

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

Département d'Informatique et des Technologies de l'Information



**Mémoire**

**Master en Informatique**

**Domaine :** Mathématique et Informatique

**Filière :** Informatique

**Spécialité :** Administration et Sécurité de Réseau

## **Etude comparative entre les deux protocoles de routage CTP et LEACH dans les réseaux WSNs**

**Présenté par :** GUERFI Imane – HATTAB Meriem

**Soutenu publiquement le :** 18 / 06 / 2022

**Devant le jury composé de :**

<b>Président</b>	Mr EUSCHI .S	Enseignant UKM Ouargla
<b>Encadreur</b>	Mr DJEDIAI Hmida	Enseignant UKM Ouargla
<b>Examineur</b>	Mr HAMILOUD .S	Enseignant UKM Ouargla

**Année Universitaire :** 2021 / 2022

# *Remerciements*

Avant tout, nous remercions grâce à **Dieu** vers lequel vont toutes les louanges, ce travail s'est accompli.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadreur au professeur **H.DJEDIAI**, pour sa sympathie, sa présence, ses idées et ses conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Un grand merci à tous les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger notre travail.

Nous tenons également à remercier tous les membres de notre famille pour leur soutien, leurs sacrifices et leurs encouragements tout au long de ce travail, en particulier « **nos parents** ».

Nous remercions chaleureusement tous nos collègues et professeurs du Département des technologies de l'information pour leur soutien moral et scientifique tout au long de notre parcours universitaire.

QUERFI Imane, HATTAB Meriem

## Table des matières

RESUME.....	1
ABSTRACT .....	2
ملخص.....	3
LISTE DES FIGURES.....	4
LISTE DES TABLEAUX .....	10
LISTE DES ABREVIATIONS .....	11
INTRODUCTION GENERALE .....	12

### PARTIE I : Etat de l'art

#### Chapitre 1 : Les réseaux de capteurs sans fil

1.1. INTRODUCTION.....	14
1.2. RESEAUX SANS FIL .....	14
1.2.1. DEFINITION.....	14
1.2.2. CLASSIFICATION DES RESEAUX SANS FIL.....	14
1.3. RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL (RCSF).....	16
1.3.1. DEFINITION.....	16
1.3.2. LES CARACTERISTIQUES .....	17
1.3.3. ARCHITECTURE .....	18
1.4. LES CAPTEURS SANS FIL.....	19
1.4.1. DEFINITION.....	19
1.4.2. ARCHITECTURE D'UN CAPTEUR SANS FIL.....	19
1.5. DOMAINE D'APPLICATION.....	20
1.6. MODELE DE COMMUNICATION.....	22
1.7. CONCLUSION.....	23

#### Chapitre 2 : Les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil

2.1. INTRODUCTION.....	24
2.2. LE ROUTAGE .....	24
2.2.1. DEFINITION.....	24
2.3. LES PROTOCOLES DE ROUTAGE DANS RCSF.....	24
2.3.1. DEFINITION.....	24
2.3.2. LES CRITERES DE PERFORMANCE DES PROTOCOLES DE ROUTAGE EN RCSF.....	25
2.3.3. LES CLASSIFICATIONS DES PROTOCOLES DE ROUTAGE.....	26
2.4. CONCLUSION.....	31

## Chapitre 3 : CTP & LEACH

3.1.	INTRODUCTION .....	32
3.2.	LE PROTOCOLE CTP (COLLECTION TREE PROTOCOL) .....	32
3.2.1.	LES CARACTERISTIQUES .....	32
3.2.2.	LA STRUCTURE DU PROTOCOLE CTP .....	33
3.2.3.	LES TYPES DES MESSAGES DE PROTOCOLE CTP .....	34
3.2.4.	LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE CTP .....	35
3.3.	LE PROTOCOLE LEACH (LOW-ENERGY ADAPTIVE CLUSTERING HIERARCHY) .....	37
3.3.1.	LES CARACTERISTIQUES .....	37
3.3.2.	LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LEACH .....	38
3.4.	CONCLUSION .....	41

## PARTIE 2 : Contribution

### Chapitre 4 : Analyse de performance CTP & LEACH

4.1.	INTRODUCTION .....	42
4.2.	L'ENVIRONNEMENT DE SIMULATION UTILISE .....	42
4.2.1.	OMNET ++ 4.4.1 .....	42
4.2.2.	CASTALIA 3.2 .....	43
4.2.3.	PARAMETRES DE LA SIMULATION .....	44
4.2.4.	METRIQUE DE LA SIMULATION .....	45
4.3.	ANALYSE DES PERFORMANCES DU PROTOCOLE CTP ET LEACH .....	45
4.3.1.	ANALYSE DES PERFORMANCES DU PROTOCOLE CTP .....	46
1)	CONSOMMATION D'ENERGIE .....	46
2)	<i>Les paquets délivrés</i> .....	47
3)	<i>Les paquets dupliqués</i> .....	48
4)	<i>Délai moyen de bout en bout</i> .....	49
4.3.2.	ANALYSE DES PERFORMANCES DU PROTOCOLE LEACH .....	50
1)	CONSOMMATION D'ENERGIE .....	50
2)	<i>Les paquets délivrés</i> .....	51
3)	<i>Les paquets dupliqués</i> .....	52
4)	<i>Délai moyen de bout en bout</i> .....	53
4.4.	CONCLUSION .....	54

### Chapitre 5 : Etude Comparative entre CTP & LEACH

5.1.	INTRODUCTION .....	55
□	CAS SINK STATIQUE (FIXE) .....	55
□	NŒUDS STATIQUES (FIXE) .....	55
1)	CONSOMMATION D'ENERGIE .....	55
2)	<i>Les paquets délivrés</i> .....	57

3) <i>Les paquets dupliqués</i> .....	58
4) <i>Délai moyen de bout en bout</i> .....	59
□ NŒUDS EN MOUVEMENT REGULIER.....	60
1) CONSOMMATION D'ENERGIE.....	60
2) <i>Les paquets délivrés</i> .....	61
4) <i>Délai moyen de bout en bout</i> .....	63
□ NŒUDS EN MOUVEMENT ALEATOIRE.....	64
1) CONSOMMATION D'ENERGIE.....	64
2) <i>Les paquets délivrés</i> .....	65
3) <i>Les paquets dupliqués</i> .....	66
4) <i>Délai moyen de bout en bout</i> .....	67
□ CAS SINK EN MOUVEMENT REGULIER.....	<b>68</b>
□ NŒUDS STATIQUES (FIXE).....	68
1) CONSOMMATION D'ENERGIE.....	68
2) <i>Les paquets délivrés</i> .....	69
3) <i>Les paquets dupliqués</i> .....	70
4) <i>Délai moyen de bout en bout</i> .....	71
□ NŒUDS EN MOUVEMENT REGULIER.....	72
1) CONSOMMATION D'ENERGIE.....	72
2) <i>Les paquets délivrés</i> .....	73
3) <i>Les paquets dupliqués</i> .....	74
4) <i>Délai moyen de bout en bout</i> .....	75
□ NŒUDS EN MOUVEMENT ALEATOIRE.....	76
1) CONSOMMATION D'ENERGIE.....	76
2) <i>Les paquets délivrés</i> .....	77
3) <i>Les paquets dupliqués</i> .....	78
4) <i>Délai moyen de bout en bout</i> .....	79
□ CAS SINK EN MOUVEMENT ALEATOIRE.....	<b>80</b>
□ NŒUDS STATIQUES (FIXE).....	<b>80</b>
1) CONSOMMATION D'ENERGIE.....	<b>80</b>
2) <i>Les paquets délivrés</i> .....	81
3) <i>Les paquets dupliqués</i> .....	82
4) <i>Délai moyen de bout en bout</i> .....	83
□ NŒUDS EN MOUVEMENT REGULIER.....	84
1) CONSOMMATION D'ENERGIE.....	84
2) <i>Les paquets délivrés</i> .....	85
3) <i>Les paquets dupliqués</i> .....	86
4) <i>Délai moyen de bout en bout</i> .....	87
□ NŒUDS EN MOUVEMENT ALEATOIRE.....	88
1) CONSOMMATION D'ENERGIE.....	88
2) <i>Les paquets délivrés</i> .....	89

3) <i>Les paquets dupliqués</i> .....	90
4) <i>Délai moyen de bout en bout</i> .....	91
<b>5.2. CONCLUSION</b> .....	<b>92</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	<b>93</b>
<b>LISTE DES REFERENCES</b> .....	<b>95</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>97</b>

## Résumé

Les réseaux de capteurs sans fil sont constitués d'un très grand nombre de très petits dispositifs de communication indépendants avec des ressources limitées. Il est actuellement considéré comme l'une des technologies qui changent notre mode de vie, grâce à son utilisation dans divers domaines d'application tels que la surveillance de zones, la surveillance de phénomènes physiques, la surveillance d'habitats, etc.

Dans les réseaux de capteurs, les protocoles de routage créent des chemins entre n'importe quel nœud du réseau et la station de base pour assurer la précision du routage et une recherche de chemin optimale.

Dans le mécanisme du protocole de routage plat, le nœud participant joue un rôle égal avec ses routeurs. D'autre part, le routage hiérarchique est utilisé pour diviser le réseau en sous-groupes « appelés groupes » pour faciliter la gestion du réseau.

Dans ce mémoire, nous avons comparé les deux protocoles (CTP, LEACH) entre eux, selon les cas de puits (statique, régulier et aléatoire) et les cas des nœuds (statique, régulier et aléatoire). De plus, nous avons effectué une analyse des performances de ces protocoles en termes de consommation d'énergie, de paquets délivrés, de paquets dupliqués et de délai moyen de bout en bout.

D'autre part, nous avons utilisé le simulateur Castalia sur OMNeT++ pour implémenter CTP qui appartient à la famille des protocoles de routage plats et LEACH avec des protocoles de routage hiérarchiques.

Nous avons obtenus des meilleurs résultats avec le protocole CTP en termes de paquets délivrés et dupliqués. Pour le métrique paquet délivré, les nœuds aléatoires et le cas de sink aléatoire donne des meilleurs résultats, et en terme les paquets dupliqués, les meilleurs résultats avec les nœuds réguliers et le cas de sink statique. Et nous avons obtenus des meilleurs résultats avec le protocole LEACH en termes de consommation d'énergie et de délai moyen de bout en bout. Selon la consommation d'énergie, les meilleurs résultats avec les nœuds réguliers et le cas de sink aléatoire, et pour le dernier métrique (délai moyen), les nœuds statiques et le cas de sink aléatoire donne des meilleurs résultats.

**Mots clés :** RCSF, Routing Protocol, plat, hiérarchique, CTP, LEACH, analyse de performance, comparaison, Castalia, OMNET++.

## Abstract

Wireless sensor networks consist of a very large number of very small independent communication devices with limited resources. It is currently considered as one of the technologies that change our way of life, thanks to its use in various fields of application such as monitoring of areas, monitoring of physical phenomena, monitoring of habitats, etc.

In sensor networks, routing protocols create paths between any node in the network and the base station to ensure routing accuracy and optimal path finding.

In the flat routing protocol mechanism, the participating node plays an equal role with its routers. On the other hand, hierarchical routing is used to divide the network into sub-groups “called groups” to facilitate network management.

In this memory, we compared the two protocols (CTP, LEACH) between them, according to the cases of sinks (static, regular and random) and the cases of the nodes (static, regular and random). In addition, we performed an analysis of the performance of these protocols in terms of energy consumption, delivered packets, duplicated packets and average end-to-end delay.

On the other hand, we used the Castalia simulator on OMNeT++ to implement CTP which belongs to the family of flat routing protocols and LEACH with hierarchical routing protocols.

We obtained better results with the CTP protocol in terms of delivered and duplicated packets. For the delivered packet metric, random nodes and the random sink case perform best, and in terms of duplicate packets, the best results are with regular nodes and the static sink case. And we have obtained better results with the LEACH protocol in terms of energy consumption and average end-to-end delay. According to energy consumption, the best results with the regular nodes and the random sink case and for the last metric (average delay), the static nodes and the random sink case give better results.

**Keywords:** RCSF, Routing Protocol, flat, hierarchical, CTP, LEACH, performance analysis, comparison, Castalia, OMNET++.



## ملخص

تتكون شبكات الاستشعار اللاسلكية من عدد كبير جدًا من أجهزة الاتصال المستقلة الصغيرة جدًا ذات الموارد المحدودة. تعتبر حاليًا واحدة من التقنيات التي تغير طريقة حياتنا ، وذلك بفضل استخدامها في مختلف مجالات التطبيق مثل مراقبة المناطق ، ومراقبة الظواهر الفيزيائية ، ومراقبة الموائل ، وما إلى ذلك.

في شبكات الاستشعار ، تنشئ بروتوكولات التوجيه مسارات بين أي عقدة في الشبكة والمحطة الأساسية لضمان دقة التوجيه وإيجاد المسار الأمثل.

في آلية بروتوكول التوجيه المسطحة ، تلعب العقدة المشاركة دورًا متساويًا مع أجهزة التوجيه الخاصة بها. من ناحية أخرى ، يتم استخدام التوجيه الهرمي لتقسيم الشبكة إلى مجموعات فرعية "مجموعات تسمى" لتسهيل إدارة الشبكة.

في هذه المذكرة ، قمنا بمقارنة البروتوكولين (LEACH ، CTP) بينهما ، وفقًا لحالات الحوض (ثابتة ، عادية وعشوائية) وحالات العقد (ثابتة ، عادية وعشوائية). بالإضافة إلى ذلك ، أجرينا تحليلًا لأداء هذه البروتوكولات من حيث استهلاك الطاقة والحزم المسلمة والحزم المكررة ومتوسط التأخير من طرف إلى طرف.

من ناحية أخرى ، استخدمنا محاكي Castalia على OMNeT ++ لتنفيذ CTP الذي ينتمي إلى عائلة بروتوكولات التوجيه المسطحة و LEACH مع بروتوكولات التوجيه الهرمي.

لقد حصلنا على نتائج أفضل مع بروتوكول CTP من حيث الحزم المسلمة والمكررة. بالنسبة لمقياس الحزم المسلمة، فإن العقد العشوائية وحالة الحوض العشوائية تعطي نتائج أفضل ، ومن حيث الحزم المكررة ، فإن أفضل النتائج مع العقد العادية وحالة الحوض الثابتة. وقد حصلنا على نتائج أفضل مع بروتوكول LEACH من حيث استهلاك الطاقة ومتوسط التأخير من طرف إلى طرف. وفقًا لاستهلاك الطاقة ، فإن أفضل النتائج مع العقد العادية وحالة الحوض العشوائية ، وبالنسبة للمقياس الأخير (متوسط التأخير) ، فإن العقد الثابتة وحالة الحوض العشوائية تعطي أفضل النتائج.

**الكلمات المفتاحية :** RCSF ، بروتوكول التوجيه ، مسطح ، هرمي ، LEACH ، CTP ، تحليل الأداء ، المقارنة ، Castalia ، OMNeT ++.

## Liste des figures

<b>Figure 1.1</b> Types de réseaux sans fil selon la portée [36] .....	15
<b>Figure 1.2</b> - Types de réseaux sans fil selon l'infrastructure.....	16
<b>Figure 1.3</b> - Exemple d'un réseau de capteur sans fil [2].....	16
<b>Figure 1.4</b> Fonctionnant RCSF selon un mode d'architecture à plat [2].....	18
<b>Figure 1.5</b> - Fonctionnant RCSF selon un mode d'architecture hiérarchique [2].....	18
<b>Figure 1.6</b> - un capteur sans fil [2] .....	19
<b>Figure 1.7</b> - Architecture d'un capteur [2].....	19
<b>Figure 1.8</b> - Différents domaine application des RCSF [19].....	20
<b>Figure 1.9</b> - Pile protocolaire de communication dans RCSF [38].....	22
<b>Figure 2.1</b> - Classification des protocoles de routage dans RCSF [21] .....	26
<b>Figure 3.1</b> - Flux des messages et des modules du protocole CTP [9].....	33
<b>Figure 3.2</b> - Trame de données CTP [9].....	34
<b>Figure 3.3</b> - Trame de routage CTP [9].....	34
<b>Figure 3.4</b> - Principe de fonctionnement de CTP en utilisant ETX.....	36
<b>Figure 3.5</b> - Architecture du protocole LEACH [11].....	37
<b>Figure 3.6</b> - Formation de clusters par Leach [17].....	38
<b>Figure 3.7</b> - Opérations de phase de construction de LEACH [17].....	39
<b>Figure 4.1</b> - OMNet ++ 4.4.1.....	42
<b>Figure 4.2</b> - Les modules et leurs connexions en Castalia [8].....	43
<b>Figure 4.3</b> - Les Composants de nœud [8].....	43
<b>Figure 4.4</b> – Le déploiement aléatoire des nœuds.....	44
<b>Figure 4.5</b> -CTP -Consommation d'énergie / Taille du champ.....	46
<b>Figure 4.6</b> -CTP-Consommation d'énergie / Durée de simulation.....	46
<b>Figure 4.7</b> -CTP -Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité.....	46
<b>Figure 4.8</b> -CTP -Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau.....	46
<b>Figure 4.9</b> -CTP -Paquet délivré / Taille du champ.....	47
<b>Figure 4.10</b> -CTP -Paquet délivré / Durée de simulation.....	47
<b>Figure 4.11</b> -CTP -Paquet délivré / Vitesse de mobilité.....	47
<b>Figure 4.12</b> -CTP -Paquet délivré / Scalabilité de réseau.....	47
<b>Figure 4.13</b> -CTP -Paquet dupliqué / Taille du champ.....	48
<b>Figure 4.14</b> -CTP -Paquet dupliqué / Durée de simulation.....	48
<b>Figure 4.15</b> -CTP-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité.....	48
<b>Figure 4.16</b> - CTP-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau.....	48

<b>Figure 4.17</b> - CTP-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ.....	49
<b>Figure 4.18</b> -CTP-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation.....	49
<b>Figure 4.19</b> -CTP-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité.....	49
<b>Figure 4.20</b> -CTP-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau.....	49
<b>Figure 4.21</b> -LEACH-Consommation d'énergie / Taille du champ.....	50
<b>Figure 4.22</b> -LEACH-Consommation d'énergie / Durée de simulation.....	50
<b>Figure 4.23</b> -LEACH-Consommation d'énergie de réseau / Vitesse de mobilité.....	50
<b>Figure 4.24</b> -LEACH-Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau.....	50
<b>Figure 4.25</b> -LEACH-Paquet délivré / Taille du champ.....	51
<b>Figure 4.26</b> -LEACH-Paquet délivré / Durée de simulation.....	51
<b>Figure 4.27</b> -LEACH-Paquet délivré / Vitesse de mobilité.....	51
<b>Figure 4.28</b> -LEACH-Paquet délivré / Scalabilité de réseau.....	51
<b>Figure 4.29</b> -LEACH-Paquet dupliqué / Taille du champ.....	52
<b>Figure 4.30</b> -LEACH-Paquet dupliqué / Durée de simulation.....	52
<b>Figure 4.31</b> -LEACH-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité.....	52
<b>Figure 4.32</b> -LEACH-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau.....	52
<b>Figure 4.33</b> -LEACH-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ.....	53
<b>Figure 4.34</b> -LEACH-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation.....	53
<b>Figure 4.35</b> -LEACH-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité.....	53
<b>Figure 4.36</b> -LEACH-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau.....	53
<b>Figure5.1</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Consommationd'énergie / Taille du champ.....	55
<b>Figure5.2</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Consommationd'énergie / Durée de simulation.....	55
<b>Figure5.3</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Consommationd'énergie / Vitesse de mobilité.....	55
<b>Figure5.5</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Paquetdélivré / Taille du champ.....	57
<b>Figure5.6</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Paquetdélivré / Durée de simulation.....	57
<b>Figure5.7</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Paquetdélivré / Vitesse de mobilité.....	57
<b>Figure5.8</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Paquetdélivré / Scalabilité de réseau.....	57
<b>Figure5.9</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Paquetdupliqué / Taille du champ.....	58
<b>Figure5.10</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Paquetdupliqué / Durée de simulatio.....	58
<b>Figure5.11</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Paquetdupliqué / Vitesse de mobilité.....	58
<b>Figure5.12</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Paquetdupliqué / Scalabilité de réseau.....	58
<b>Figure5.13</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Délaimoyendeboutenbout / Taille du champ.....	59
<b>Figure5.14</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Délaimoyendeboutenbout / Durée de simulation.....	59
<b>Figure5.15</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Délaimoyendeboutenbout / Vitesse de mobilité.....	59

