objets communicants qui interviennent dans l'environnement d'évaluation et de test utilisé dans le cadre de ce projet. Les diagrammes de séquences nous permettent de modélisation des échanges, et le diagramme de cas d'utilisation nous facilite la description de l'interaction du concepteur avec l'environnement indépendamment du choix des plates-formes matérielles envisagé. Cette méthode de modélisation a été motivée par le fait que les plats-formes de capteurs disponibles sur le marché obéissant généralement aux mêmes règles d'utilisation et d'exploitation. Elle nous faciliteront dans la future de mener de nouvelles expérimentation et tests sur différentes plates-formes à des échelles variables.

2.6.1 Diagramme de séquence

Nous décrivons dans les paragraphes qui suivent les différents diagrammes de séquences modélisant les aspects pertinents de l'environnement d'évaluation et de test. Il s'agit dans un premier temps des diagrammes dédiés à la configuration et le déploiement pour deux cas distincts : cas mono saut et cas multi sauts. Le deuxième cas n'a pas été expérimenté dans ce travail, mais qui ne présente pas réellement de difficultés techniques. Il suffit qu'un algorithme de routage adapté pour notre contexte soit disponible pour pouvoir l'implémenter dans les nœuds relais. Dans un second temps, il s'agit d'un diagramme de séquence dont l'objectif est de mieux illustrer les séquences par lesquelles passe une opération de collecte de données depuis la source jusqu'au sink.

Diagramme de séquence et de configuration

Ce diagramme montre l'échange des différents messages de configuration et de déploiement qui peuvent avoir lieu entre les objets communicants : sink et le poste de travail. Dans ce cas, le capteur est supposé fixé dans la carte de programmation (sink).

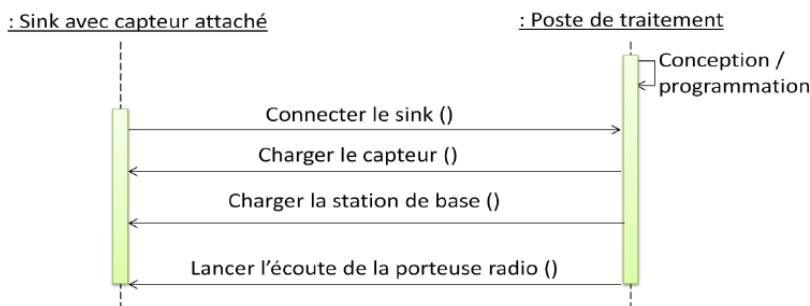


FIGURE 2.2 – Diagramme de séquence modélisant la configuration.

Diagramme de séquence modélisant le déploiement/configuration des capteurs et le relais via la radio

Ce diagramme montre l'échange des différents messages de configuration et de déploiement qui peuvent avoir lieu entre les objets communicants : capteurs, relais, sink et le poste de travail. Dans ce cas, la programmation des capteurs et des relais se fera par la radio, le médium c'est l'air.

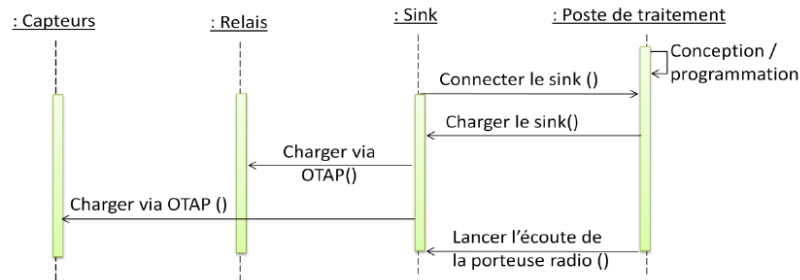


FIGURE 2.3 – Diagramme de séquence et de déploiement/configuration des capteurs et le relais via la radio

Diagramme de séquence modélisant la collecte des données en mode multi saut

Ce diagramme montre l'échange des différents messages de collecte des données qui peuvent avoir lieu entre les objets communicants : capteurs, relais, sink et le poste de travail.

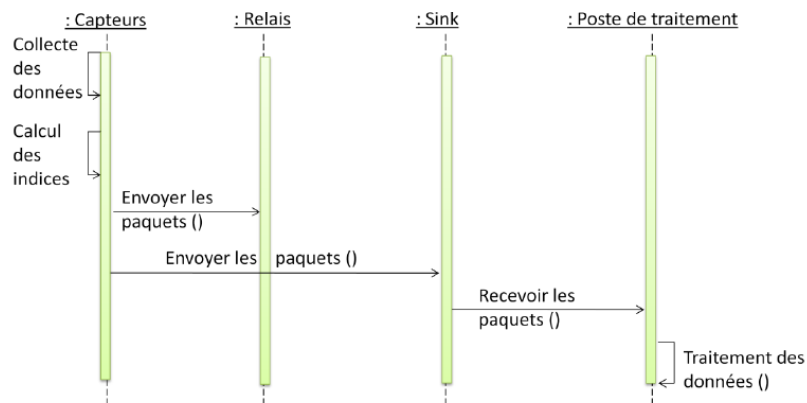


FIGURE 2.4 – Le diagramme de séquence modélisant la collète des données en mode multi-saut.

2.7 Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons simplifiée une modélisation de comportement du protocole ODD « Overview, Design Concepts, and Details » dans les réseaux de capteurs sans fils avec des diagrammes de séquence bien définis et des automates de transition .dans le chapitre suivant nous présentons l'implémentation de la simulation.

Chapitre 3

Simulation et réalisation

3.1 Introduction

Avant sa mise en œuvre, le déploiement d'un réseau de capteurs nécessite une phase de simulation, afin de s'assurer du bon fonctionnement de tous les appareils. En effet, pour les grands réseaux, le nombre de capteurs peut atteindre plusieurs milliers, et donc un coût financier relativement élevé. Le protocole ODD a donc été conçu comme un outil facilitant la communication et la réplication pour les IBM et les modèles basés sur les agents (ABM). Nous considérons le protocole comme une première étape dans la création d'un format commun plus détaillé pour décrire les systèmes IBM et ABM. Les applications de test ODD montrent qu'elles ne résolvent pas immédiatement tous les problèmes de connectivité avec les réseaux IBM ou ABM, mais c'est un pas dans la bonne direction.

Dans ce chapitre, nous allons d'abord présenter la plate-forme du logiciel que nous avons utilisé pour effectuer (la simulation), puis nous présenterons les contextes de simulation à travers des captures d'écran bien illustrées.

3.2 Environnement de travail

3.2.1 Présentation de NETLOGO

- Net Logo est un environnement de programmation pour la modélisation/simulation de phénomènes collectifs naturels
- Bien adapté à la modélisation de systèmes complexes composés de centaines, de milliers d'agents agissant en parallèle
- Possibilité de « jouer » avec de nombreuses simulations en sociologie, biologie, médecine, physique, chimie, mathématiques, informatique, économie et psychologie sociale.
- Possibilité de créer ses propres modèles.

3.2.2 Les concepts Agents

Le monde de Netlogo est constitué d'Agents, qui peuvent suivre des instructions. Les activités des différents agents s'exécutent simultanément. Il y a 3 types d'agents : tortues, patches et observateur.

- Les **Tortues** sont les agents qui se déplacent dans le monde. Ils correspondent aux agents vus en cours.
- Le **Monde** est en 2D ou 3D, divisé selon une grille (torique ou non) de patches.

- Un **Patch** est une portion de sol sur laquelle les tortues peuvent se situer et se déplacer. Les patches correspondent au concept d'environnement vu en cours
- L'**Observateur** regarde de l'extérieur le monde des tortues et des patches (n'est pas situé dans le monde).

3.3 Outils de rédaction

Dans les sections précédentes on a procédé à la définition des outils de langages de programmation propre à l'application, cependant concernant la transcription du rapport de notre mémoire, on a utilisé latex comme outil de rédaction

3.4 Protocole de routage utilisé

ODD (Overview, Design Concepts, and Details)

Ce protocole est basé sur une architecture composée de :

- Station de base : ils sont fixes et adressable.
- Routeurs.
- Capteurs : ils peuvent être hétérogènes, fixes ou mobiles, ainsi Ils surveillent l'environnement et renvoient les données vers la station de base via des routeurs, et ils sont identifiables via l'adresse du routeur auquel ils sont connectés et ce basant sur sa position dans la hiérarchie. L'auto-organisation des routeurs et la création des tables de routages s'effectué en quatre phases :

1. **Phase de découverte** : les capteurs qui se trouvent dans le voisinage de chaque routeur sont découverts.
2. **Phase d'organisation** : durant cette phase les groupes de capteurs sont constitués et fusionné en formant une hiérarchie . Chaque nœud se voit assigner une adresse basé sur la position sur la hiérarchie
3. **Phase de maintenance** : mettre à jour les tables de routages et les niveaux d'énergie.
4. **Phase d'auto réorganisation** : dans le cas de partitionnement du réseau, ou de panne d'un nœud.