<b>Figure5.16</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsstatiques-Délaimoyendeboutenbout / Scalabilité de réseau.....	59
<b>Figure5.17</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Consommationd'énergie / Taille du champ.....	60
<b>Figure5.18</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Consommationd'énergie / Durée de simulation.....	60
<b>Figure5.19</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Consommationd'énergie / Vitesse de mobilité.....	60
<b>Figure5.20</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Consommationd'énergie / Scalabilité de réseau.....	60
<b>Figure5.21</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Paquetdélivré / Taille du champ.....	61
<b>Figure5.22</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Paquetdélivré / Durée de simulation.....	61
<b>Figure5.23</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Paquetdélivré / Vitesse de mobilité.....	61
<b>Figure5.24</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Paquetdélivré / Scalabilité de réseau.....	61
<b>Figure5.25</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Paquetdupliqué / Taille du champ.....	62
<b>Figure5.26</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Paquetdupliqué / Durée de simulation.....	62
<b>Figure5.27</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Paquetdupliqué / Vitesse de mobilité.....	62
<b>Figure5.28</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Paquetdupliqué / Scalabilité de réseau.....	62
<b>Figure5.29</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Délaimoyendeboutenbout / Taille du champ.....	63
<b>Figure5.30</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Délaimoyendebouten bout / Durée de simulation.....	63
<b>Figure5.31</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Délaimoyendeboutenbout / Vitesse de mobilité.....	63
<b>Figure5.32</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsrégulier-Délaimoyendebouten bout / Scalabilité de réseau.....	63
<b>Figure5.33</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Consommationd'énergie / Taille du champ.....	64
<b>Figure5.34</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Consommationd'énergie / Durée de simulation.....	64
<b>Figure5.35</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Consommationd'énergie / Vitesse de mobilité.....	64
<b>Figure5.36</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Consommationd'énergie / Scalabilité de réseau.....	64
<b>Figure5.37</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Paquetdélivré / Taille du champ.....	65
<b>Figure5.38</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Paquetdélivré / Durée de simulation.....	65
<b>Figure5.39</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Paquetdélivré / Vitesse de mobilité.....	65
<b>Figure5.40</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Paquetdélivré / Scalabilité de réseau.....	65
<b>Figure5.41</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Paquetdupliqué / Taille du champ.....	66
<b>Figure5.42</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Paquetdupliqué / Durée de simulation.....	66
<b>Figure5.43</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Paquetdupliqué / Vitesse de moobilité.....	66
<b>Figure5.44</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Paquetdupliqué / Scalabilité de réseau.....	66
<b>Figure5.45</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Délaimoyende bout en bout / Taille du champ.....	67
<b>Figure5.46</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Délaimoyendebout en bout / Durée de simulation.....	67
<b>Figure5.47</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Délaimoyende bout en bout / Vitesse de mobilité.....	67
<b>Figure5.48</b> -CTP-LEACH-Sinkstatique-Nœudsaléatoire-Délaimoyende bout en bout / Scalabilité de réseau.....	67
<b>Figure5.49</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsstatiques-Consommationd'énergie / Taille du champ.....	68

<b>Figure 5.50</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Consommation d'énergie / Durée de simulation.....	68
<b>Figure 5.51</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité.....	68
<b>Figure 5.52</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau.....	68
<b>Figure 5.53</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Paquet délivré / Taille du champ.....	69
<b>Figure 5.54</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Paquet délivré / Durée de simulation.....	69
<b>Figure 5.55</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Paquet délivré / Vitesse de mobilité.....	69
<b>Figure 5.56</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Paquet délivré / Scalabilité de réseau.....	69
<b>Figure 5.57</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Paquet dupliqué / Taille du champ.....	70
<b>Figure 5.58</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Paquet dupliqué / Durée de simulation.....	70
<b>Figure 5.59</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité.....	70
<b>Figure 5.60</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau.....	70
<b>Figure 5.61</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ.....	71
<b>Figure 5.62</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation.....	71
<b>Figure 5.63</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité.....	71
<b>Figure 5.64</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds statiques-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau.....	71
<b>Figure 5.65</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Consommation d'énergie / Taille du champ.....	72
<b>Figure 5.66</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Consommation d'énergie / Durée de simulation.....	72
<b>Figure 5.67</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité.....	72
<b>Figure 5.68</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau.....	72
<b>Figure 5.69</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Paquet délivré / Taille du champ.....	73
<b>Figure 5.70</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Paquet délivré / Durée de simulation.....	73
<b>Figure 5.71</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Paquet délivré / Vitesse de mobilité.....	73
<b>Figure 5.72</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Paquet délivré / Scalabilité de réseau.....	73
<b>Figure 5.73</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Taille du champ.....	74
<b>Figure 5.74</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Durée de simulation.....	74
<b>Figure 5.75</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité.....	74
<b>Figure 5.76</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau.....	74
<b>Figure 5.77</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ.....	75
<b>Figure 5.78</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation.....	75
<b>Figure 5.79</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité.....	75
<b>Figure 5.80</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau.....	75
<b>Figure 5.81</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds aléatoire-Consommation d'énergie / Taille du champ.....	76
<b>Figure 5.82</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds aléatoire-Consommation d'énergie / Durée de simulation.....	76
<b>Figure 5.83</b> -CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds aléatoire-Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité.....	76

<b>Figure 5.84</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau.....	76
<b>Figure 5.85</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Paquet délivré / Taille du champ.....	77
<b>Figure 5.86</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Paquet délivré / Durée de simulation.....	77
<b>Figure 5.87</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Paquet délivré / Vitesse de mobilité.....	77
<b>Figure 5.88</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Paquet délivré / Scalabilité de réseau.....	77
<b>Figure 5.89</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Paquet dupliqué / Taille du champ.....	78
<b>Figure 5.90</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Paquet dupliqué / Durée de simulation.....	78
<b>Figure 5.91</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité.....	78
<b>Figure 5.92</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau.....	78
<b>Figure 5.93</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ.....	79
<b>Figure 5.94</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation.....	79
<b>Figure 5.95</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité.....	79
<b>Figure 5.96</b> -CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœudsaléatoire-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau.....	79
<b>Figure5.97</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Consommationd'énergie / Taille du champ.....	80
<b>Figure5.98</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Consommationd'énergie / Durée de simulation.....	80
<b>Figure5.99</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Consommationd'énergie / Vitesse de mobilité.....	80
<b>Figure5.100</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Consommationd'énergie / Scalabilité de réseau.....	80
<b>Figure5.101</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Paquetdélivré / Taille du champ.....	81
<b>Figure5.102</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Paquetdélivré / Durée de simulation.....	81
<b>Figure5.103</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Paquetdélivré / Vitesse de mobilité.....	81
<b>Figure5.104</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Paquetdélivré / Scalabilité de réseau.....	81
<b>Figure5.105</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Paquetdupliqué / Taille du champ.....	82
<b>Figure5.106</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Paquetdupliqué / Durée de simulation.....	82
<b>Figure5.107</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Paquetdupliqué / Vitesse de mobilité.....	82
<b>Figure5.108</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Paquetdupliqué / Scalabilité de réseau.....	82
<b>Figure5.109</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Délaimoyendeboutenbout / Taille du champ.....	83
<b>Figure5.110</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Délaimoyendeboutenbout / Durée de simulation.....	83
<b>Figure5.111</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Délaimoyendeboutenbout / Vitesse de mobilité.....	83
<b>Figure5.112</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsstatiques-Délaimoyendeboutenbout / Scalabilité de réseau.....	83
<b>Figure 5.113</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Consommation d'énergie / Taille du champ.....	84
<b>Figure 5.114</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Consommation d'énergie / Durée de simulation.....	84
<b>Figure 5.115</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité.....	84
<b>Figure 5.116</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau.....	84
<b>Figure 5.117</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Paquet délivré / Taille du champ.....	85

<b>Figure 5.118</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Paquet délivré / Durée de simulation.....	85
<b>Figure 5.119</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Paquet délivré / Vitesse de mobilité.....	85
<b>Figure 5.120</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Paquet délivré / Scalabilité de réseau.....	85
<b>Figure 5.121</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Paquet dupliqué / Taille du champ.....	86
<b>Figure 5.122</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Paquet dupliqué / Durée de simulation.....	86
<b>Figure 5.123</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité.....	86
<b>Figure 5.124</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau.....	86
<b>Figure 5.125</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ.....	87
<b>Figure 5.126</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation.....	87
<b>Figure 5.127</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité.....	87
<b>Figure 5.128</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsrégulier-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau.....	87
<b>Figure 5.129</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsaléatoire-Consommation d'énergie / Taille du champ.....	88
<b>Figure 5.130</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsaléatoire-Consommation d'énergie / Durée de simulation.....	88
<b>Figure 5.131</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsaléatoire-Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité.....	88
<b>Figure 5.132</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsaléatoire-Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau.....	88
<b>Figure 5.133</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsaléatoire-Paquet délivré / Taille du champ.....	89
<b>Figure 5.134</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsaléatoire-Paquet délivré / Durée de simulation.....	89
<b>Figure 5.135</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsaléatoire-Paquet délivré / Vitesse de mobilité.....	89
<b>Figure 5.136</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsaléatoire-Paquet délivré / Scalabilité de réseau.....	89
<b>Figure 5.137</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsaléatoire-Paquet dupliqué / Taille du champ.....	90
<b>Figure 5.138</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœudsaléatoire-Paquet dupliqué / Durée de simulation.....	90
<b>Figure5.139</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité.....	90
<b>Figure5.140</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau.....	90
<b>Figure5.141</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ.....	91
<b>Figure 5.142</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation.....	91
<b>Figure 5.143</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité.....	91
<b>Figure5.144</b> -CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau.....	91

## Liste des tableaux

<b>Tableau 2.1</b> Les principaux protocoles de routage dans RCSF à topologie du réseau.....	27
<b>Tableau 2.2</b> Les principaux protocoles de routage dans RCSF à établissement de la route.....	28
<b>Tableau 2.3</b> Les principaux protocoles de routage dans RCSF à fonctionnement du protocole.....	30
<b>Tableau 2.4</b> Les principaux protocoles de routage dans RCSF à paradigme de communication.....	30
<b>Tableau 3.1</b> Les Classifications du protocole CTP et LEACH.....	32
<b>Tableau 4.1</b> Les Caractéristiques du PC de la simulation.....	42
<b>Tableau 4.2</b> Les paramètres de la simulation.....	44



## Liste des abréviations

ADC	Analog to Digital Converter
APTEEN	Adaptive Threshold- sensitive Energy Efficient Network
BAN	Body Area Network
CBRP	Cluster Based Routing Protocol
CDMA	Code Division Multiple Access
CH	Cluster Head
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CTP	Collection Tree Protocol
DD	Directed Diffusion
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector
ETX	Expected Transmission value
FE	Forwarding Engine
GEAF	Geographic adaptive fidelity
GEAR	Geographic and energy-aware routing
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Position System
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
GSM	Global System for Mobile Communication
HEED	Hybrid, Energy-Efficient, Distributed approach
HSR	Hierarchical State Routing
LE	Link Estimator
LEACH	Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
MANET	Mobile Ad hoc Network
OMNeT++	Objective Modular Network Testbed in C++
PEDAP	Power Efficient Data gathering and Aggregation Protocol
QOS	Quality of service
RCSF	Réseaux de capteurs sans fil
RE	Routing Engine
RR	Request-Reply
SAR	Secure-aware Ad hoc Routing Protocol
SB	Station de Base
SPEED	Stateless protocol for real-time communication in Sensor Networks
SPIN	Sensor Protocols for Information via Negotiation
SQL	Structured Query Language
TDMA	Time Division Multiple Access
TEEN	Threshold sensitive energy efficient sensor network protocol
UM	Unité Mobile
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
WSN	Wireless Sensor Networks
ZRP	Zone Routing Protocol

## Introduction générale

De nouveaux réseaux de capteurs sont apparus dans les années 1990, notamment dans les domaines de l'environnement et de l'industrie. Aujourd'hui, grâce aux progrès récents des technologies sans fil, de nouveaux produits utilisant les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont utilisés pour récupérer ces données environnementales, c'est-à-dire des micro-capteurs de quelques millimètres cubes, capables de fonctionner en réseau.

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF)- Wireless Sensor Networks (WSN) - sont considérés comme un type spécial de réseaux ad hoc. Les nœuds de ce type de réseau consistent en un grand nombre de 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 sont dispersés aléatoirement à travers une zone géographique, appelé un champ de captage, qui définit le terrain d'intérêt pour le phénomène capté. Les données captées sont acheminées à un nœud considéré comme un "point de collecte", appelé un nœud de puits (ou sink). Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau via Internet ou un satellite.

Le routage et la propagation des données dans RCSF est l'une des fonctions réseau les plus importantes. Vous devez prendre en compte toutes les caractéristiques des capteurs afin d'assurer les meilleures performances du système : durée de vie, fiabilité, temps de réponse, moindre économie d'énergie...etc, en utilisant des protocoles de routage.

Les protocoles de routage sont utilisés pour créer des chemins entre les nœuds (les capteurs) afin d'acheminer correctement les données à travers le réseau. Les capteurs sont considérés comme des relais jusqu'au puits, sachant que les ressources des capteurs sont limitées, en particulier la puissance de la batterie, et que les utilisations des protocoles varient en fonction des comment ils sont utilisés. Récemment, les protocoles de routage RCSF ont été largement étudiés et peuvent être classés selon un certain nombre de critères différents. Parmi eux se trouve un critère selon la topologie du réseau, peuvent être découpés en familles, en particulier : le protocole à topologie plat et hiérarchique. Les protocoles à topologie plat, Ils fonctionnent sur un principe simple, basé sur la chaîne, chaque nœud joue un rôle de "passerelle". Où les protocoles à topologie hiérarchique, qui le principe étant de restructurer le réseau en groupes appelés "clusters".

Parmi la liste des protocoles de routage mentionnés dans les travaux précédentes selon la topologie plat et hiérarchique, nous citons par exemple les protocoles à topologie plat : **SPIN**, **CTP**. Et les protocoles à hiérarchique: **HEED**, **TEEN**, **LEACH**.

Il existe de nombreux problèmes, on peut citer le problème de la couche physique qui est le modèle radio et le problème de la couche réseau qui est le routage. Le RCF est un réseau gourmand de consommation d'énergie en raison de l'effet de la mobilité de puits et des nœuds. Mais le principal problème est que les utilisateurs consultent la comparaison du protocole avec les mauvais résultats.

L'objectif de notre travail de fin d'étude consiste à faire :

- ✓ Aider les chercheurs et les développeurs à exploiter et à améliorer le protocole, et obtenir des informations sur le protocole.
- ✓ L'implémentation du protocole CTP et LEACH.
- ✓ L'analyse de ses performances selon la mobilité de sink et la mobilité des nœuds.
- ✓ La comparaison du protocole CTP avec le protocole LEACH à travers les résultats obtenus.

Notre simulation consiste à utiliser le projet Castalia dans le simulateur OMNeT++. OMNeT++ est un programme de simulation de réseau multi protocole gratuit et open source, offre un IDE basé sur Eclipse. Il possède une interface graphique puissante et complète en tant que simulateur d'événements distinct. Castalia est un émulateur pour les réseaux de capteurs (comme WSN, BAN). Il est basé sur la plateforme OMNeT++. Il s'agit d'un simulateur générique avec un canal sans fil et un modèle de radio.

Ce document est organisé en deux parties. La première partie représente l'état de l'art, qui contient trois chapitres, Le premier chapitre explique les réseaux de capteurs sans fil en général. Dans le deuxième chapitre, les protocoles de routage utilisés dans les réseaux de capteurs sans fil sont représentés et classés. Le troisième chapitre montre en détail l'explication des protocoles CTP et LEACH. Mais pour la deuxième partie, c'est une notre contribution, est organisée en deux chapitres Le quatrième chapitre analyse les performances du CTP et du LEACH pour les trois cas de mobilité de sink et des cas nœuds (cas : statique, régulier, aléatoire). Et dans le cinquième chapitre, une comparaison entre les protocoles CTP et LEACH. Et à la fin, une conclusion générale sur ce travail sera présentée.

## PARTIE I : Etat de l'art



# Chapitre 1 : Les réseaux de capteurs sans fil

### 1.1. Introduction

Les réseaux sans fil ont donné naissance à diverses architectures telles que les réseaux cellulaires, les réseaux locaux sans fil, les réseaux Ad hoc, les réseaux de capteurs sans fil,...etc.

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) sont parmi les technologies les plus importantes de nos jours. Le RCSF étant souvent considéré comme des réseaux MANET (Mobile Ad hoc Network), Il contient plusieurs nœuds appelé capteur, son rôle est d'envoyer l'information collecter vers la station de base (sink) via une connexion sans fil.

Dans ce chapitre, nous présenterons le réseau sans fil, les composants d'un capteur sans fil, aussi le réseau de capteur sans fil, leurs domaines d'applications et l'architecture.

### 1.2. Réseaux sans fil

#### 1.2.1. Définition

Le réseau sans fil est un ensemble d'appareils connectés entre eux et qui peuvent envoyer et recevoir des données sans aucune connexion filaire [37].

#### 1.2.2. Classification des réseaux sans fil

Il existe plusieurs types de réseaux sans fil qui sont classés selon la portée du réseau et selon infrastructure.

##### 1.2.2.1. Selon la portée

En fonction de la distance maximale entre les deux points ces réseaux sont divisés en quatre types : WPAN, WLAN, WMAN, WWAN [21].

- 1) **Le réseau personnel sans fil :** " Wireless Personal Area Network (WPAN) " sont réseaux de couverture courte à quelques de mètres. Cette type à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable ...).Il contient plusieurs technologies: Bluetooth, zig Bee, et infrarouge.
- 2) **Le réseau local sans fil :** " Wireless Local Area Network (WLAN) " c'est un réseau couvrir à quelques centaines de mètres à zone. Ce type permet de relier les terminaux entre eux dans même zone. Il utilisée les technologies : comme wifi, hiperLAN2.
- 3) **Le réseau métropolitain sans fil :** " Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) " appelés aussi Boucle Locale Radio (BLR) et couvrir un portée d'environ de 4 à 10kms. Il permet en transmettre par voie hertzienne de la voix et des données pour l'accès

l'internet et la téléphonie, il basés sur la norme IEEE 802.16, qui est utilisé par technologie WIMAX aux opérateurs de télécommunications.

- 4) **Le réseau étendu sans fil :** " Wireless Wide Area Network (WWAN)" appelé aussi réseau cellulaire mobile, il couvre de grandes distances. Certaines des technologies qu'il plus utilise sont : GSM, GPRS et EDGE, UMTS.

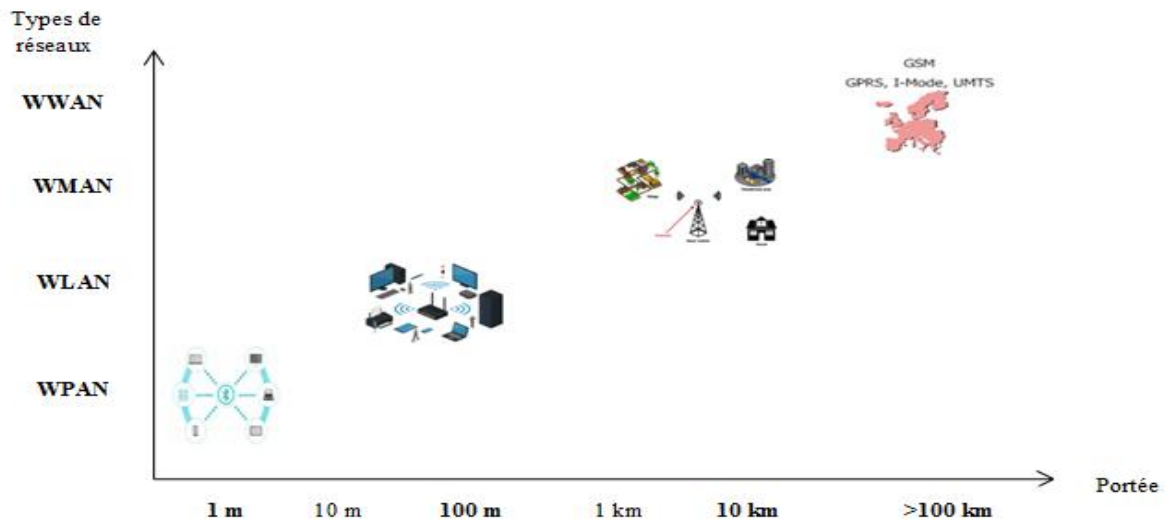


Figure 1.1 Types de réseaux sans fil selon la portée [36]

### 1.2.2.2. Selon l'infrastructure

Les types de réseaux sans fil sont classés selon infrastructure en deux parties, comme indiqué sur la figure -1.2- .

#### 1) Réseaux avec infrastructure

Cette architecture de réseaux cellulaire est la plus utilisée, et particulièrement pour assurer la connectivité dans les lieux clos. Ils demandent le déploiement d'une importante infrastructure fixe.

Réseau avec infrastructure (Cellulaire) dispose qui [10]:

**1.1. Les sites fixes :** sont interconnectés entre eux à travers un réseau de communication statique.

**1.2. Les sites mobiles (réseaux sans fils) :** c'est un ensemble de cellules, chaque cellule compose une station de base (SB) et les unités mobiles (UM). Les SB permettant la communication directe sans fil avec UM localisées dans une zone géographique autour de la station de base.

## 2) Réseaux sans infrastructure

Réseau ad hoc également appelé réseau mobile sans infrastructure, où il est constitué uniquement de sites mobiles se comporter comme des routeurs, qui communiquant directement en utilisant leur propre interface sans fil.

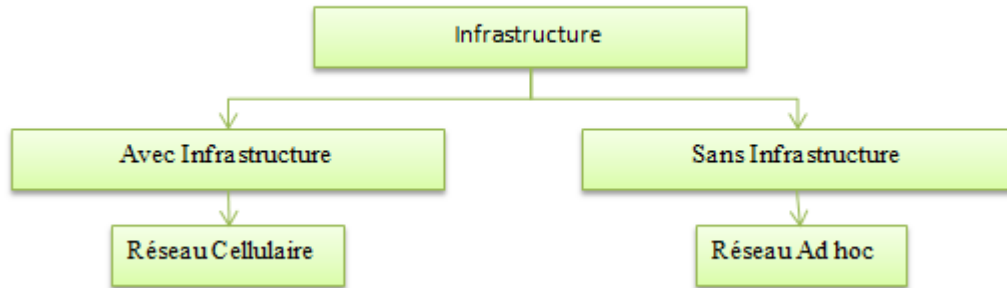


Figure 1.2 - Types de réseaux sans fil selon l'infrastructure

## 1.3. Réseaux de capteurs sans fil (RCSF)

### 1.3.1. Définition

Un RCSF est un acronyme pour réseau de capteurs sans fil ou WSN : (Wireless Sensor Network) est un cas particulier des réseaux sans fil sans infrastructure (réseaux ad hoc), souvent apparenté au réseau ad-hoc de leur utilisation commune des ondes radio. Il composé d'un grand nombre de nœuds qui sont des micro-capteurs communiquant via des liaisons sans fil de façon autonome [12].

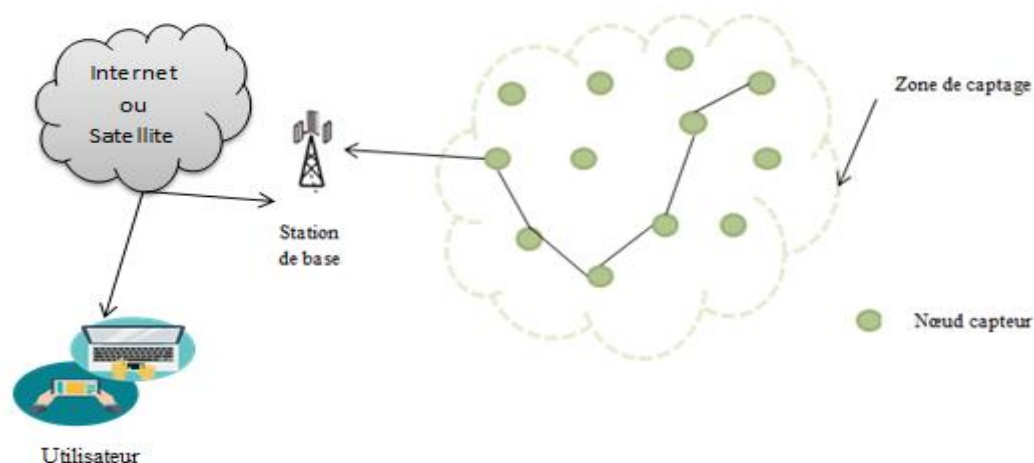


Figure 1.3- Exemple d'un réseau de capteur sans fil [2]



Fonctionnement des réseaux de capteur se base sur l'interaction entre les trois éléments suivants:

- 1) **Nœud capteur** : chaque nœud est à la base capable de détecter des données de l'environnement surveillé, de générer les bits d'informations correspondantes et de les stocker pour les transmettre ultérieurement. La position de nœud n'est pas obligatoirement prédéterminée. Il peut être aléatoirement réparti dans une zone de captage [1].
- 2) **Station de base (sink)** : Nommé aussi nœuds-puits c'est un nœud important du réseau. Son rôle diffère de celui des autres nœuds du réseau car sa tâche est de collecter les données qui proviennent des autres nœuds du réseau. Il se caractérise par une activité constante et une énergie permanente [12].
- 3) **Zone de captage** : Appelée aussi zone d'intérêt, c'est une zone géographique où on déplace les capteurs du réseau pour superviser ou surveiller des phénomènes divers.

### 1.3.2. Les caractéristiques

Les réseaux mobiles ad hoc sont caractérisés par ce qui suit :

- 1) **Topologie dynamique** : La topologie des réseaux ad hoc change rapidement et aléatoirement, Par conséquent la topologie du réseau peut changer, à des instants imprévisibles.
- 2) **Absence d'infrastructure** : Les réseaux Ad Hoc se distinguent des autres réseaux mobiles pas de station de base ou de point d'accès, chaque nœud du réseau joue le rôle routeur pour relayer la communication des autres nœuds du réseau [24].
- 3) **Contraintes d'énergie** : Les nœuds fonctionnent dans un réseau ad hoc par des batteries dont la capacité est limitée, c'est-à-dire pendant une certaine période afin que l'énergie du nœud ne puisse pas être utilisée pendant une période supérieure à la période spécifiée [4].
- 4) **Sécurité physique limitée** : La sécurité est un facteur important dans un réseau ad hoc et sont plus touchés. Il est difficile de contrôler les données transmises, si qu'il doit être de minimisé [6].
- 5) **Bande passante limitée** : L'utilisation d'un médium de communication partagé entre les hôtes du réseau, implique une bande passante réservée à un hôte soit modeste [10].

### 1.3.3. Architecture

L'architecture dans RCSF permet la transmission des données par des différents nœuds capteurs vers la station de base (Sink). Il y a deux types : à plat et hiérarchiques.

**1.3.3.1. Architecture à plat :** Dans cette architecture, tous les nœuds sont identiques en termes de batterie et de complexité de matériel aussi la densité de capteurs élevée, ce qui fabrique un réseau homogène. Ces nœuds peuvent communiquer avec le sink (jouent un rôle de passerelle) par la communication multi saut [27].

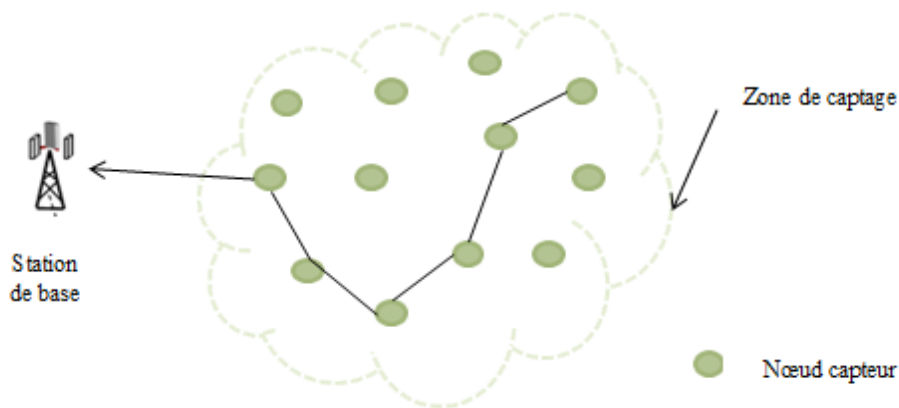


Figure 1.4 Fonctionnant RCSF selon un mode d'architecture à plat [2]

**1.3.3.2. Architecture hiérarchique :** Cette architecture se compose de clusters qui incluent un groupe de nœuds appelés membres de cluster, et cluster Head (CH) qui est chargé de collecter les informations auprès des membres (nœuds) au sein du cluster pour les envoyer à la station de base (Sink). Chaque CH peut communiquer avec d'autres cluster Head.

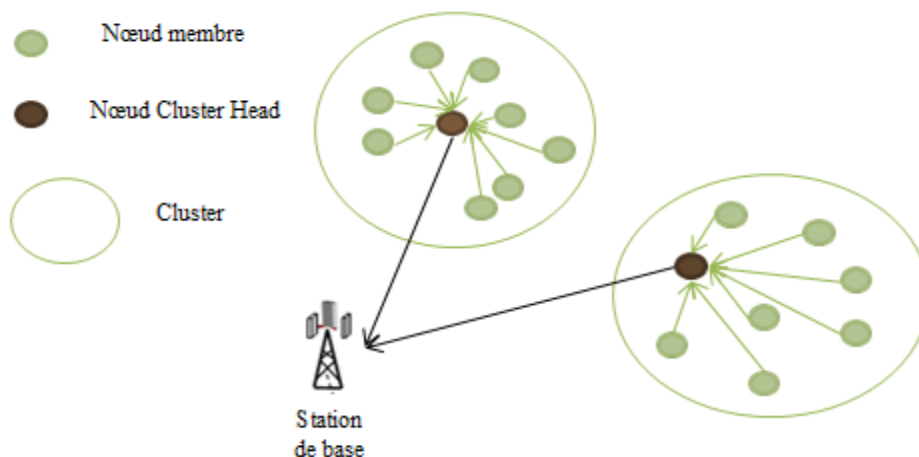


Figure 1.5 - Fonctionnant RCSF selon un mode d'architecture hiérarchique [2]

## 1.4. Les capteurs sans fil

### 1.4.1. Définition

Un capteur est un dispositif électronique qui transforme l'état d'une grandeur physique observée (température, lumière, pression, etc.) en une grandeur utilisable. Les capteurs sont des éléments de base des systèmes d'acquisition de données et que leur mise en œuvre est du domaine de l'instrumentation [18].



Figure 1.6 - un capteur sans fil [2]

### 1.4.2. Architecture d'un capteur sans fil

Un nœud capteur sans fil est composé de quatre unités de base comme illustrées sur la figure 1.7.

- 1) **Unité d'acquisition** : Cette unité composée de capteur et convertisseur. Le capteur collecte des données et le transforme en signal analogique, et le convertisseur analogique numérique (ADC : « Analog Digital Converter en Anglais ») qui convertit en signal numérique [2].
- 2) **Unité traitement** : Il y a deux interfaces qui sont l'interface avec l'unité d'acquisition et l'interface avec l'unité de transmission, Elle contrôle les procédures permettant au nœud de collaborer avec les autres nœuds pour réaliser les tâches d'acquisition, et stocke les données collectées [19].
- 3) **Unité de transmission** : Cette unité est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication sans fil. Elle peut être de type optique ou de type radio fréquence [18].
- 4) **Unité d'alimentation** : la batterie est responsable de l'alimentation des différentes unités en énergie [10].

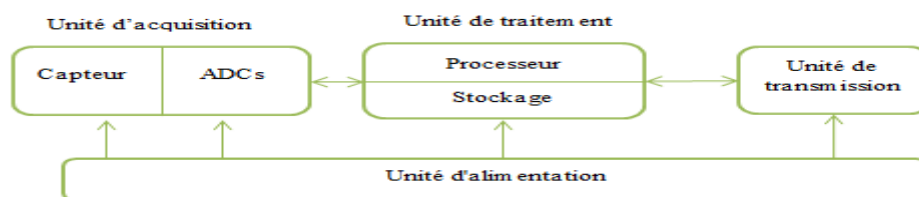


Figure 1.7 - Architecture d'un capteur [2]

### 1.5. Domaine d'application

Le domaine d'application des RCSFs est très varié. Ces réseaux sont présents dans le domaine militaire, Domotique, Santé, Industrie et Commerce, environnemental, etc.

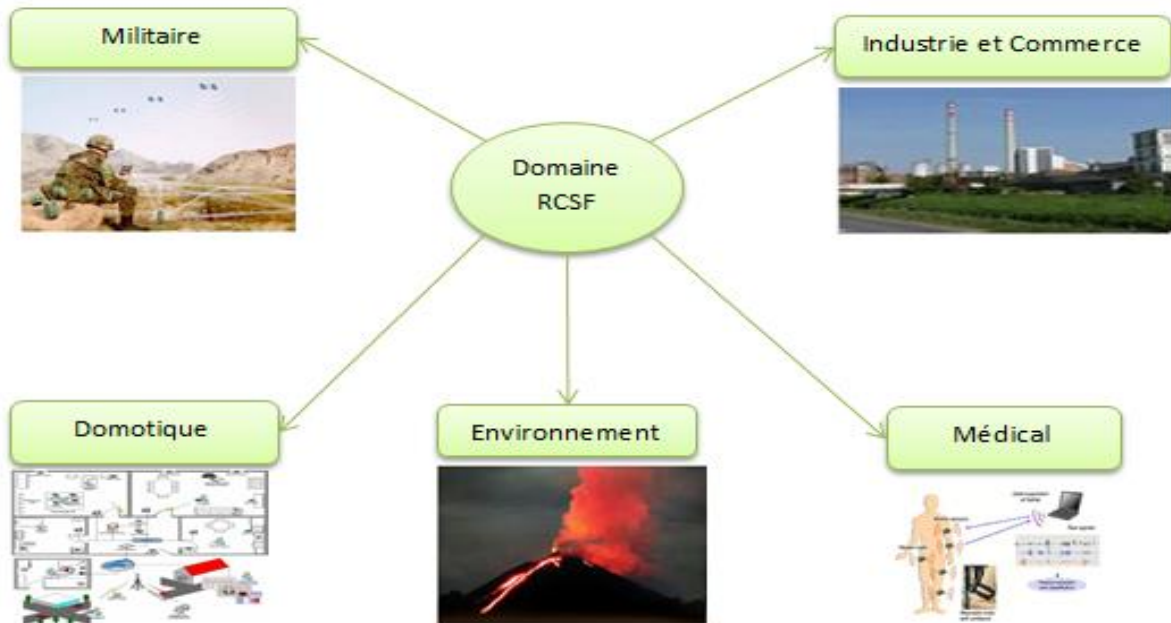


Figure 1.8 - Différents domaine application des RCSF [19]

**1) Application militaire :** Le domaine militaire utilise les RCSF pour son avancement dans les univers hostiles. Parmi les applications, on retrouve [33]:

- ✓ Monitoring des forces alliées et des équipements.
- ✓ Surveillance du champ de bataille.
- ✓ Reconnaissance des forces opposées et du terrain.
- ✓ Estimation des dommages.
- ✓ détection des attaques Nucléaires, Biologiques et Chimiques (NBC).

**2) Application domotique :** est un domaine d'application dans lequel les RCSF émergent de plus en plus [2].

- ✓ Le monitoring de l'habitat et contribuer au confort domestique.
- ✓ Des caméras de capteurs sans fil, des capteurs de sons et des détections de présence
- ✓ Des systèmes domotiques de chauffage, de climatisation, d'éclairage ou de distribution d'eaux.

**3) Application environnemental :** Les applications d'environnement qui peuvent bénéficier de la technologie des réseaux de capteurs sans fil, on peut citer par exemple [33] :

- ✓ Suivi du déplacement des oiseaux, de petits animaux, d'insecte.
- ✓ Surveillance environnementale (conditions affectant les récoltes et les réserves).
- ✓ Irrigation et Surveillance de la terre et exploration planétaire.
- ✓ Détection d'incidents chimiques ou biologiques.
- ✓ Qualité de l'air, pollution.
- ✓ Inondation, feu de forêt.
- ✓ Recherche météorologique et géophysique.

**4) Application médical :** La surveillance des fonctions vitales de l'être humain serait possible grâce à des micro-capteurs et des micro-caméras. Cette application permet de [30]:

- ✓ Une surveillance permanente des patients et une possibilité de collecter des informations physiologiques.
- ✓ Le diagnostic de quelques maladies, la surveillance de la glycémie, la surveillance des organes vitaux ou la détection précoce de cancers.

**5) Application industriel et commercial :**

**5.1. Industriel :** les utilisations de RCSF dans ce domaine sont les suivants [31] :

- ✓ détecter des fuites de produits toxiques (gaz, produits chimiques, éléments radioactifs pétrole, etc.).
- ✓ alerter les utilisateurs dans un délai suffisamment court.

**5.2. Commercial :** dans cette application on peut [31] :

- ✓ Aider les commerçants à améliorer le processus de stockage la livraison des marchandises.
- ✓ Connaître à tout moment la position, l'état et la direction d'une marchandise donnée ou d'une cargaison.
- ✓ Les Entreprises utilisent RCSF pour suivre le procédé de production à partir des matières premières jusqu'à la livraison finale d'un produit donné.

### 1.6. Modèle de communication

Le réseau de capteur sans fil utilise une pile protocolaire pour la communication, qui consiste cinq couche et trois niveau (plan) de gestion schématisé sur la figure 1.9.