3.5 L'implémentation

Pour la réalisation de notre travail nous avons utilisé le simulateur NetLogo comme cité ci-dessus et la figure suivante présente l'interface de notre simulateur ODD.

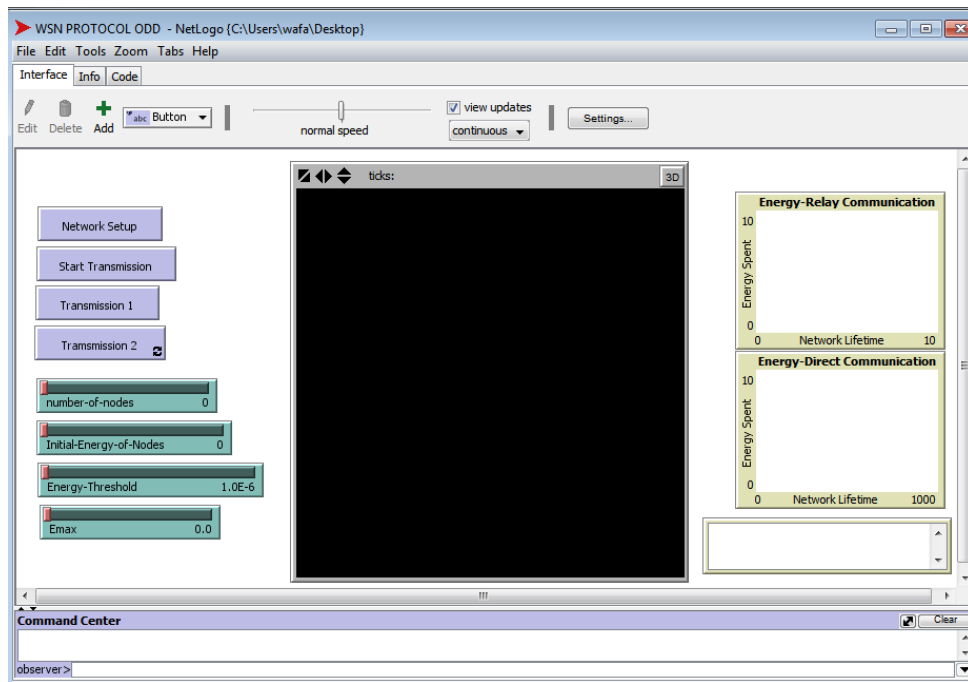


FIGURE 3.1 – Interface de notre simulateur ODD

Cette fenetre apparait quand on ouvre l'application , elle montre Trois Onglets :

- Interface : visualisation de la Simulation.
- Information : informations textuelles sur le modèle à Simuler.
- Procédures : code net logo décrivant le modèle. Dans l'onglet Interface on distingue les composants suivants :

1- Les paramètres :

Les boutons verts sont des boutons de paramétrage

number-of-nodes : Permet de choisir le nombre des nœuds du réseau pour une valeur [0 a 200] incrément par 10

Initial-Energy-of-Nodes : permet d'initialiser l'énergie des nœuds en prenant des valeurs entre [0 a 1000] incrément 10

Energy-Threshold : permet de paramétrer le seuil d'énergie des nœuds [0.000001 A 0.1] incrément 0.00000000001

Emax : Pour saisir l'énergie max des nœuds [0 a 1] incrément 0.1

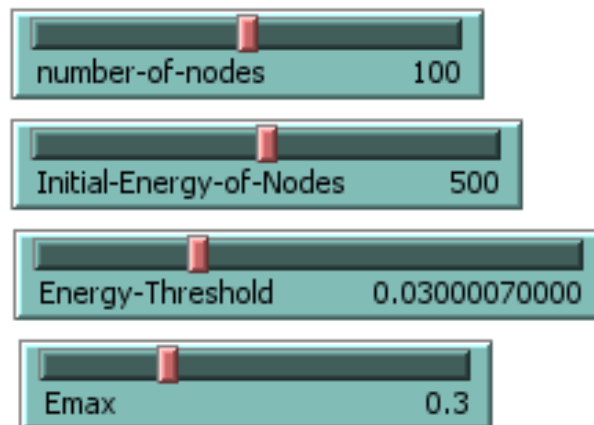


FIGURE 3.2 – Les parametres de simulation

2 - Les courbes :

Les deux courbes affichent le résultat de simulation en fonction de l'énergie dépensée dans le temps, une pour la communication en utilisant un relais et l'autre pour la communication directe.

3- Monde de simulation :

C'est le rectangle noir, il représente le monde sur lequel les agents évoluent.

4- Une fenêtre d'affichage :

Affiche les résultats de simulation sous forme de valeurs pour les deux modes de communication (directe et relais), c'est une lecture des courbes

5- Les boutons On distigue 4 boutons :

SETUP : Procédure SETUP appelée par le bouton Network Transmission
génération des agents.

affectation des valeurs initiales aux différentes variables.

Bouton de Créer des liens vers les nœuds du capteur sans fils Pour configurer un cluster de réseau spatial.

Le code de ce bouton est comme suite :

```
to setup
  setup1
  setup-spatially-clustered-network
  ask links [set color white
  set visit false
  ]
end

to setup1
  __clear-all-and-reset-ticks
  set dead-network 0
  create-nodes number-of-nodes
  [
    setxy (random-xcor * 0.95) (random-ycor * 0.95)
    set shape "circle"
    set color green
    set visited false
    set label who
    set energy Initial-Energy-of-Nodes
  ]
end
```

FIGURE 3.3 – Code du bouton « Network Setup »

Si on clique sur le bouton « Network Setup » pour le déploiement des nœuds et faire la configuration initial ,la fenêtre suivante apparaît :

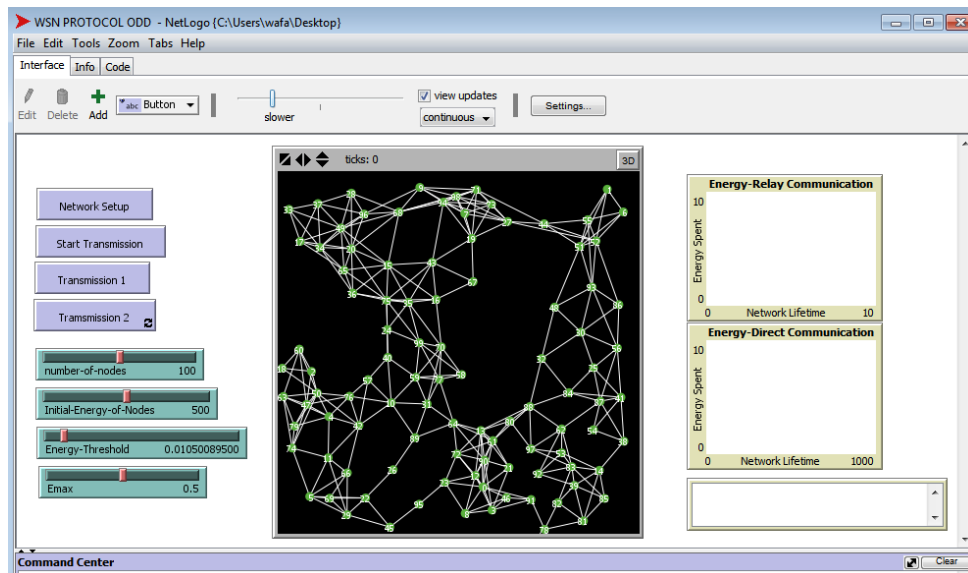


FIGURE 3.4 – Création du réseau

Si on clique sur le bouton « Start Transmission » deux nœuds parmi les nœuds du réseau seront sélectionnés comme source et destination. Ce bouton affiche la fenêtre suivante :