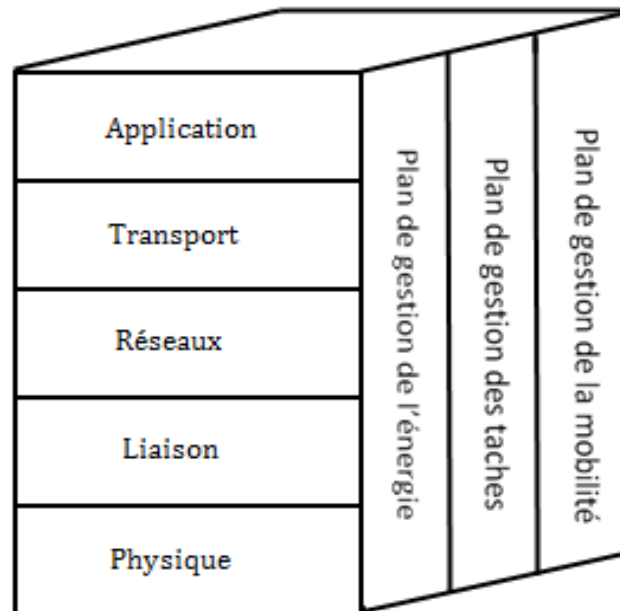


Figure 1.9 - Pile protocolaire de communication dans RCSF [38]

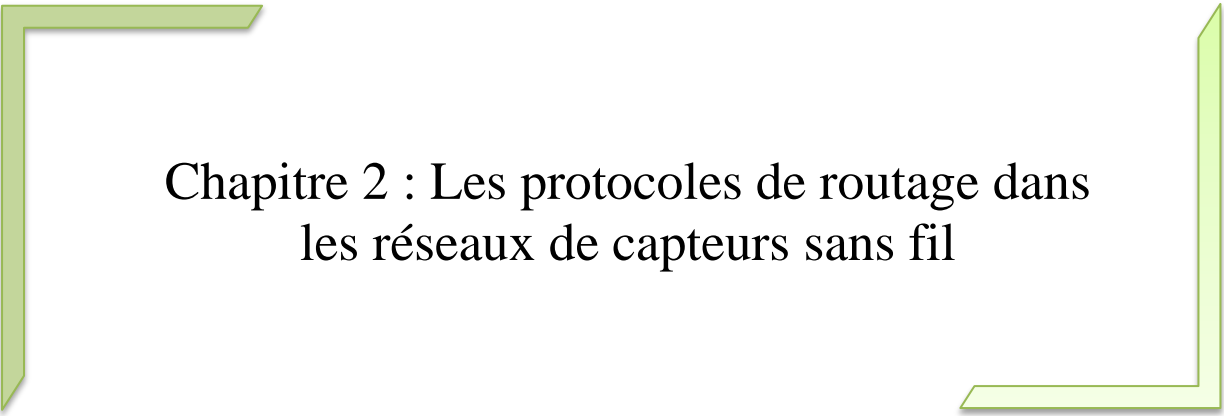
- 1) **Couche physique** : Elle permet de moduler les données et les acheminer dans le média physique tout en choisissant les bonnes fréquences [31].
- 2) **Couche liaison de données** : Gestion des liaisons entre les nœuds (communication saut par saut) et la station de base, contrôle d'erreurs [19].
- 3) **Couche réseau** : Routage et transmission de données.
- 4) **Couche transport** : Est responsable de contrôle de flux et transport de données entre la couche d'application et la couche réseau.
- 5) **Couche application** : Cette couche assure l'interface avec les applications. Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs [29].
- 6) **Niveau de gestion d'énergies** : Chargé de contrôler la manière dont un nœud utilise son énergie. Par exemple, le capteur arrête de recevoir des messages après avoir reçu le message pour éviter la duplication et envoie une alerte à ses voisins pour signaler ne peut pas participer au routage lorsque le niveau d'énergie devient bas [11].
- 7) **Niveau de gestion de mobilité** : Détecte et enregistre tous les mouvements des nœuds capteurs [24], chaque nœud peut garder les traces de ses voisins pour la réalisation des différentes tâches.

- 8) **Niveau de gestion des tâches:** balance et ordonnance les différentes tâches de captage de données dans une région spécifique. Certains nœuds capteurs peuvent effectuer les tâches de captage au moment où d'autres nœuds vont se mettre dans le mode éteint afin de sauvegarder leur énergie [2].

### 1.7. Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté le réseau de capteur sans fil (RCSF) et leur architecture. Le but général d'un RCSF est la collecte d'un ensemble d'information de différents domaines d'application, aussi nous avons mentionné les domaines d'application des réseaux de capteurs sans fil. Ensuite, nous avons présenté le concept de la pile protocolaire de communication des capteurs.

Dans le prochain chapitre, nous nous intéressons pour exposé le routage dans réseaux de capteurs sans fil et leurs différents protocoles de routage.



## Chapitre 2 : Les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil



### 2.1. Introduction

Dans les réseaux sans fil, les protocoles de routage permettent d'établir des routes entre tous les nœuds pour acheminer les paquets entre eux. Cependant, dans les réseaux de capteurs, les protocoles de routage établissent des routes entre tout nœud du réseau et la station de base pour assurer la fidélité de routage et trouver le chemin optimal pour économiser l'énergie et donc une durée de vie long du réseau [32]. Les protocoles de routage pour les RCSFs ont été largement étudiés, ils peuvent être classifiés suivant un nombre différent de critères.

### 2.2. Le routage

#### 2.2.1. Définition

Le Routage est un acheminement des données entre le nœud collecteur (capteur) et la station de base via un réseau de connexion. Le routage dans les réseaux de capteurs sans fil est généralement un routage multi sauts. Par conséquent, il nécessite une coopération entre les capteurs pour transmettre des données [2, 17].

#### 2.2.2. Les caractéristiques de routage dans RCSF

- Il n'est pas possible d'établir un système d'adressage global pour le grand nombre de nœuds.
- Les applications des réseaux de capteurs exigent généralement l'envoi des données mesurées depuis des sources multiples vers la destination de traitement.
- Les nœuds capteurs exigent ainsi une gestion soignée des ressources matérielles (telle que l'énergie).
- Les multiples capteurs peuvent produire les mêmes données à proximité d'un phénomène surveillé (problème de la redondance des données).

### 2.3. Les protocoles de routage dans RCSF

#### 2.3.1. Définition

Le protocole est un ensemble de règles, de méthodes et de procédures assurant un standard de communication entre les entités, l'ensemble de ces moyens sont regroupés dans un même et unique langage appelé «protocole » [17].

Les protocoles de routage permettent d'acheminer correctement les données sur le réseau. Alors, Ces protocoles doivent être conçus et utilisés de manière à réduire les coûts de communication et à ne pas consommer plus d'énergie que nécessaire.

### 2.3.2. Les critères de performance des protocoles de routage en RCSF

- 1) **Evolutivité** : l'évolutivité est un facteur important dans les réseaux de capteurs sans fil. 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.
- 2) **L'énergie** : L'énergie consommée varie selon l'activité ou le type de fonctionnalité. Comme la détection et le traitement, le nœud utilise moins d'énergie.
- 3) **Temps de traitement** : Indique le temps nécessaire au nœud du réseau pour s'assurer que tout le processus est en cours d'exécution.
- 4) **Schéma de transmission** : Les données sont transmises par les nœuds de capteur à la destination ou à la station de base par un schéma de routage à saut unique ou multiple.
- 5) **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 découverte ou la transformation.
- 6) **Synchronisation** : Dans les communications sans fil entre les nœuds de capteurs dans WSN, le nœud doit avoir la même notion du temps pour se mettre en veille et de réveil que ses voisins car, s'ils ne sont pas synchronisés les uns avec les autres, les capteurs écoutent en permanence les transmissions et consomment de l'énergie.
- 7) **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 des informations permettant d'éviter les collisions lors de la transmission [26].

### 2.3.3. Classification des protocoles de routage

La figure -2.1- ci-dessous résume une classification qui se base sur quatre critères : la topologie (structure) du réseau, mode d'établissement de la route, les paradigmes de communication et selon le mode de fonctionnement du protocole [23].

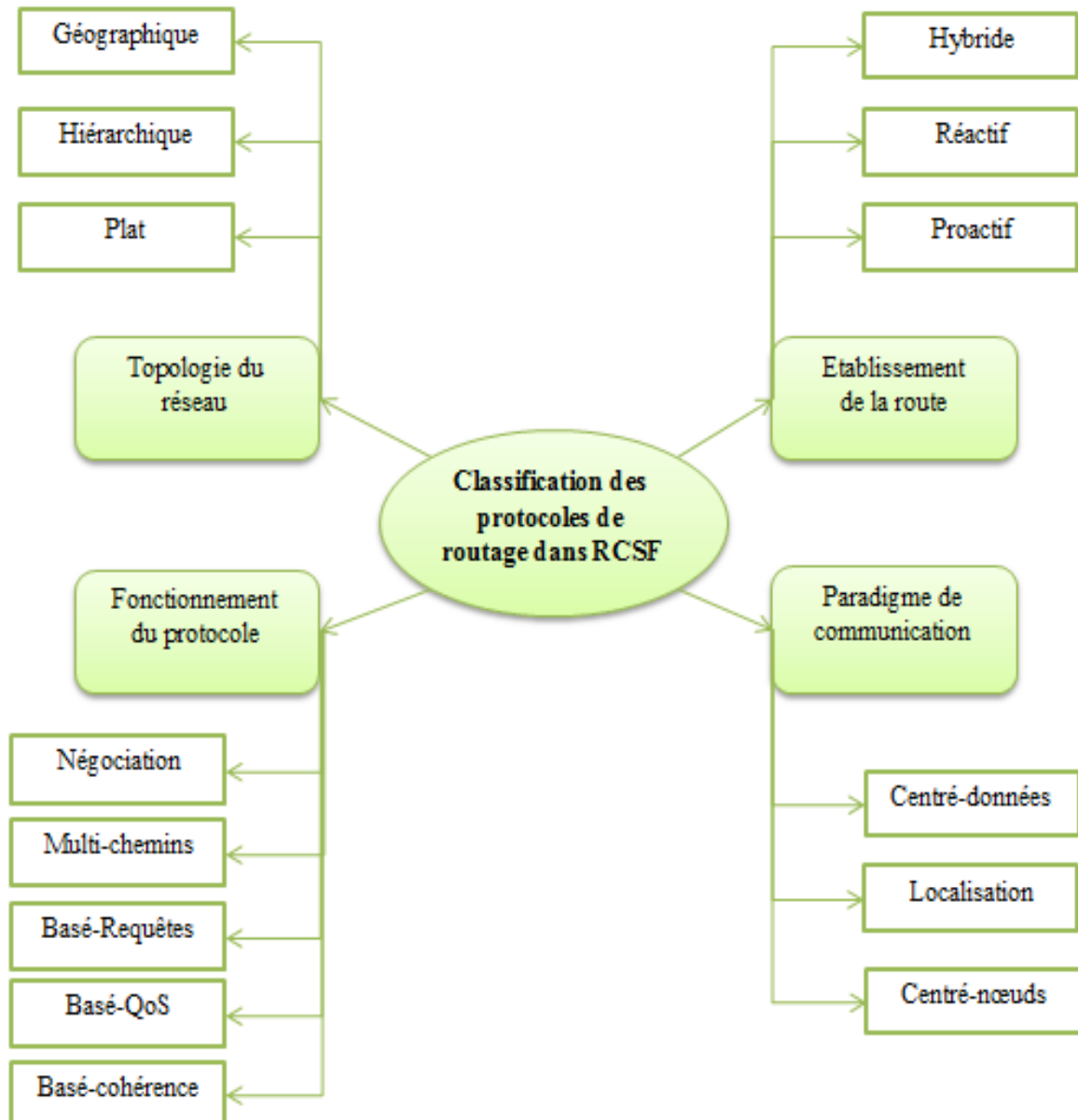


Figure 2.1 – Classifications des protocoles de routage dans RCSF [21]

1) **La topologie du réseau :** Désigne la façon d'organisation pour acheminer les données entre les nœuds et le sink. Ces protocoles de routage dans RCSF peuvent être découpsés en trois familles [34].

**1.1. Les protocoles à topologie plat :** Les Protocoles à topologie plate ou protocoles dits centrés sur les données. Ils fonctionnent sur un principe simple, où une station de base envoie des requêtes à des zones spécifiques du réseau et attend une réponse des nœuds cibles. Tous les nœuds ont le même rôle et sont similaires en termes de ressources.

**1.2. Les protocoles à topologie hiérarchique :** Le routage hiérarchique est considéré comme étant l'approche la plus favorable en termes d'efficacité énergétique. Il est adapté afin d'augmenter la Scalabilité du système. Le principe étant de restructurer le réseau en groupes appelés clusters, chacun vu comme un sous-réseau composé par un chef de cluster (Cluster-Head) et plusieurs membres. La communication se fait entre eux en envoyant leurs messages au CH qui les transmet dans le réseau via d'autres centres de communication à la station de base.

**1.3. Les protocoles à topologie géographique :** Les protocoles géographiques, aussi appelés les protocoles de routage basés sur la localisation utilisent les informations d'emplacement pour guider la découverte de routage et la transmission des données, qui forme un réseau simple. Chaque nœud du réseau connaît sa position et celle de ses voisins, la distance entre eux est calculée par des algorithmes GPS pour envoyer des données au nœud voisin avec la distance la plus proche [20].

Topologie Protocole	Plat	Hiérarchique	Géographique
APTEEN		✓	
<b>CTP</b>	✓		
GEAR			✓
GPSR			✓
HEED		✓	
<b>LEACH</b>		✓	
SPIN	✓		
TEEN		✓	

**Tableau 2.1** Les principaux protocoles de routage dans RCSF à topologie du réseau

**2) L'Établissement des routes (découverte des routes):** Détermine la manière de création des chemins pendant le routage dans le réseau. Classé en trois catégories [3,6].

**2.1. Les protocoles proactifs :** Est un protocole qui construit les tables de routage avant que la demande en soit effectué, par algorithmes de routage, qu'il choisit le chemin le plus court entre l'émetteur et le récepteur (en fonction du nombre de sauts), alors qui nécessite des mises à jour périodiques. Ce protocole dépend de deux méthodes, la méthode de l'état des liens signifie que chaque nœud diffuse son voisinage dans le réseau. La deuxième méthode est la méthode "vecteur de distance", qui publie des informations sur la distance entre tous les nœuds du réseau.

**2.2. Les protocoles réactifs :** Basés sur le principe de l'ouverture d'une route à la demande, c'est-à-dire qu'il calcule le chemin avant d'exécuter le routage et est lent lors de l'ouverture d'une nouvelle connexion. Une fois la connexion établie, ce chemin est conservé jusqu'à ce qu'il devienne inutilisé. Il n'a pas besoin de connaître la structure du réseau ni d'échanger des informations périodiques, et l'on ne peut prévoir à l'avance la qualité de la route découverte (délai, bande passante).

**2.3. Les protocoles hybrides :** À chaque fois qu'un nœud a besoin de router une information, d'abords, calcule toutes les routes possibles avec la méthode proactive ensuite s'adapte pendant le routage avec la méthode réactive.

Découverte Protocole	Proactif	Réactif	Hybride
CBRP			✓
CTP		✓	
DSDV	✓		
DD		✓	
HSR	✓		
LEACH	✓		
ZRP			✓

**Tableau 2.2** Les principaux protocoles de routage dans RCSF à établissement de la route

**3) Le fonctionnement du protocole :** les protocoles de routage selon le mode de fonctionnement peuvent être classifiés en cinq catégories.

**3.1. Basé-Négociation :** Dépend de la négociation entre les nœuds avant le transfert des données, afin de s'assurer qu'aucune donnée redondante n'est transférée. L'idée principale du routage via la négociation est de supprimer l'information double et d'empêcher l'envoi des données redondantes au prochain capteur ou à la station de base, en échangeant une série de messages de négociation avant même la transmission effective des données [15].

**3.2. Basé-Multi-chemins :** Dépend de plusieurs chemins qui mènent à la destination (c'est-à-dire des chemins de secours indépendantes du chemin de base). Les nœuds envoient les données collectées via le chemin principal et des chemins de secours. Pour éviter le cas d'un échec de transfert de données, doit utiliser l'un des chemins de secours pendant la rupture du chemin principal [18].

**3.3. Basé-Requêtes :** Le sink crée des requêtes afin d'interroger les capteurs, c'est à dire Le nœud de destination (sink) envoie une requête à travers le réseau afin d'obtenir des données, le nœud qui possède les données correspondant à la requête émise, les envoie au sink. Ces requêtes sont exprimées soit par un schéma valeur-attribut ou bien en utilisant un langage spécifique (par exemple SQL : Structured Query Language).

**3.4. Basé-QoS :** Le réseau doit équilibrer entre la consommation d'énergie et la qualité de données. En particulier, qualité de service. Ce type de protocole a tendance à respecter certaines normes lors du transfert de données vers la destination finale. Par exemple : retard, énergie, largeur de bande passante ... etc [17].

**3.5. Basé-cohérence :** Les protocoles basés sur la cohérence effectuent un traitement minimal sur les données et de déduplication. Les données sont envoyées aux nœuds de collecte qui, à son tour, effectue un autre traitement, avant d'envoyer les données aux destinataires [11].

Fonctionnement Protocole	Négociation	Multi- chemin	Requête	Qos	Cohérence
DD	✓	✓	✓		✓
RR			✓		
SAR	✓	✓		✓	
SPEED		✓		✓	
SPIN	✓		✓		✓

**Tableau 2.3** Les principaux protocoles de routage dans RCSF à fonctionnement du protocole

**4) Le paradigme de communication :** Dans les RCSF, il existe trois paradigmes de communication.

**4.1. Centré-données :** Identification de la communication se fait par les données disponibles au niveau des capteurs dans base de données distribuée. Dans ce paradigme le routage ne dépend pas de l'adresse de destination, parce que les données sont plus importantes que le nœud lui-même. Ces données propagées de proche en proche pour arriver au nœud puits (sink) [29].

**4.2. Localisation :** Les protocoles de cette classe reposent sur l'estimation de la consommation d'énergie en connaissant les emplacements des nœuds pour calculer la distance entre chacun des deux nœuds et en choisissant le moins. Les emplacements des nœuds sont le principal moyen d'adressage et de routage [29].

**4.3. Centré-nœuds :** Ce paradigme le plus populaire actuellement pour les RCSF, et utilise dans les réseaux traditionnels, où il est nécessaire de spécifiées les nœuds communicants, par des adresses numériques ces nœuds (Par exemple : adresses IP) [23].

Paradigme Protocole	Centré-données	Localisation	Centré-nœuds
DD	✓		
GAF		✓	
GEAR		✓	
<b>LEACH</b>			✓
PEDAP			✓
<b>CTP</b>	✓		

**Tableau 2.4** Les principaux protocoles de routage dans RCSF à paradigme de communication

### 2.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les protocoles de routage, leur classification selon plusieurs critères et mentionné certains des principaux protocoles pour chaque catégorie.

Ainsi, le chapitre suivant sera consacré aux protocoles de routage que nous avons choisi d'étudier : **CTP** et **LEACH**.





## Chapitre 3 : CTP & LEACH



### 3.1. Introduction

Dans les réseaux sans fil, il y a plusieurs les protocoles de routage pour assurer la fidélité de routage et trouver le chemin optimal pour économiser l'énergie.

Dans ce chapitre, on sélectionne deux protocoles de routage pour notre étude (le protocole CTP et protocole LEACH), nous expliquerons le principe fonctionnement de chacun des deux protocoles. Et leur classification est illustrée comme suit:

Classification Protocole	Topologie	Etablissement de la route	Paradigme
CTP	Plat	Réactif	Centré-données
LEACH	Hiérarchique	Proactif	Centré-nœuds

Tableau 3.1 – Les classifications du protocole CTP et LEACH

### 3.2. Le protocole CTP (Collection Tree Protocol)

CTP (Collection Tree Protocol) CTP est un protocole basé sur une arborescence, il utilise des messages de routage pour la construction et maintenance de l'arborescence.

CTP est un protocole qui calcule les routes des capteurs vers un ou plusieurs racines nœuds. C'est un protocole de vecteur de distance. Il utilise des messages de données pour signaler les données collecté au SB, c'est à dire chaque nœud envoyer les informations collecte vers le nœud le plus proche, jusqu'à arrive au sink (SB).

L'objectif principal de ce protocole :

- ✓ CTP fournit une livraison fiable et multi-sauts de paquets.
- ✓ construire et maintenir une arborescence de cout minimum avec la station de base.
- ✓ Économie d'énergie dans le réseau [13,28]

#### 3.2.1. Les caractéristiques

Le protocole CTP présente les caractéristiques suivantes [22]:

- 1) **Un protocole de collecte arborescent** : quelque nœud se considère comme racine et crée un bloc pour continuer à se connecter à l'arborescence des groupes.
- 2) **Basé sur le Multi-saut** : C'est-à-dire que les données sont envoyées d'un nœud à un autre jusqu'à ce qu'elles atteignent la station de base.
- 3) **Sans adresse** : C'est à dire un nœud n'envoie pas de donnée à un nœud spécifique.
- 4) **Utilise les transmissions attendues (ETX)** : pour sélectionner des chemins.

### 3.2.2. La structure du protocole CTP

#### 1) Routing Engine (RE)

Le RE est une instance qui s'exécute sur chaque nœud, qui permet:

- envoyer et de recevoir des beacons, Cette beacons contiennent les informations dont la table de routage est remplie.
- création et la mise à jour de la table de routage, qui contient:
  - ✓ une liste des voisins à partir de laquelle le nœud peut choisir son parent dans l'arborescence de routage.
  - ✓ les identifiants des nœuds voisins ainsi que d'autres informations, comme la métrique (Dans le cas du CTP, cette métrique est un l'ETX) [5].

#### 2) Forwarding Engine (FE)

Le module FE est un responsable sur :

- ✓ Retransmission des paquets de données (qui peuvent provenir soit de la couche application du même nœud ou des nœuds voisins dont il fait partie du chemin choisi).
- ✓ Détection et la réparation des boucles de routage.
- ✓ Suppression des paquets dupliqués [5].

#### 3) Link Estimator (LE)

Le module LE s'occupe :

- ✓ détermine de la qualité des liens entrants et sortants de communication
- ✓ calcule valeur ETX 1-saut : par le collecte des statistiques (sur le nombre de beacon reçus et le nombre de paquets de données) [5].

→ À partir de ces statistiques, LE calcule cette métrique (ETX) en entrée. Nous détaillerons après la méthode de calcul de cette métrique qui exprime la qualité des liens.

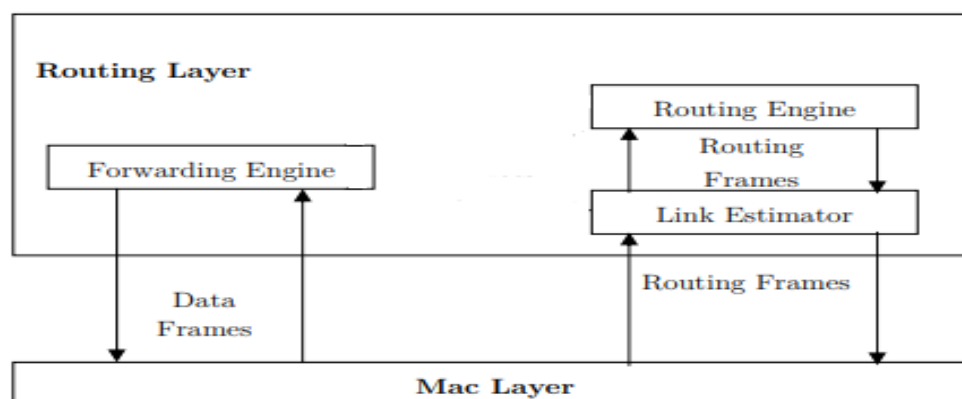


Figure 3.1 - Flux des messages et des modules du protocole CTP [9]

3.2.3. Les Types des messages de protocole CTP

1) **Trame de données** : Pour indiquer la charge utile de l'application au sink.

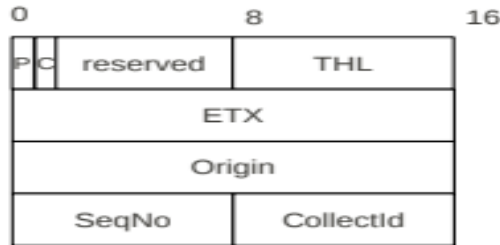


Figure 3.2 - Trame de données CTP [9]

Chaque champ a un rôle à faire comme il est détaillé ci-dessous :

- **Le premier bit P (Pull)** : déclencher l'envoi de trames beacon des voisins pour la mise à jour de la topologie.
- **Le second C (Congestion)** : permet à un nœud de signaler qu'il est congestionné.
- **Les 6 derniers bits du premier octet** : sont réservés pour une utilisation future.
- **Le deuxième octet THL (Time Has Lived)** : un compteur qui s'incrémente de 1 à chaque transfert de paquet, indique le nombre de sauts.
- **Les troisième et quatrième octets** : sont réservés à la métrique **ETX** (multi-sauts).
- **Les cinquième et sixième constituent le champ Origin** : comprend l'identifiant du nœud qui a initialement envoyé le paquet.
- **Le champ SeqNo** : spécifie le numéro de séquence du paquet.
- **Le CollectId** : un identifiant spécifiant quelle instance d'un service de collecte est destinée à gérer le paquet [9].

2) **Trame de routage** : Afin de construire et de maintenir l'arborescence de routage.

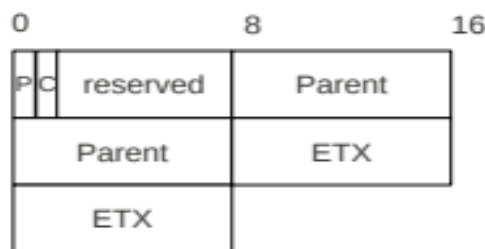


Figure 3.3 - Trame de routage CTP [9]

- **Le premier octet d'une trame de routage CTP** : comprend les drapeaux P et C et 6 bits inutilisés.
- **Les deuxième et troisième octets hébergent le champ Parent** : spécifie l'identifiant du parent du nœud envoyant le message.
- **Les quatrième et cinquième octets** incluent enfin la métrique ETX (multi-sauts) [9].

### 3.2.4. Le principe de fonctionnement de CTP

Le processus de protocole CTP se déroule comme suite [9]:

Au début du réseau, certains nœuds s'expriment en tant que nœuds racine. Chaque fois, les nœuds racines créent un arbre de collecte de données afin de maintenir la communication avec l'arborescence (Tree collection).

Le réseau contient plusieurs nœuds racine, les données sont livrées d'un nœud (chaque nœud redirige les données) au nœud racine du groupe au moindre coût. Jusqu'à envoyer en haut de l'arborescence (c'est-à-dire vers la station de base : sink), via un chemin de valeur inférieure (le chemin le plus court de valeur est choisi à l'aide d'un gradient de routage appelé ETX).

#### 3.2.4.1. ETX (Expected Transmission value)

Les nœuds génèrent des routes vers les racines à l'aide d'un gradient de routage. CTP utilise les transmissions attendues (ETX) comme gradient de routage.

L'ETX de la racine est 0, et l'ETX d'un nœud est l'ETX de son parent plus l'ETX de son lien vers son parent.

- $ETX(\text{racine}) = 0$
- $ETX(\text{nœud}) = ETX(\text{parent}) + ETX(\text{lien de parent})$ .

CTP choisit le chemin avec la valeur ETX la plus faible.

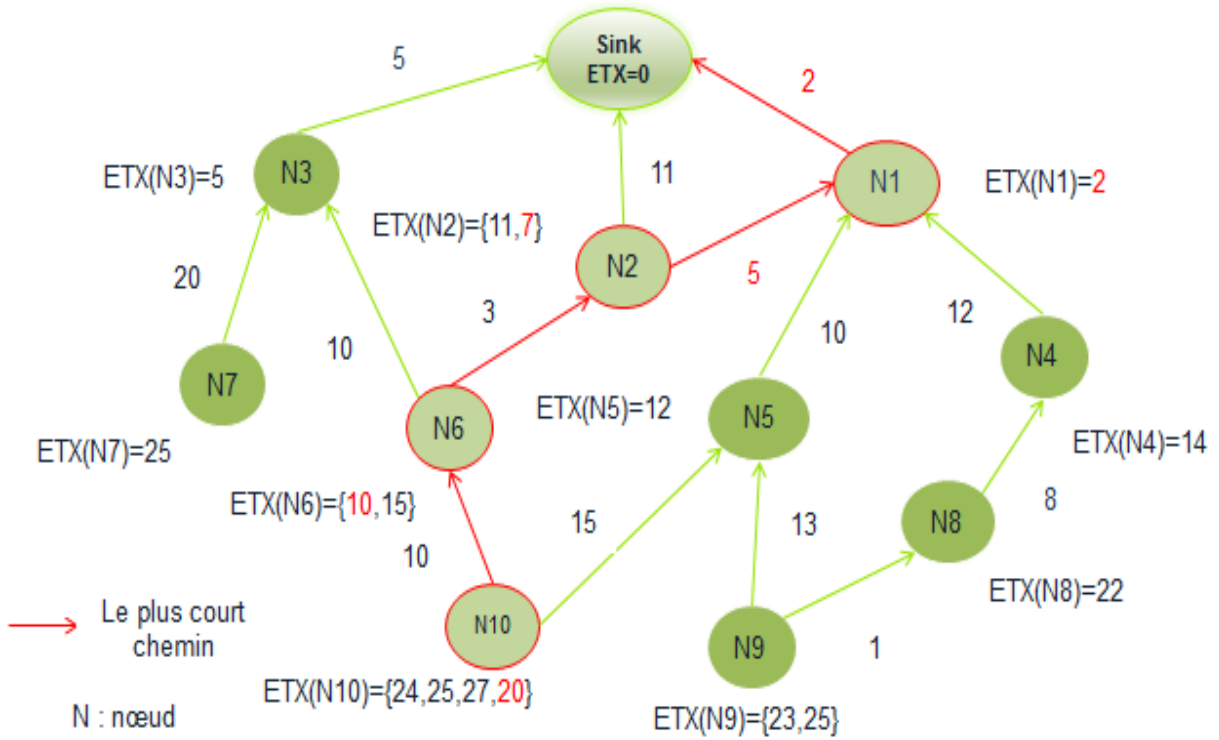


Figure 3.4 - Principe de fonctionnement de CTP en utilisant ETX

Dans le cas du CTP, un nœud calcule d'abord, pour chacun de ses voisins, la qualité de liaison du lien nœud-voisin courant. Cette métrique, que nous appelons ETX à un saut, ou saut ETX1, est calculée par le LE (Link Estimator). Pour chacun de ses voisins, le nœud additionne alors l'ETX à 1 saut avec l'ETX que les voisins correspondants avaient déclaré dans leurs balises de routage.

Le résultat de cette somme est la métrique que nous appelons ETX multi-sauts ou ETXmhop. Étant donné que l'ETXmhop d'un voisin quantifie le nombre attendu de transmissions nécessaires pour livrer un paquet à un puits en utilisant ce voisin comme relais.

Le nœud sélectionne clairement le voisin correspondant au plus bas ETXmhop comme son parent [13, 14].

### 3.3. Le protocole LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH est considéré comme étant le premier protocole de routage hiérarchique basé sur les clusters qui était proposé par Heinzelman et al.

Le protocole LEACH utilise les clustering pour diviser le réseau en les clusters, chaque cluster contient de cluster-Head (CH) et les membres (nœuds). CH est sélectionné au hasard (aléatoire) et utilisé pour atteindre la destination (sink) en optimisant la consommation d'énergie, afin de transférer les données collectées capturées par les nœuds membres de leur propre cluster vers la station de base [11].

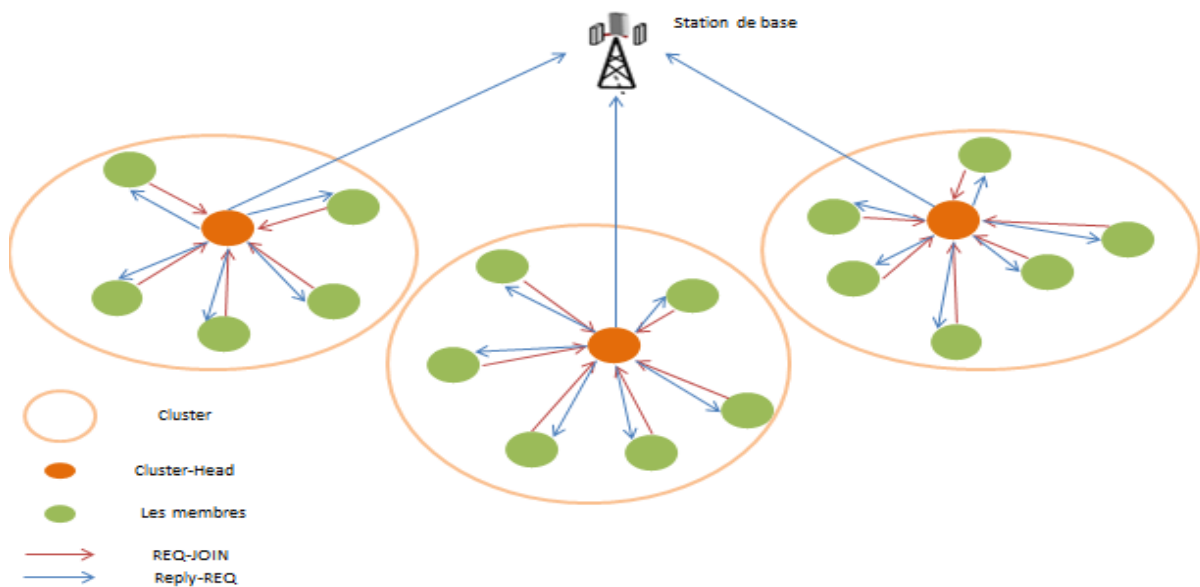


Figure 3.5 - Architecture du protocole LEACH [11]

#### 3.3.1. Les caractéristiques

Le protocole LEACH présente les caractéristiques suivantes [17]:

- 1) **Algorithme distribué** : l'auto-configuration des clusters se fait indépendamment de la SB.
- 2) **Rotation des rôles de chefs de clusters** : les CHs sont choisis de façon aléatoire et périodique parmi les nœuds formant le cluster.
- 3) **Faible énergie pour l'accès au média** : Le mécanisme de groupes permet aux nœuds d'effectuer des communications sur des petites distances avec leurs CHs, pour minimiser les interférences et les collisions.

4) **Agrégations des données** : Les cluster-Head envoient un paquet d'agrégation au nœud sink afin de réduire la quantité d'informations qui doit lui être transmise.

Cela permet :

- ✓ Réduire la complexité des algorithmes de routage.
- ✓ Simplifier la gestion du réseau.
- ✓ Optimiser les dépenses d'énergie.
- ✓ Rend le réseau plus évolutif.

### 3.3.2. Le principe de fonctionnement de LEACH

Le protocole LEACH se décompose en deux phases : la construction (set-up) et la communication (steady-state).

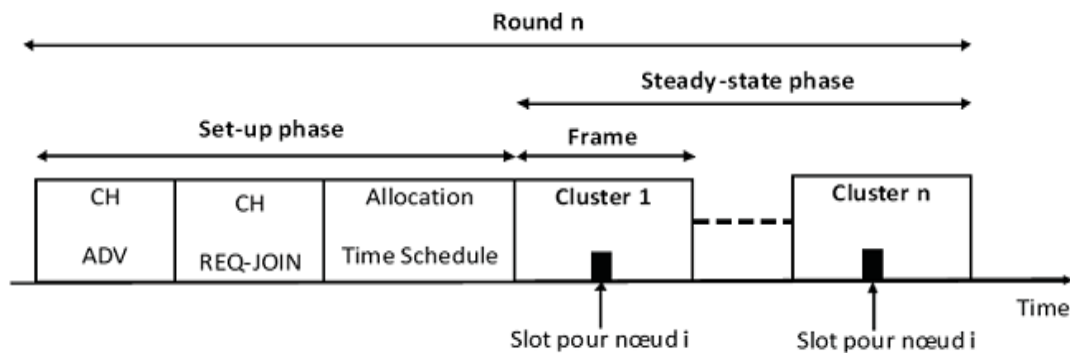


Figure 3.6 - Formation de clusters par Leach [17]

#### 1) La phase de construction

C'est la phase des construire les clusters et mettre le cluster-Head. Cette phase est composée, à son tour, de trois sous-phases:

Sous-phase d'annonce, sous-phase d'organisation des groupes et enfin sous-phase d'ordonnancement [15].



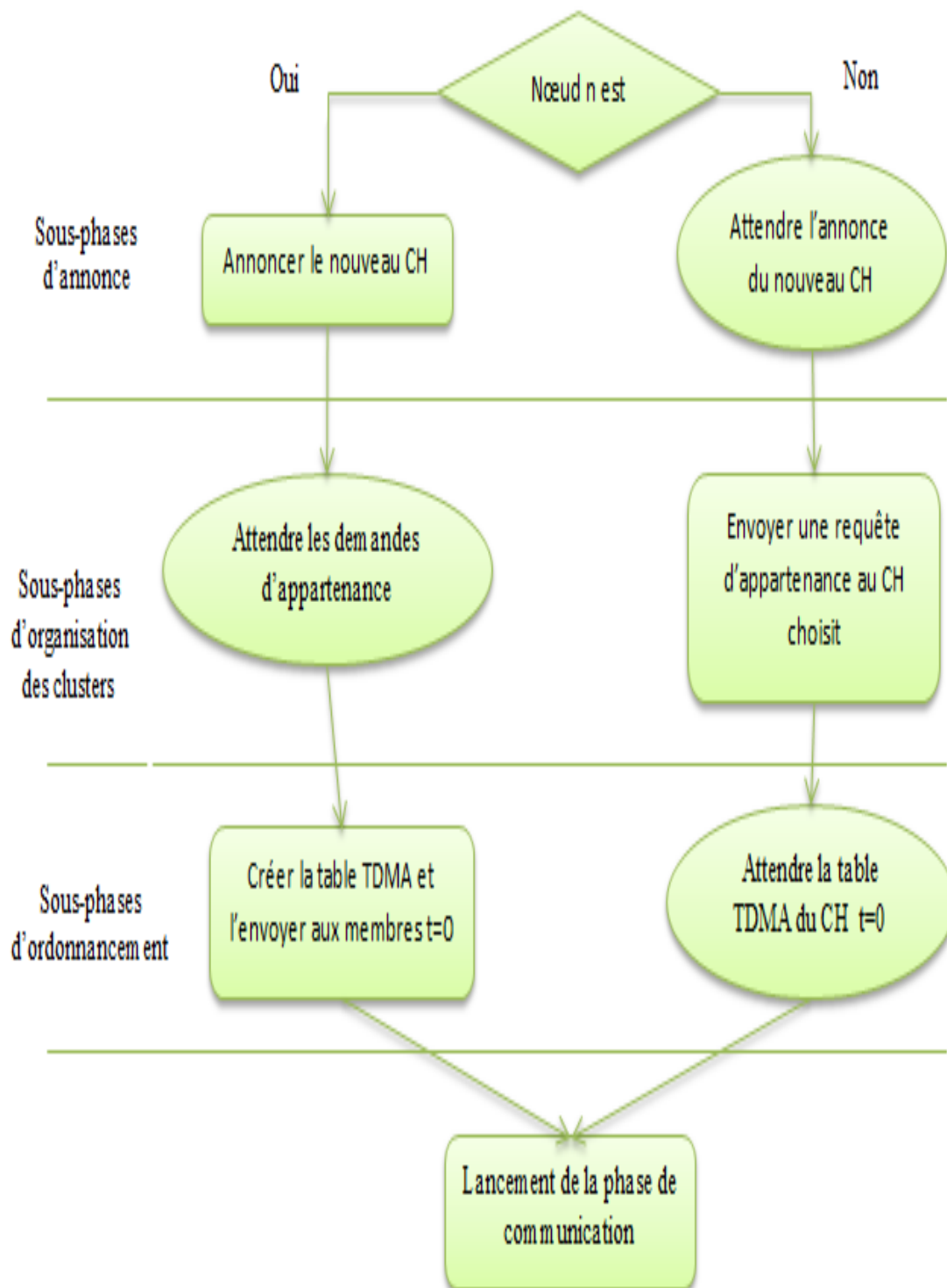


Figure 3.7 - Opérations de phase de construction de LEACH [17]

### 1.1. La sous-phase d'annonce

Durant cette phase, le processus d'élection des cluster-Heads (CHs) est déclenché pour choisir les futurs CHs. Ainsi, une fraction  $p$  prédéterminée des nœuds s'élisent comme CHs selon le schéma d'exécution suivant [17] :

- ✓ Durant une période  $r$ , un nœud  $u$  choisit un nombre aléatoire  $ru$  dont la valeur est comprise entre 0 et 1 ( $0 < ru < 1$ ).
  - Si  $ru$  est inférieur à une valeur seuil ( $u$ ) alors le nœud  $u$  deviendra CH durant la période courante.
  - Sinon le nœud  $u$  devrait rejoindre le CH le plus proche dans son voisinage.
  