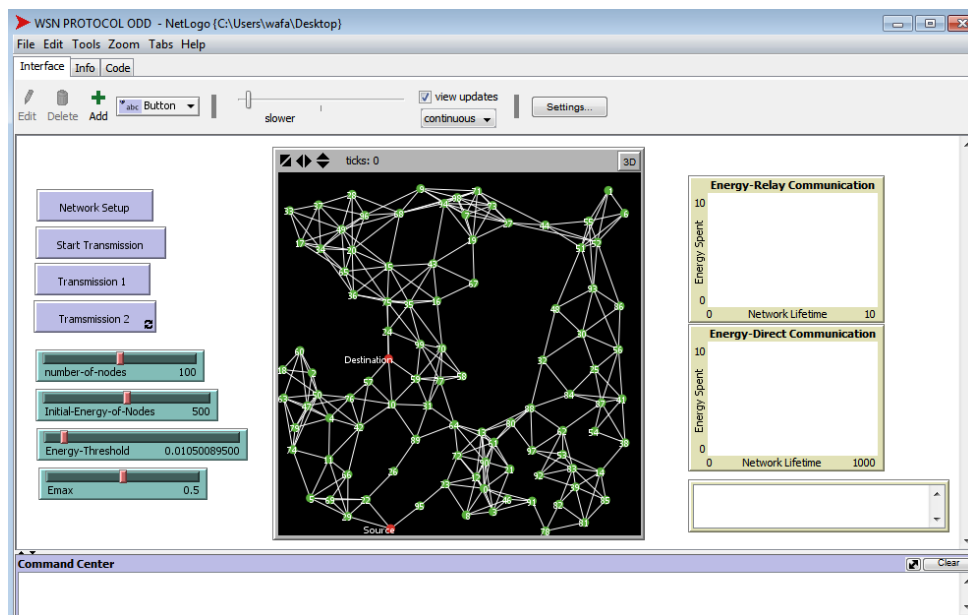


FIGURE 3.5 – Désignation des deux nœuds source et destination

Le code du bouton "start Transmossion" est comme suit :

```

to test1
ask one-of nodes
[
set color red
set label "Source"
set nodenumbersource who
set energy energy - Emax
]
ask one-of nodes with [color = green]
[
set color red
set label "Destination"
set nodumberdestination who
set energy energy - Emax
]
set energy-relay energy-relay + 2 * Emax
set energy-direct energy-direct + 2 * Emax
end

```

FIGURE 3.6 – Code du bouton "Start Transmossion"

Si on clique sur le bouton « Transmission1 » le nœud source vérifie tous les nœuds qui lui sont associés avec une bonne qualité de lien et sélectionne le meilleur nœud en termes de géo-localisation. Ce bouton affiche la fenêtre suivante :

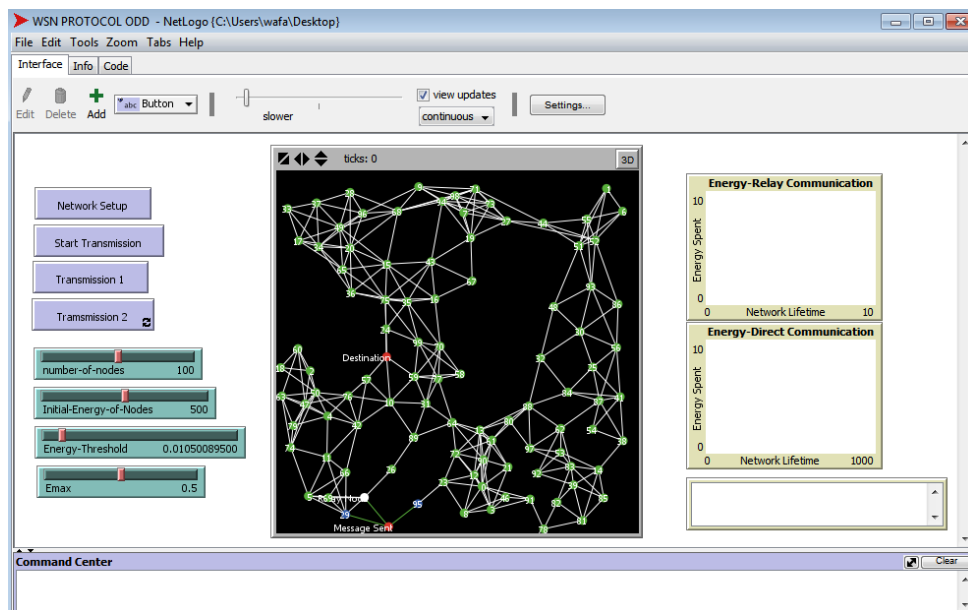


FIGURE 3.7 – Bouton « Transmission1 »

Le Code de Bouton « Transmission1 »


```

to test3
ask turtles with [label = "Source"]
[
  set label "Message Sent"
  ask my-links
  [
    set color green
  ]
  ask link-neighbors
  [
    set color blue
  ]
]
;let gh max [energy] of turtles with [color = blue]
; show gh
ask min-one-of turtles with [color = blue] [distance turtle nodenumberdestination]
[
  set color white
  set relaynode who
  set label "Relay Node"
]
ask turtle nodenumbersource
[
  set energy energy - Energy-Threshold * distance turtle relaynode ^ 2
  set energy-relay energy-relay + Energy-Threshold * distance turtle relaynode ^ 2
  set energy-direct energy-direct + Energy-Threshold * distance turtle nodenumberdestination ^ 2
]
end