- ✓ La valeur seuil ( $u$ ) est calculée comme suit :

$$T(u) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \times \left( r \times \text{mod} \left( \frac{1}{p} \right) \right)}, & \text{si } u \in G \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

Où :

- ✓  $p$  : le pourcentage de nœuds cluster-Heads ( $p = 5\%$ ).
- ✓  $r$  : la période courante.
- ✓  $G$  : l'ensemble des nœuds qui n'étaient pas CHs durant les périodes précédentes.

### 1.2. La sous-phase d'organisation des clusters

Après avoir sélectionné un nœud comme CH. Les CH informaient les nœuds qui n'appartiennent pas à cluster, en leur envoyant un message d'avertissement (ADV-CH) contenant l'ID CH en utilisant le protocole CSMA (Carrier Sense Multiple Access) pour éviter les collisions entre les CHs.

Chaque membre, qui n'a pas de CH (n'appartient pas à un groupe) informe le chef de cluster de sa décision en envoyant un message de demande d'adhésion (REQ\_JOIN) utilisant le protocole CSMA MAC, et ce message est composé du nœud ID, du CH ID et l'en-tête. Durant cette phase, tous les CH doivent maintenir leurs récepteurs allumés [7].

### 1.3. La sous-phase d'ordonnancement

Après reçoit les demandes d'adhésion des membres, et sur la base de l'approche TDMA. Le chef de cluster crée un ordonnancement lequel chaque membre du cluster se voit attribuer une période de temps pendant laquelle les données capturées peuvent être communiquées au cluster-Head.

Cette étape comprend également la distribution des codes CDMA, ou chaque CH choisit un code aléatoire pour tous ses membres, ce qui permet de réduire les interférences entre les nœuds se trouvant dans des clusters adjacents [17].

### 2) La phase de communication

C'est phase de transfert des données collectées en CH vers la station de base. les communications à l'intérieur cluster sont effectuées avec la méthode TDMA (Time Division Multiple Access).

En utilisant l'ordonnanceur TDMA qui établit par le Cluster-Head, les membres émettent leurs données captées pendant leurs propres slots [15]

### 3.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une étude du protocole CTP et LEACH, nous avons détaillé leur principe de fonctionnement ainsi leur structure.

Dans le chapitre qui suit, nous allons présenter l'implémentation et la simulation de ces deux protocoles.

## PARTIE 2 : Contribution



## Chapitre 4 : Analyse de performance CTP & LEACH

## 4.1. Introduction

Ce chapitre décrit l'environnement de simulation utilisé, nous avons choisi d'utiliser le simulateur OMNeT++ avec Castalia, car il permet d'intégrer les protocoles de routage avec la possibilité de réaliser plusieurs scénarios dans un temps plus court. Aussi, nous avons fait une analyse de performance de protocole CTP et LEACH.

## 4.2. L'environnement de simulation utilisé

Notre simulation a été réalisée sur un ordinateur dont la configuration :

<b>Processeur</b>	Intel(R) Core(TM) i3-6006U CPU @ 2.00GHz
<b>Mémoire</b>	4,00Go
<b>Disque dur</b>	465.76 Go

**Tableau 4.1** – Les caractéristiques du PC de la simulation

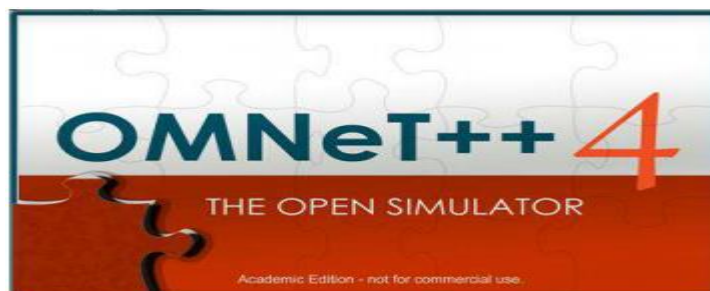
Notre simulation a été réalisée dans l'environnement logiciel suivant :

- ✓ Système d'exploitation : LINUX (Ubuntu 16.04.7).
- ✓ Le simulateur OMNet ++ 4.4.1 ;
- ✓ Le simulateur Castalia 3.2.

### 4.2.1. OMNet ++ 4.4.1

OMNeT++ est un programme de simulation de réseau multi protocole gratuit et open source, offre un IDE basé sur Eclipse. OMNeT++ possède une interface graphique puissante et complète en tant que simulateur d'événements distinct. Il ajoute des fonctionnalités pour [25]:

- ✓ Effectuer des exécutions par lots et analyser les résultats de simulation.
- ✓ Créer et configurer des modèles (fichiers NED et INI).



**Figure 4.1** - OMNet ++ 4.4.1

### 4.2.2. Castalia 3.2

Castalia est un émulateur pour les réseaux de capteurs (comme WSN, BAN). Il est basé sur la plateforme OMNeT++. Il s'agit d'un simulateur générique avec un canal sans fil et un modèle de radio, comme illustré dans figure 4.2.

L'objectif de l'utilisation de Castalia :

- ✓ tester leurs algorithmes et/ou protocoles distribués.
- ✓ évaluer différentes caractéristiques de plate-forme pour des applications spécifiques.
- ✓ simuler une large gamme de plates-formes [8].

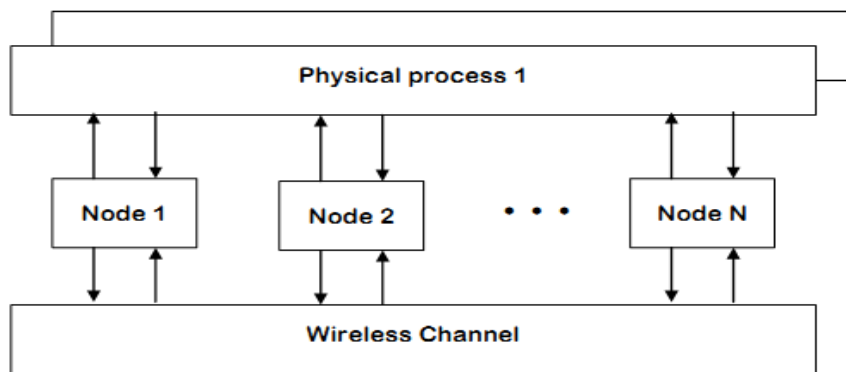


Figure 4.2 - Les modules et leurs connexions en Castalia [8]

➔ Les nœuds ne communiquent pas entre eux directement mais via le(s) module(s) de canal sans fil. Les flèches indiquent les messages qui passent d'un module à l'autre.

#### 4.2.2.1. La structure d'un nœud

Un nœud est une unité composée d'application, Communication (qui contient de MAC, radio, et Routing), mobilité Manager, ressource manager, et sensor manager. Les flèches pleines indiquent l'arrivée du message et les flèches pointillées signifient un simple appel de fonction. La figure -4.3- montre la structure interne de l'unité de nœud complexe [8].

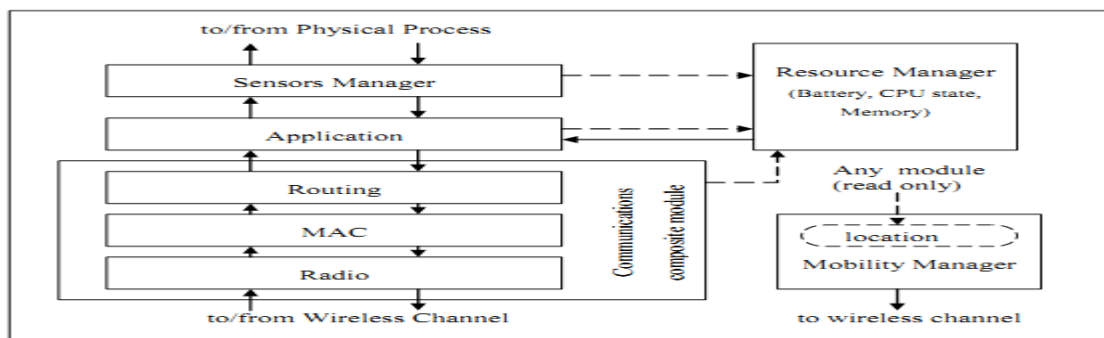


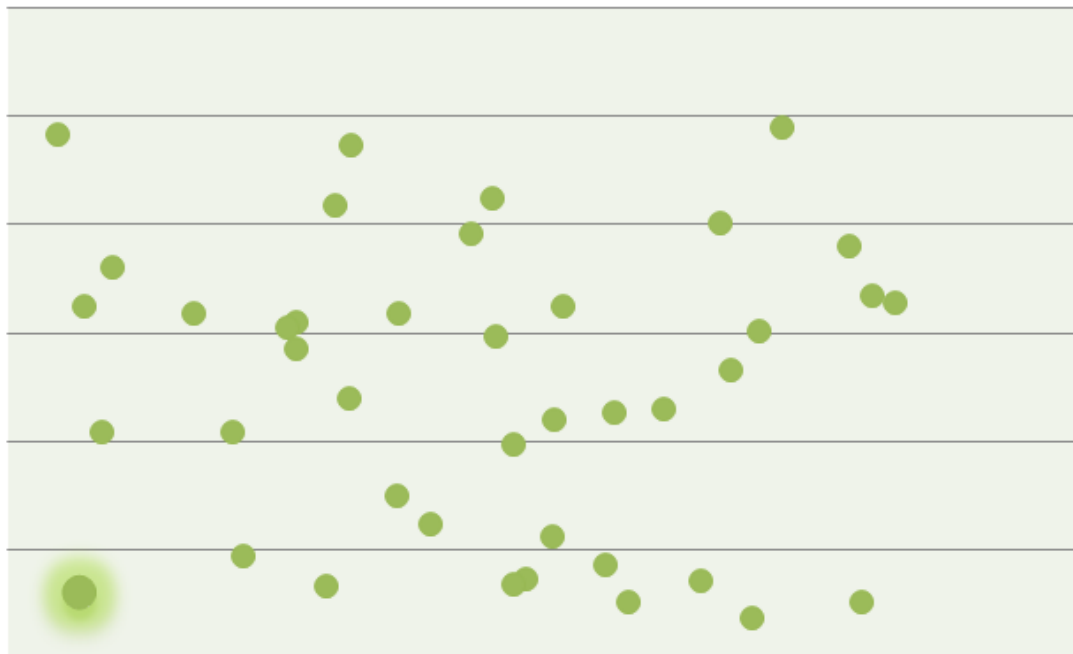
Figure 4.3 - Les Composants de nœud [8]

**4.2.3. Paramètres de la simulation**

Nous changeons à chaque fois les valeurs des paramètres (La durée de simulation, La taille du champ, La vitesse de mobilité, La scalabilité de réseau).

Paramètre	Valeur
Nom d'application	CtpTestingApplication / ThroughputTest
Modèle Radio	CC2420
Déploiement du nœud	Aléatoire
La durée de simulation	{50, 100, 150, 200, 250} s
La taille du champ	{100, 140, 180, 220, 260, 300} m <sup>2</sup>
La vitesse de mobilité	{1, 2, 3, 4, 5, 6} m/s
La scalabilité de réseau	{10, 20, 30, 40}
Energie initiale	17 Joules

**Tableau 4.2** - Les paramètres de la simulation



**Figure 4.4** – Le déploiement aléatoire des nœuds



### 4.2.4. Métrique de la simulation

Les métriques utilisées pour l'analyse des performances du protocole sont :

- 1) **Consommation d'énergie** : l'énergie initiale est fixée à 17 joules. Il est important de garder les capteurs en vie aussi longtemps que possible. Cela permet de surveiller la durée de vie du réseau.
- 2) **Les paquets délivrés** : le nombre de paquets de données livrés aux sink.
- 3) **Les paquets dupliqués** : le nombre de paquets de données dupliqués reçus par le sink.
- 4) **Délai moyen de bout en bout** : le délai pour un paquet est le temps pris pour atteindre le sink. Et le délai moyen est :

$$\text{Délai moyen} = \frac{\text{somme des délais}}{\text{nombre de paquet délivré}}$$

### 4.3. Analyse des performances du Protocole CTP et LEACH

Nous avons effectué la simulation du protocole CTP et LEACH selon les quatre métriques utilisées par rapport aux trois types de mouvements du sink et la mobilité des nœuds statique.

Les trois cas de mobilité du sink sont :

- ✓ Sink statique (fixe) : pas de mouvement.
- ✓ Sink mouvement aléatoire.
- ✓ Sink mouvement linéaire régulier (un déplacement sur une ligne  $y=0$  et  $x=\text{valeur}$ ).

On doit faire varier les paramètres de simulation et voir le comportement les deux protocoles selon le mouvement du sink et des nœuds statique.

### 4.3.1. Analyse des performances du Protocole CTP

#### 1) Consommation d'énergie

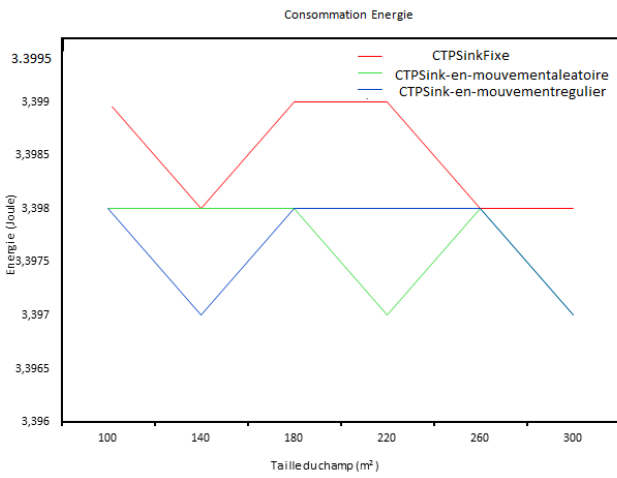


Figure 4.5 -CTP -Consommation d'énergie / Taille du champ

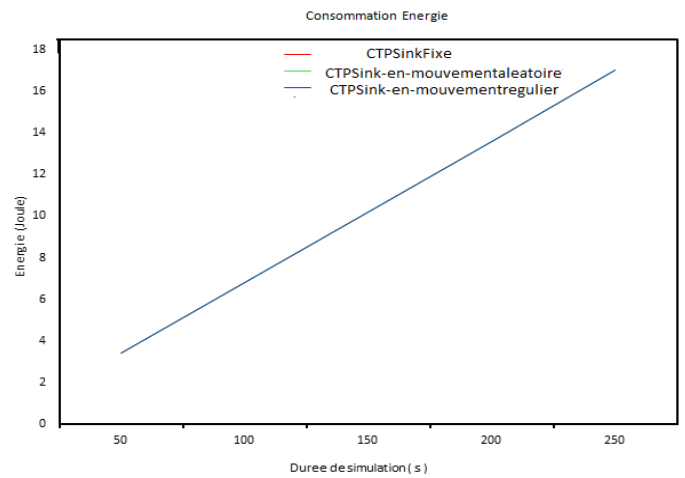


Figure 4.6 -CTP-Consommation d'énergie / Durée de simulation

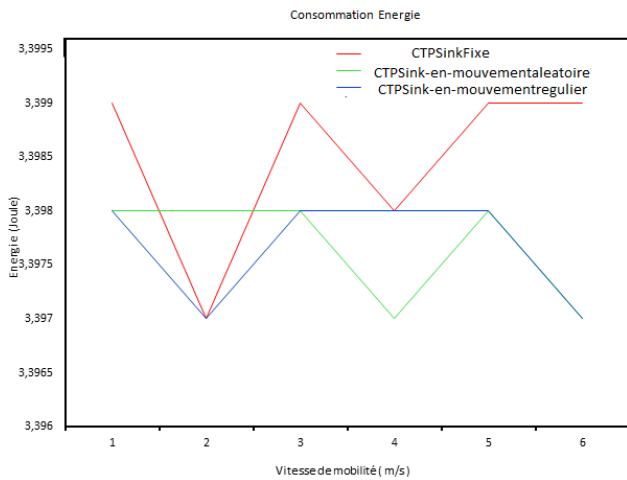


Figure 4.7 -CTP -Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité

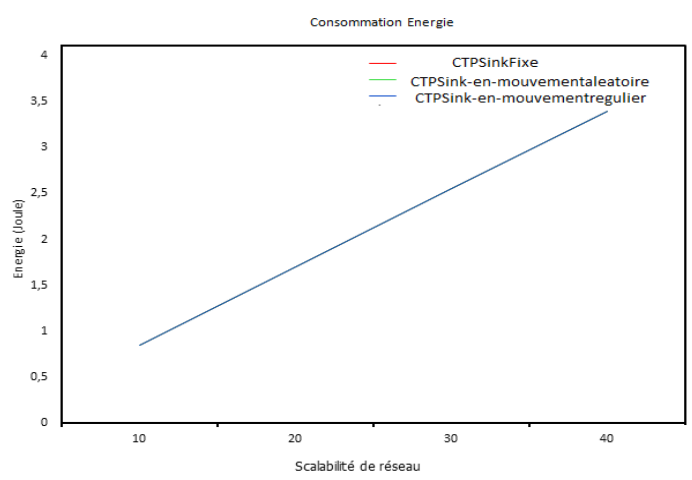


Figure 4.8 -CTP -Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau

En termes de métrique consommation d'énergie, on remarque que les meilleurs résultats dans le cas sink en mouvement (Régulier, Aléatoire) parce que le modèle radio utilisé(CC2420) a un effet sur le mouvement du sink. Pour la durée de simulation et scalabilité de réseau on voit que les 3 cas qui sont identique et la consommation énergie augmente parallèlement à l'augmentation du temps.

## 2) Les paquets délivrés

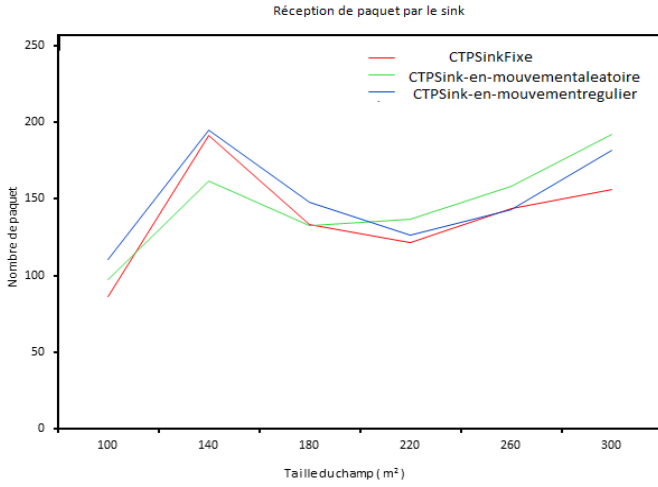


Figure 4.9 -CTP -Paquet délivré / Taille du champ

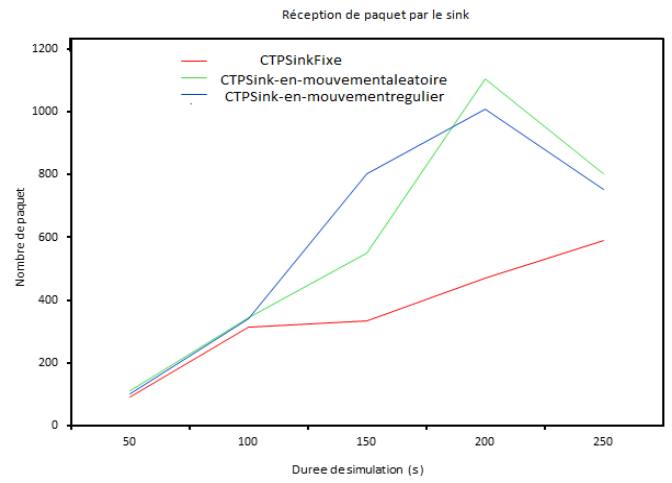


Figure 4.10 -CTP -Paquet délivré / Durée de simulation

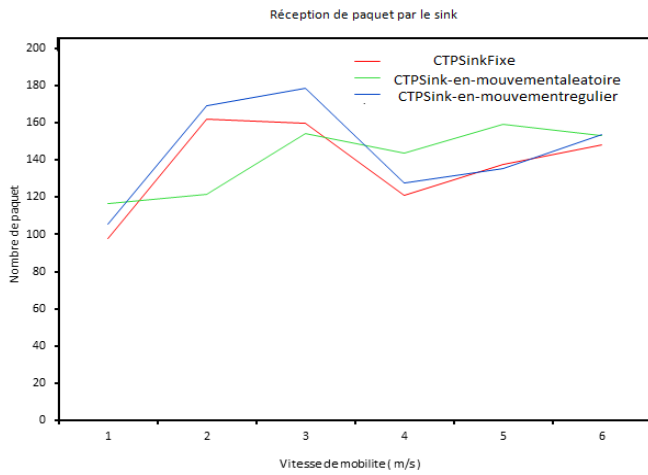


Figure 4.11 -CTP -Paquet délivré / Vitesse de mobilité

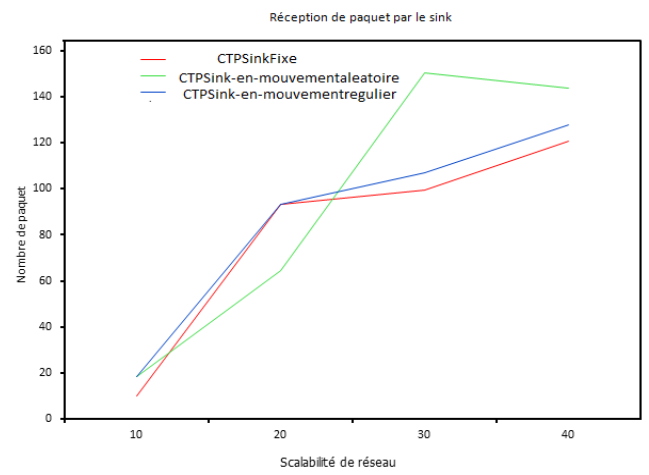


Figure 4.12 -CTP -Paquet délivré / Scalabilité de réseau

En terme le paquet délivré, nous remarquons que les meilleurs résultats sont dans le cas sink régulier, mais après une certaine valeur, la préférence passe au sink aléatoire.

### 3) Les paquets dupliqués

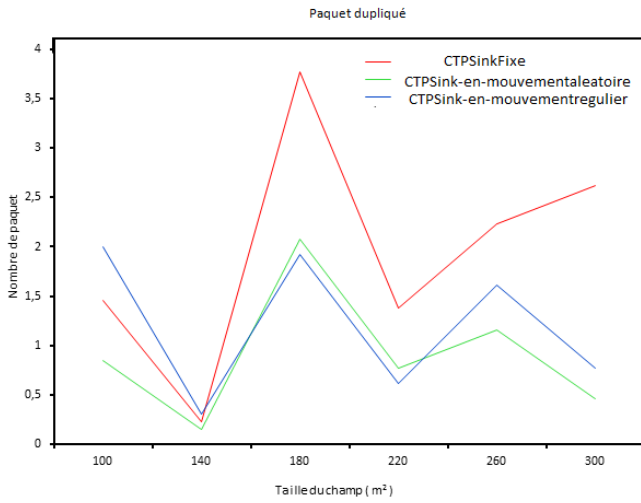


Figure 4.13 -CTP -Paquet dupliqué / Taille du champ

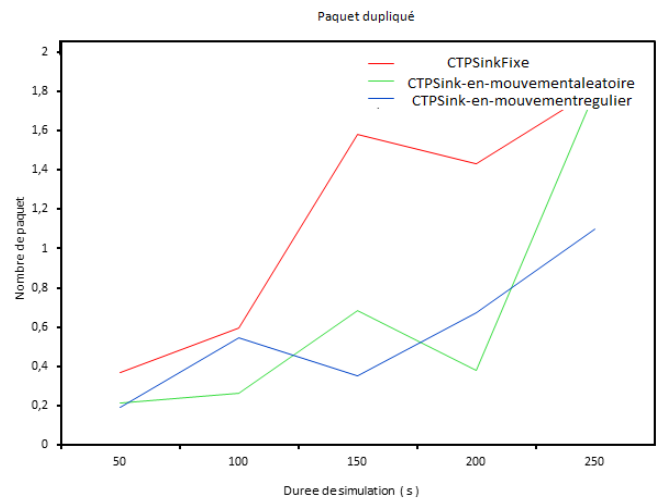


Figure 4.14 -CTP -Paquet dupliqué / Durée de simulation

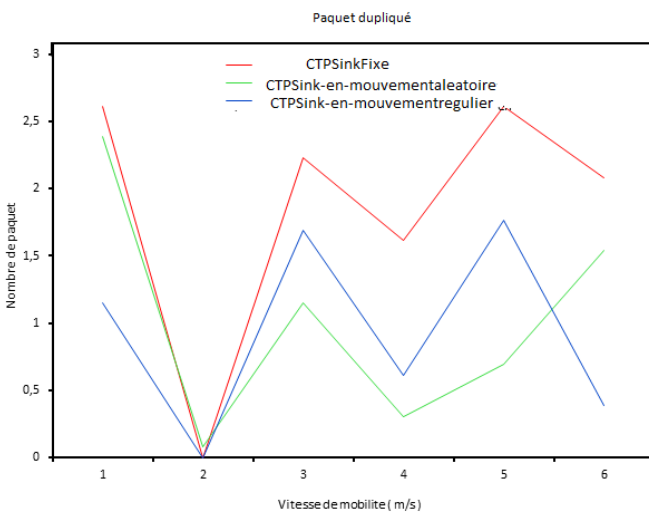


Figure 4.15 -CTP -Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité

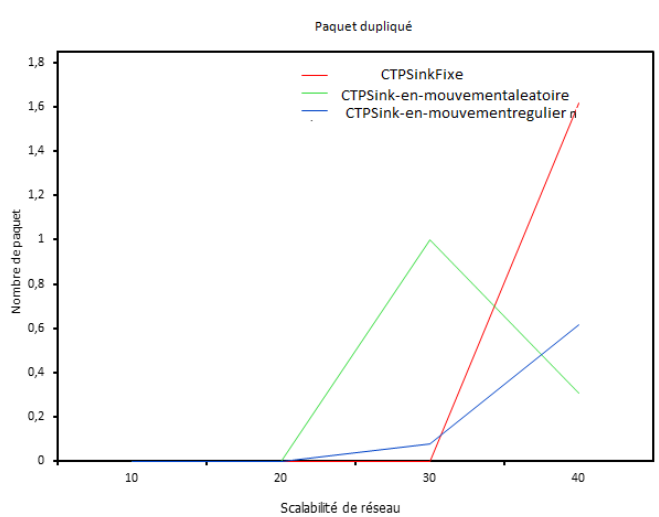


Figure 4.16 - CTP -Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau

En termes de paquet dupliqué, le protocole CTP donne de meilleur résultat en sink en mouvement aléatoire mais pour la durée et la scalabilité de réseau en sink régulier.

Une augmentation de nombre de paquet donne une augmentation de chaque paramètre de simulation.

### 4) Délai moyen de bout en bout

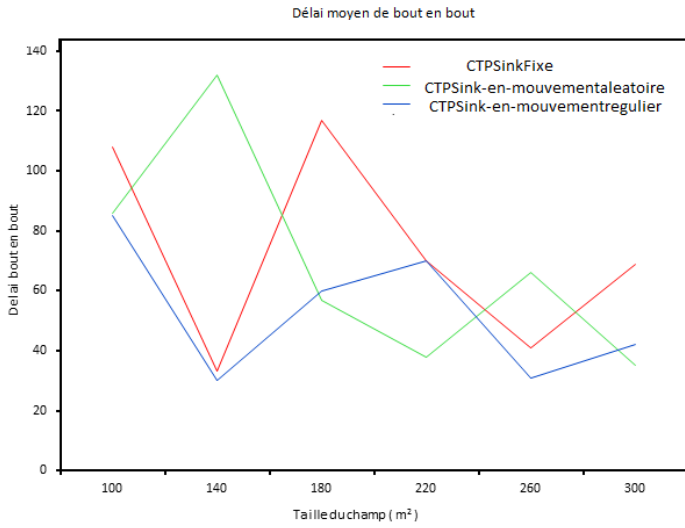


Figure 4.17 -CTP-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ

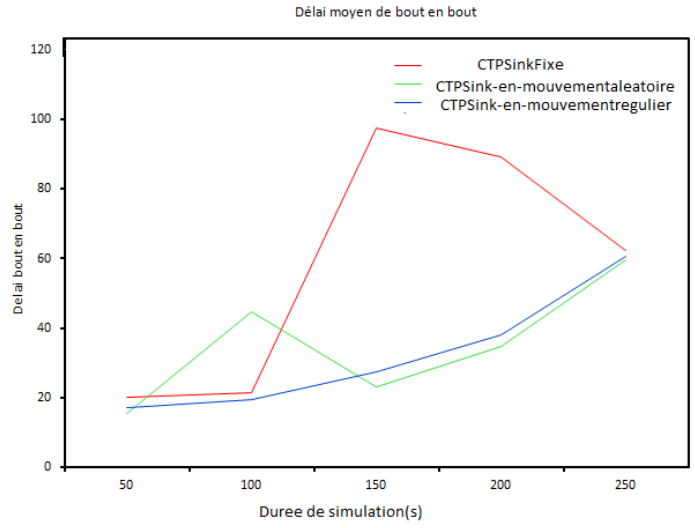


Figure 4.18 -CTP-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation

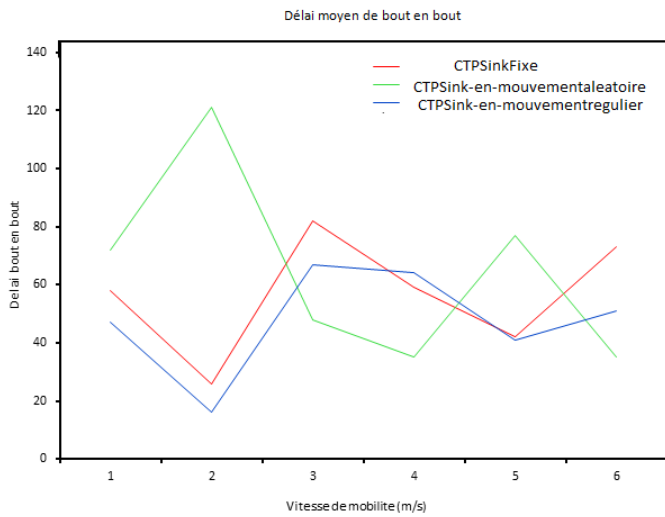


Figure 4.19 -CTP-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité

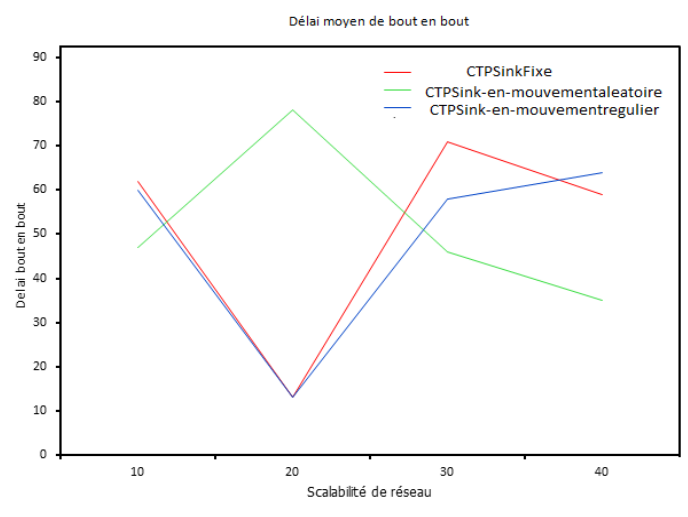


Figure 4.20 -CTP-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau

En termes de délai moyen, CTP donne des meilleurs résultats lorsque le sink est en mouvement régulier parce que le temps pris dans ce cas est moindre que dans les autres cas. D'autre part, le délai moyen est diminué de manière significative lorsque le champ est étendu.

### 4.3.2. Analyse des performances du Protocole LEACH

#### 1) Consommation d'énergie

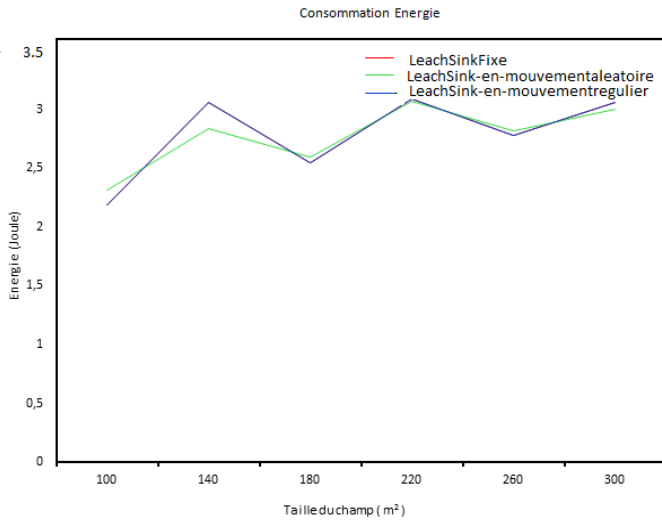


Figure 4.21 -LEACH-Consommation d'énergie / Taille du champ

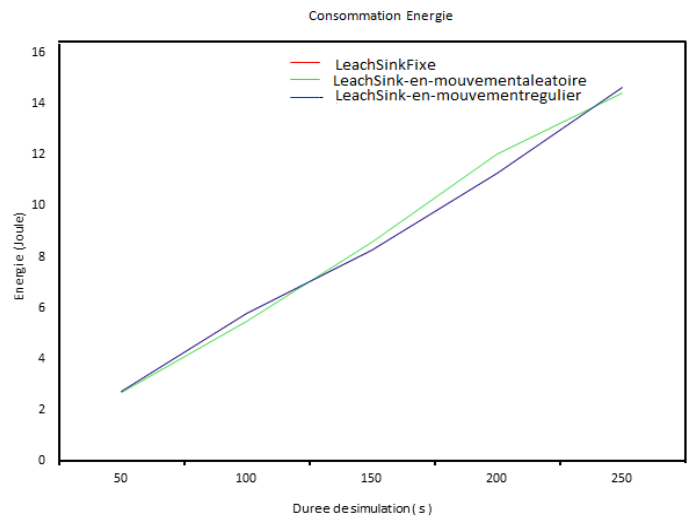


Figure 4.22 -LEACH-Consommation d'énergie / Durée de simulation

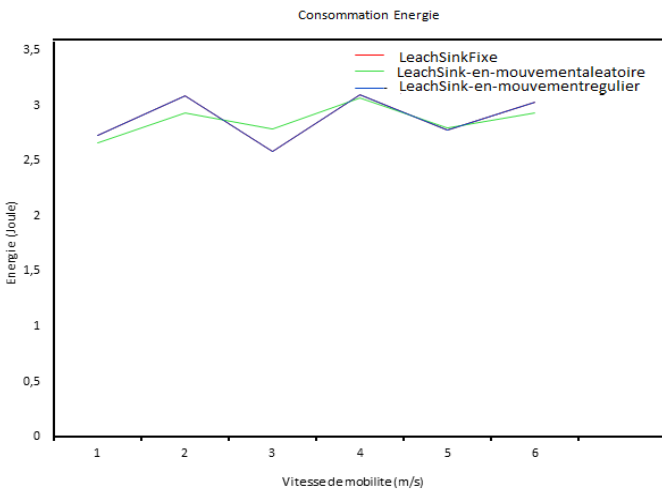


Figure 4.23 -LEACH-Consommation d'énergie de réseau / Vitesse de mobilité

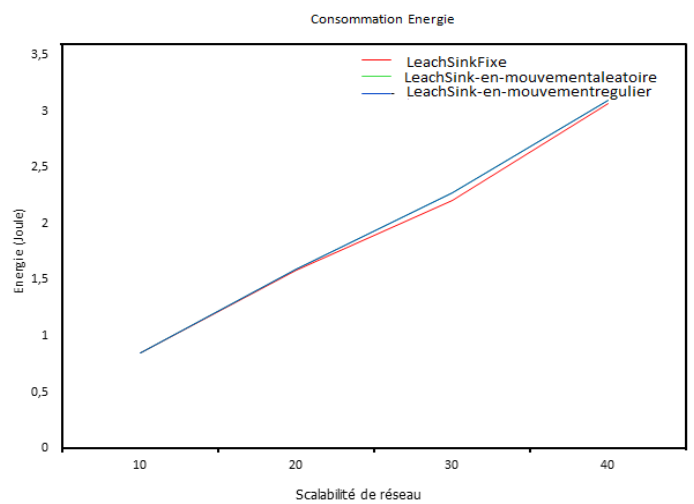


Figure 4.24 -LEACH-Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau

Pour la consommation d'énergie, on remarque que les valeurs sont identiques dans le cas du sink statique et régulier, où la préférence varie entre eux et sink aléatoire, mais les meilleurs résultats sont obtenus dans le cas d'un sink en mouvement aléatoire (car il consomme moins par rapport aux autres). Dans la scalabilité de réseau, les valeurs sont identiques dans le cas du sink aléatoire et régulier où les meilleurs résultats dans le cas sink statique.

D'autre part, on voit que la consommation énergie augmente parallèlement à l'augmentation du chaque paramètre de simulation.