```

FIGURE 3.8 – Le Code du Bouton « Transmission1 »

Si on clique sur le bouton « Transmission2 » le nœud source commence la transmission vers ses voisins, par la suite nœud relais "Relay Node" sera choisi. Cette partie permet de faire la transmission en deux mode, le mode relais et le mode direct. Ce bouton affiche la fenêtre suivante :

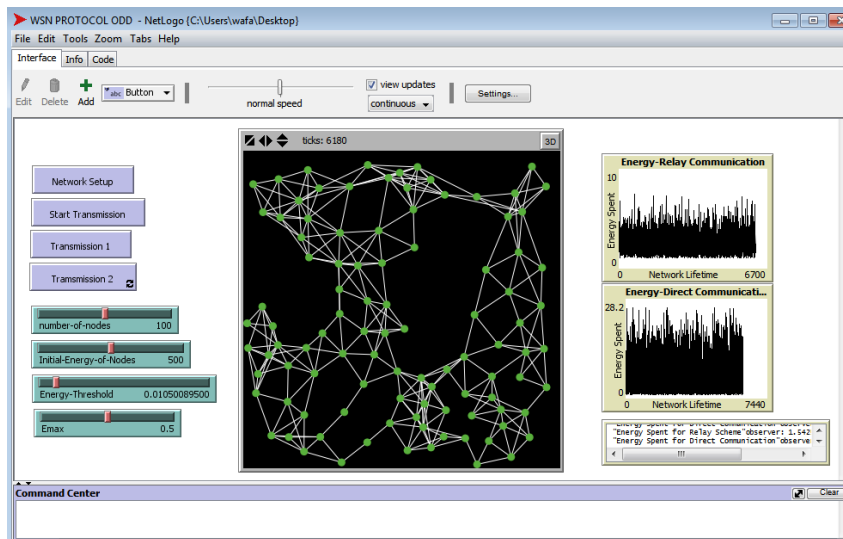


FIGURE 3.9 – Le Bouton « Transmission2 »

Le code du bouton « Transmission2 » est comme suit :

```

to test5
  set energy-relay 0
  set energy-direct 0
  test1
  test3
  test4
  test6
  test7
  output-write "Energy Spent for Relay Scheme"
  output-show energy-relay
  output-write "Energy Spent for Direct Communication"
  output-show energy-direct
  set-plot-pen-interval 1
  set-current-plot "Energy-Relay Communication"
  plot energy-relay
  set-plot-pen-interval 1
  set-current-plot "Energy-Direct Communication"
  plot energy-direct
  tick
  if dead-network = 1
  [
    stop
  ]
end

```

FIGURE 3.10 – Le Code du Bouton « Transmission2»

3.6 Evaluation

Déroulement de la simulation :

La simulation a été réalisée pour cent (100) nœuds. Pour bien illustrer le déroulement de la simulation, nous expliquerons un exemple sur deux nœuds parmi les cent nœuds utilisés. Initialisation C'est la création des nœuds dans l'environnement de simulation d'une manière aléatoire. Dans notre cas, l'énergie de communication directe est représentée dans le graphe suivant :

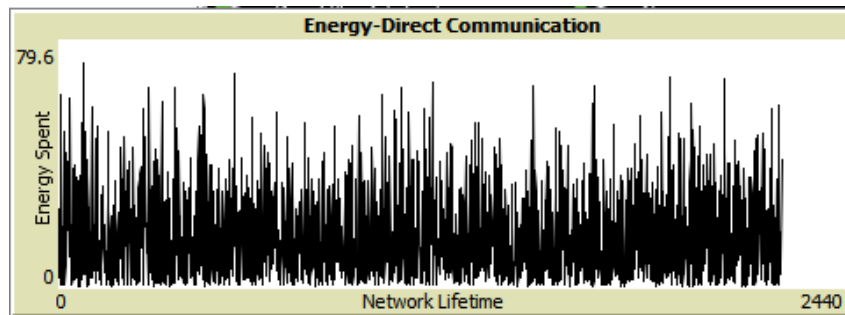


FIGURE 3.11 – L'énergie de communication directe

Dans notre cas, l'énergie de communication Relay est représentée dans le graphe suivant :

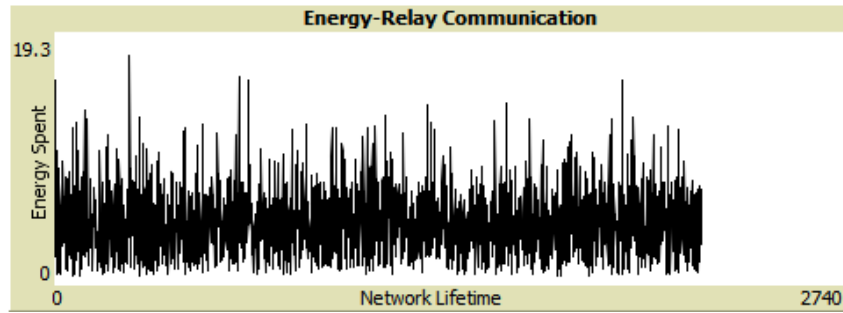


FIGURE 3.12 – L'énergie de communication Relay

L'énergie dépensée pour le schéma de relais et l'énergie dépensée pour la communication directe

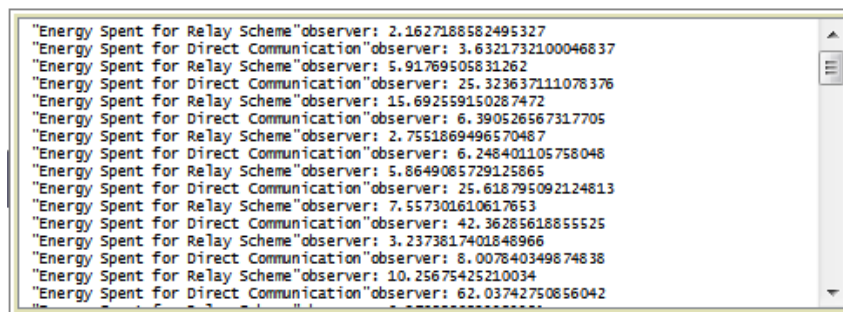


FIGURE 3.13 – L'énergie dépensée

Les trois figures (3.11), (3.12) et (3.13) visualisent la consommation d'énergie et la durée de vie de notre réseau après l'exécution des deux transmissions, respectivement. Une observation peut être citée. Nous remarquons que la communication Direct consomme plus d'énergie que celle de communication Relay ce qui influence sur la durée de vie de notre réseau. Maximiser la durée de vie du réseau revient à réduire la consommation énergétique des nœuds, pour notre cas on choisira la communication Relay car elle est efficace en matière de consommation d'énergie.

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'environnement de simulation avec lequel nous avons travaillé, à savoir le simulateur NETLOGO. Nous avons également défini les paramètres de simulation ainsi que les deux métriques d'évaluation prise en compte dans notre simulation. Les résultats de simulation ne sont pas, toujours des paramètres sur les quelles on peut juger l'efficacité de telle technique de communication, puisque dans la réalité des cas non prévisibles peuvent se présenter.

Conclusion générale

Les Réseaux de capteurs sans fil (WSN) sont constitués de nombreux nœuds capteurs déployés à haute densité dans les régions nécessitant une surveillance et un suivi. Ces capteurs peuvent être déployés à un coût beaucoup plus faible que le système traditionnel câblé.

Un capteur typique est constitué d'un ou plusieurs éléments de détection (mouvement, température, pression, etc...), une batterie, récepteurs radio faible puissance, le microprocesseur et une mémoire limitée.

Un aspect important de ces réseaux est que les nœuds sont sans surveillance, ont une énergie limitée et la topologie de réseau est inconnue. Beaucoup de défis de conception qui se posent dans les réseaux de capteurs sont en raison des ressources limitées dont elles disposent et de leur déploiement dans des environnements hostiles.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances sur la technologie des réseaux de capteurs sans fil comme un premier essai, et la programmation dans la plateforme de simulateur NETLOGO.

Dans ce mémoire, nous avons présenté une brève description des réseaux de capteurs ainsi que le protocole de routage ODD, nous avons présenté aussi une description détaillée du fonctionnement de ce protocole. Dans Ce modèle vise à étudier l'efficacité énergétique des protocoles de routage multisectoriels dans les réseaux de capteurs sans fil décentralisé. Cela permet d'obtenir une efficacité énergétique dans un réseau qui utilise un routage multipoint et crée deux courbes, montrant le meilleur effet d'économie d'énergie par rapport à la transmission directe. Il montre également que le cycle de vie du réseau est affecté par les modifications de ces paramètres dans le même réseau.

Les résultats de la simulation montrent que notre protocole peut assurer un fonctionnement permanent du réseau, garantissant une livraison de données cohérente. En outre, des améliorations significatives des performances de débit du réseau sont également obtenues par rapport au protocole d'agrégation traditionnel et aux protocoles d'agrégation modernes prenant en charge l'agrégation de puissance.

Les réseaux de capteurs constituent un domaine de recherche très vaste. Ils ont de nombreuses perspectives d'application dans des domaines très variés.

- Améliorer les diffusions réalisées lors de la coupure d'un lien. Il serait intéressant de minimiser au maximum les diffusions pour avoir des coût de sur débit overheads très faibles.

- Améliorer l'algorithme proposé en introduisant de nouvelles contraintes plus pra-

tiques tel que l'équité entre les usagers.

- Nous proposons dans un travail de recherche de future de travailler avec des capteurs mobiles pour couvrir une vaste zone de captage.

- On propose de charger les capteurs d'énergie renouvelable comme celui de soleil et de vent.

- Aussi, on veut essayer d'obtenir les résultats de simulation sous d'autres simulateurs comme : Network simulator 2 , OPNET ,GloMoSim.etc

- En fin, on propose un nouvel algorithme de routage spécial pour étudier l'efficacité énergétique.

Bibliographie

- [1] S. MESSAI, *Gestion de la mobilité dans les réseaux de capteurs sans fil*. Thèse doctorat, 2020.
- [2] S. MAAROUF et S. OUADAH, « Implémentation et évaluation des schémas de routage sur une plateforme réelle de réseaux de capteurs sans fil », *Mémoire de Master, Université de Tlemcen*, 2014.
- [3] B. SAHRAOUI, « Etude dun protocole de routage basé sur les colonies de fourmis dans les réseaux de capteurs sans fil », *Mémoire de Master, Université Tlemcen*, 2013.
- [4] L. KHELLADI et N. BADACHE, « Les réseaux de capteurs : état de l'art », *Rapport de recherche, Algérie*, 2004.
- [5] Y. YOUSEF, *Routage pour la gestion de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil*. Thèse doctorat, Mulhouse, 2010.
- [6] Y. YOUNES, « Minimisation dénergie dans un réseau de capteurs », *Mémoire de Master, Département dinformatique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou*, 2012.
- [7] R. DALCE, *Méthodes de localisation par le signal de communication dans les réseaux de capteurs sans fil en intérieur*. Thèse doctorat, Toulouse, INSA, 2013.
- [8] E. DHIB, « Routage avec qos temps réel dans les réseaux de capteurs », *Projet fin detude ingénierie de réseaux, Ecole Supérieure des Communications de Tunis*, 2007.
- [9] M. AMINA et B. AHLEM, « Les réseaux de capteurs sans fil"wsn" «etude et réalisation d'un prototype a base d'esp8266 nodemcu» année universitaire », 2018.
- [10] D. MARTINS, « Sécurité dans les réseaux de capteurs sans fil stéganographie et réseaux de confiance », *L'u. FR Des Sciences Et Techniques De L'université De Franche-Comté*, 2010.
- [11] W. MO, D. QIAO et Z. WANG, « Mostly-sleeping wireless sensor networks : Connectivity, k-coverage, and α -lifetime », in *Proceedings of the 43rd Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing*, p. 1–10, Citeseer, 2005.
- [12] I. CARDEI, « Energy-efficient target coverage in heterogeneous wireless sensor networks », in *2006 IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems*, p. 397–406, IEEE, 2006.
- [13] W. WANG, V. SRINIVASAN et K.-C. CHUA, « Using mobile relays to prolong the lifetime of wireless sensor networks », in *Proceedings of the 11th annual international conference on Mobile computing and networking*, p. 270–283, 2005.
- [14] P. GAUR et M. P. TAHILIANI, « Operating systems for iot devices : A critical survey », in *2015 IEEE region 10 symposium*, p. 33–36, IEEE, 2015.
- [15] V. GRIMM, U. BERGER, F. BASTIANSSEN, S. ELIASSEN, V. GINOT, J. GISKE, J. GOSS-CUSTARD, T. GRAND, S. K. HEINZ, G. HUSE *et al.*, « A standard protocol for describing individual-based and agent-based models », *Ecological modelling*, vol. 198, no. 1-2, p. 115–126, 2006.