## 2) Les paquets délivrés

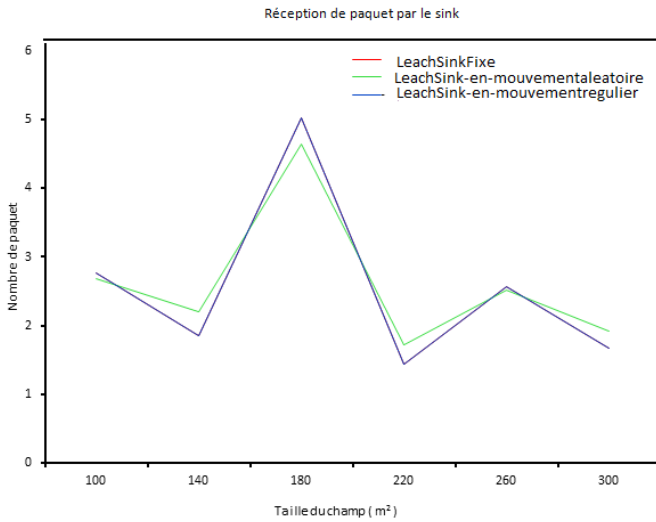


Figure 4.25 -LEACH-Paquet délivré / Taille du champ

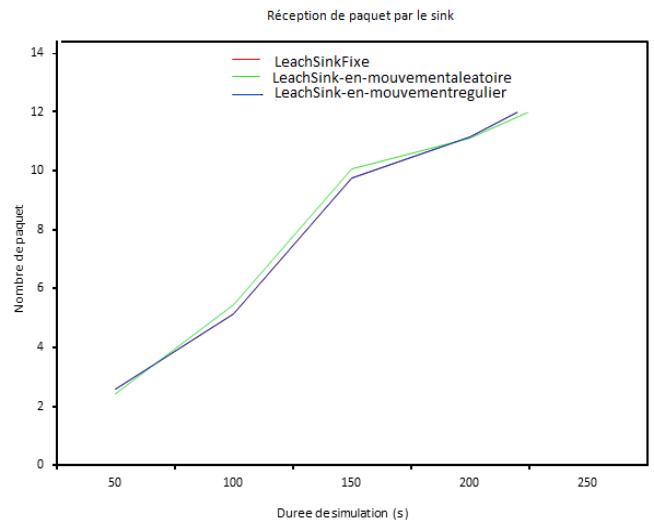


Figure 4.26 -LEACH-Paquet délivré / Durée de simulation

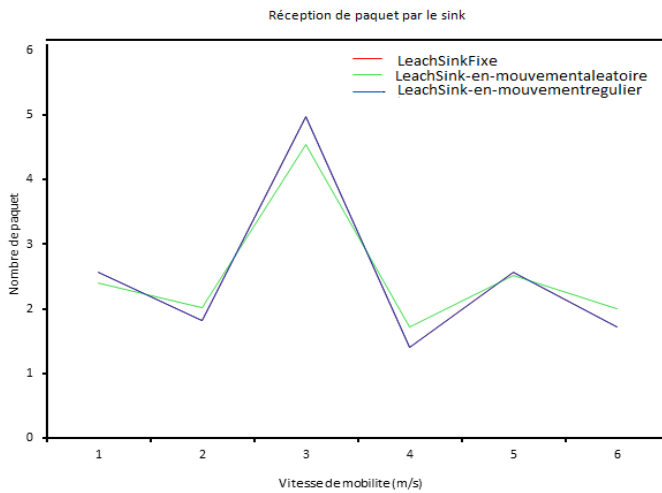


Figure 4.27 -LEACH-Paquet délivré / Vitesse de mobilité

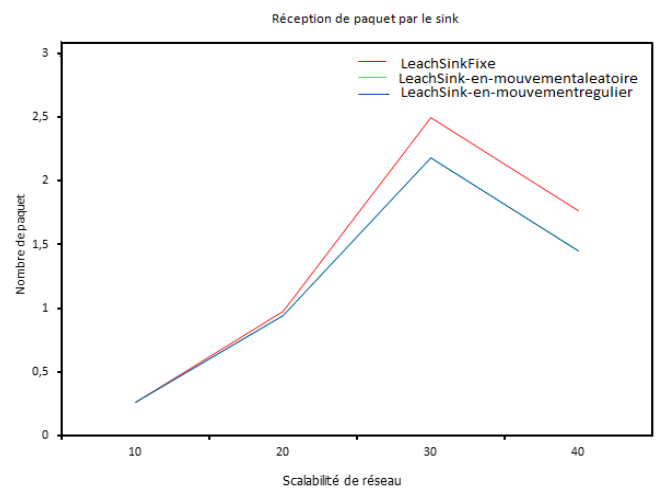


Figure 4.28 -LEACH-Paquet délivré / Scalabilité de réseau

En terme le paquet délivré, on remarque que les valeurs sont égales dans le cas du sink statique et régulier, ces dernier donne les meilleurs résultats avec la taille du champ, la durée de simulation et la vitesse de mobilité. Pour la scalabilité de réseaux, on voie que le cas sink aléatoire et régulier sont identique, et les meilleurs résultats avec le cas des sink statique (car il oriente beaucoup les paquets, contrairement au sink qui est en mouvement).

### 3) Les paquets dupliqués

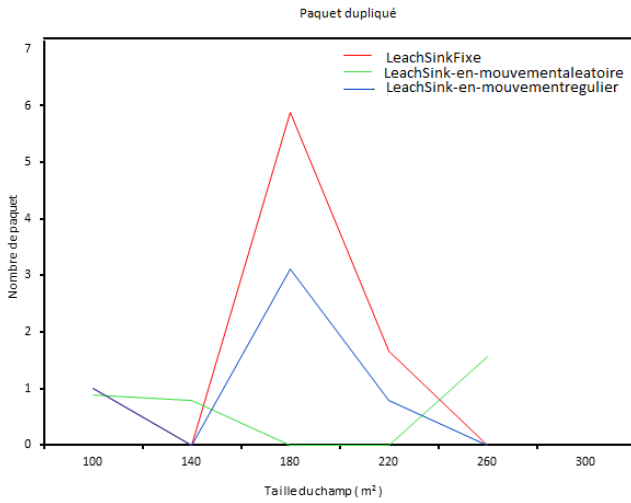


Figure 4.29-LEACH-Paquet dupliqué / Taille du champ

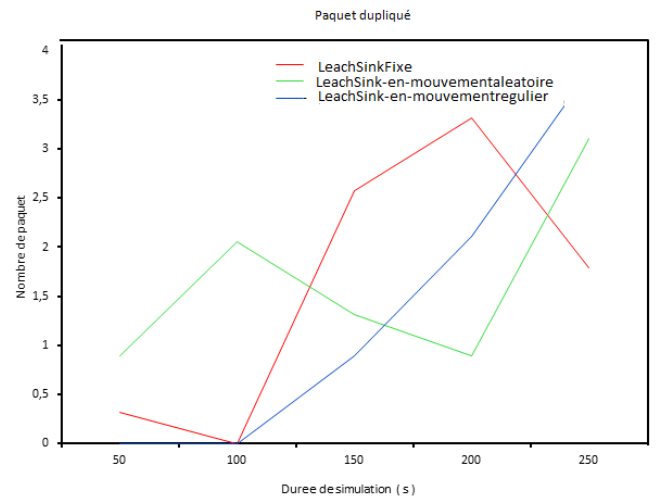


Figure 4.30-LEACH-Paquet dupliqué / Durée de simulation

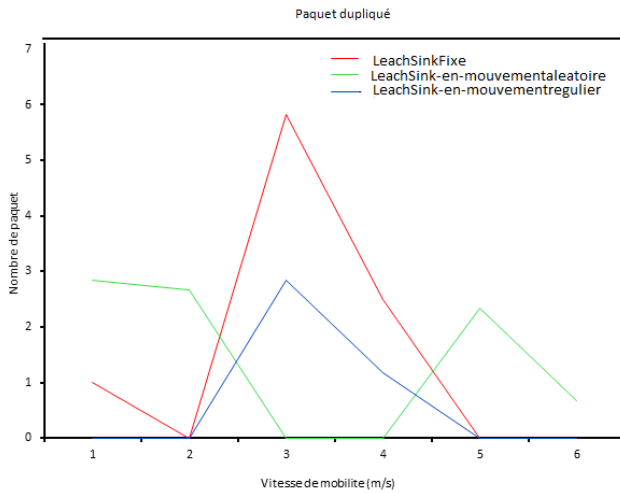


Figure 4.31 -LEACH-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité

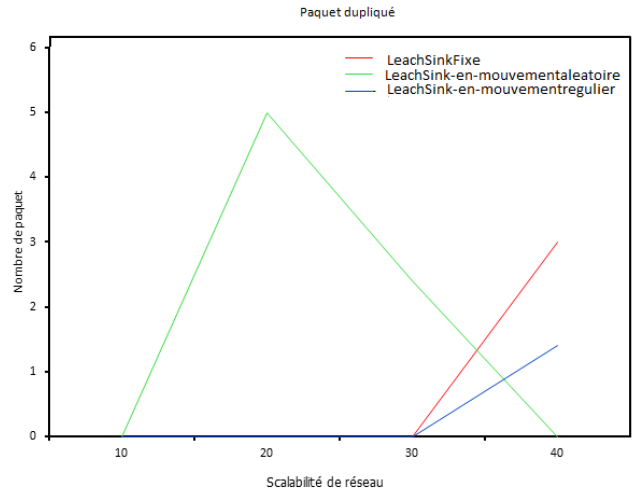


Figure 4.32 -LEACH-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau

En termes de paquet dupliqué, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats en sink en mouvement aléatoire avec la taille du champ, durée de simulation et la vitesse de mobilité. Mais les meilleurs résultats avec la scalabilité de réseau dans le cas de sink statique.

On remarque que l'augmentation de nombre de paquet donne une augmentation de durée de simulation.



#### 4) Délai moyen de bout en bout

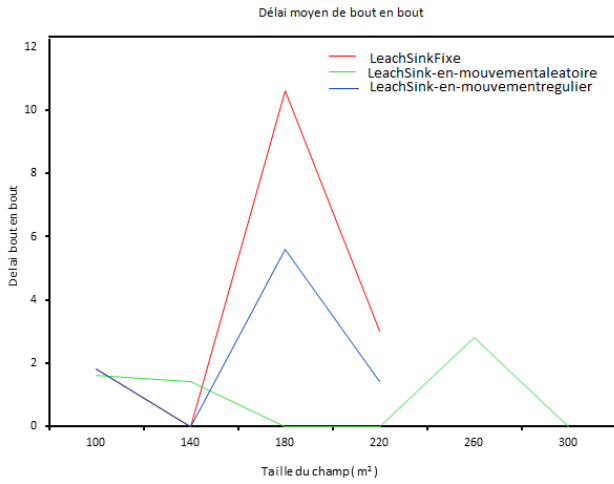


Figure 4.33 -LEACH-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ

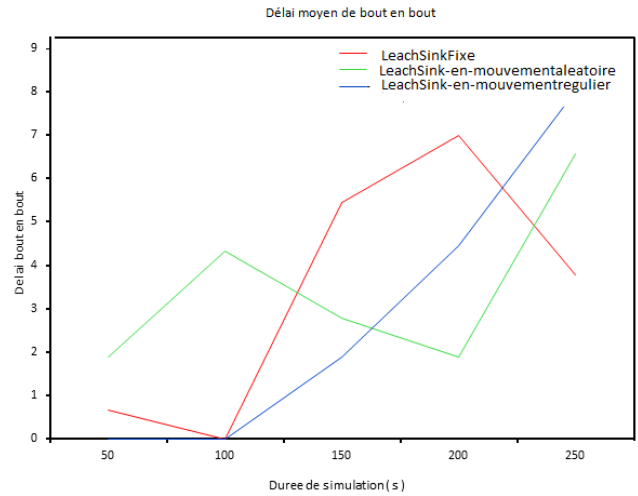


Figure 4.34 -LEACH-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation

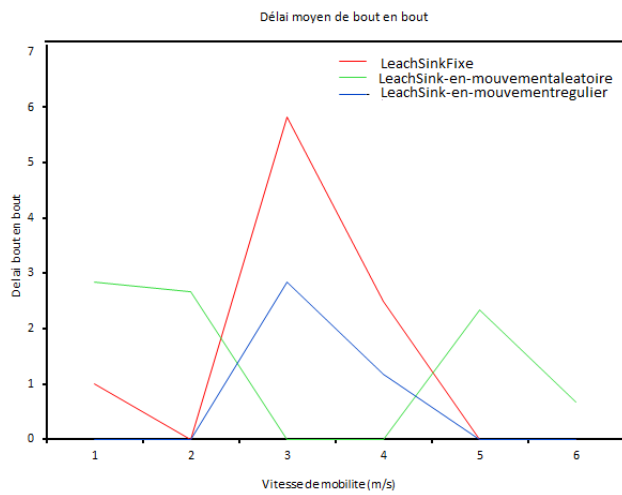


Figure 4.35-LEACH-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité

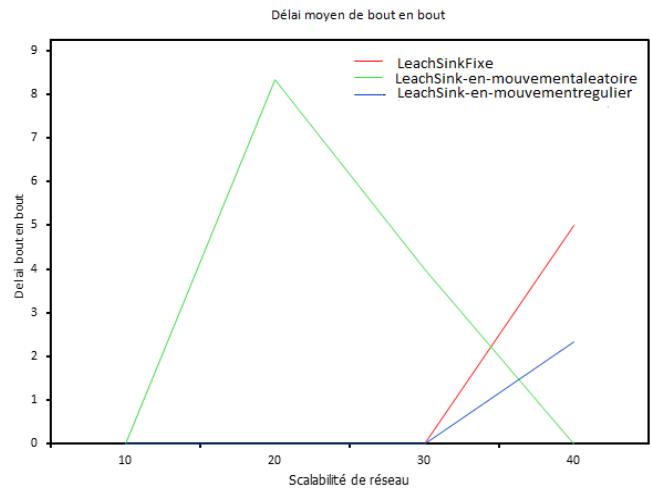


Figure 4.36 -LEACH-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau

En termes de délai moyen, LEACH donne des meilleurs résultats lorsque le sink est en mouvement aléatoire avec la taille du champ, durée de simulation et la vitesse de mobilité. Mais des meilleurs résultats avec la scalabilité de réseau dans le cas sink régulier.

D'autre part, le délai moyen est augmenté de manière significative lorsque la durée est augmentée.

### 4.4. Conclusion

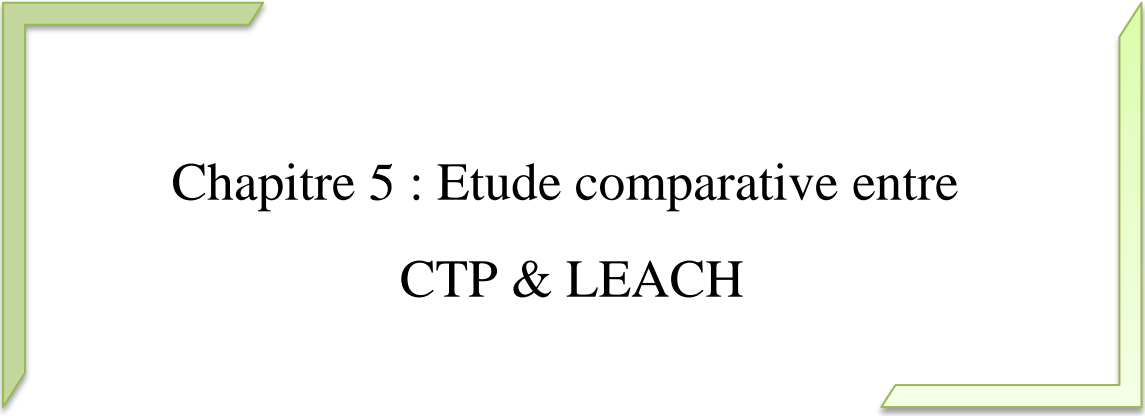
Dans ce chapitre, nous avons implémenté le protocole CTP et LEACH en utilisant Castalia avec OMNeT++. Puis, nous avons étudié les performances des deux protocoles selon la mobilité du sink pour les différents paramètres de simulation et les résultats des analyses ont montré que :

Pour le protocole CTP :

- En terme paquet délivré : les meilleurs résultats sont dans le cas sink régulier, mais après une certaine valeur, la préférence passe au sink aléatoire.
- En terme paquet dupliqué : les meilleurs résultats avec sink régulier.
- En terme consommation d'énergie : les meilleurs résultats avec le sink régulier et aléatoire.
- Le délai moyen de bout en bout : les meilleurs résultats avec le sink régulier.

Pour le protocole LEACH :

- L'utilisation d'un sink en mouvement aléatoire donne des meilleurs résultats pour la consommation d'énergie, les paquets dupliqués et le délai moyen.
- Les meilleurs résultats avec le sink statique en terme paquet délivré.



Chapitre 5 : Etude comparative entre  
CTP & LEACH

### 5.1. Introduction

Nous avons fait une comparaison entre le protocole CTP et le protocole LEACH, selon les trois cas de mobilité de sink et les cas des nœuds (cas : statique, régulier, aléatoire). Nous avons effectué des simulations en faisant varier quatre paramètres de simulation (la durée de simulation, la vitesse de mobilité, la scalabilité de réseau et la taille du champ), pour avoir quatre diagrammes sur les métriques utilisés (la consommation d'énergie, les paquets délivrés, les paquets dupliqués, et le délai moyen de bout en bout).

- **Cas sink statique (Fixe)**
- **Nœuds statiques (Fixe)**
- 1) Consommation d'énergie**

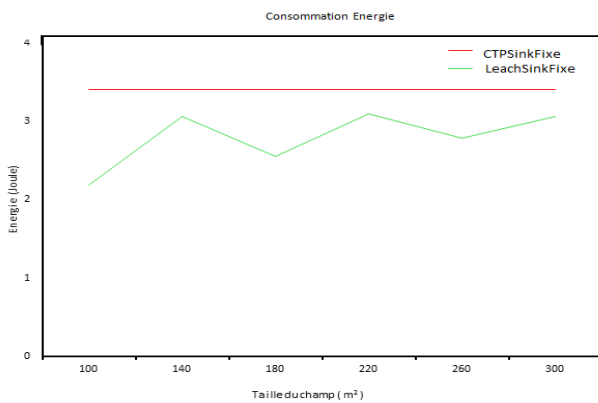


Figure 5.1 -CTP-LEACH-Sink statique-Nœuds statiques- Consommation d'énergie / Taille du champ

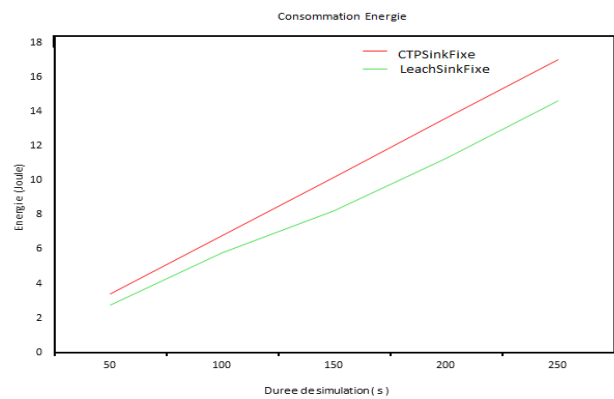


Figure 5.2 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques - Consommation d'énergie / Durée de simulation

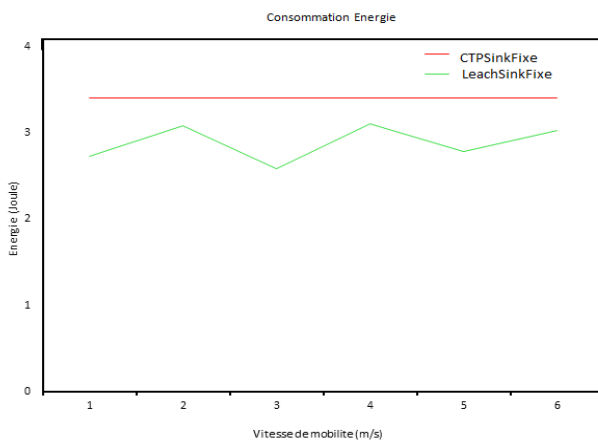


Figure 5.3 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques - Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité

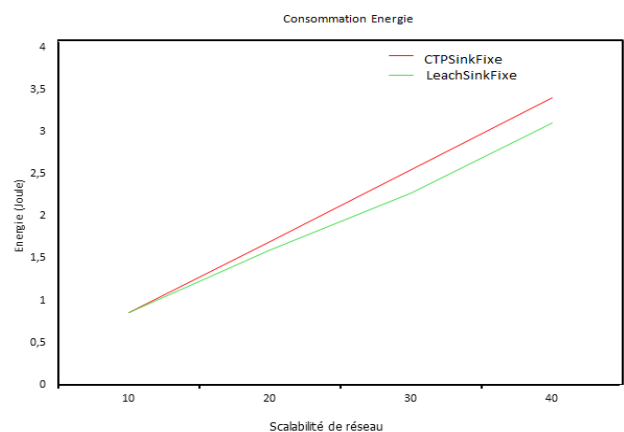


Figure 5.4 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques - Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau

Dans le cas des nœuds statiques et pour le métrique consommation d'énergie, le protocole LEACH donne des meilleurs résultats par rapport au protocole CTP, car il dépend du principe de groupe dans lequel la consommation d'énergie n'est pas beaucoup.

Pour le protocole LEACH :

- Une augmentation de la durée de simulation, la taille du champ et la scalabilité de réseau donne une augmentation de consommation d'énergie.

Pour le protocole CTP :

- La consommation d'énergie reste constante avec l'augmentation de la taille du champ, vitesse de mobilité.
- Une augmentation de la durée de simulation et la scalabilité de réseau donne une augmentation de consommation d'énergie.

## 2) Les paquets délivrés

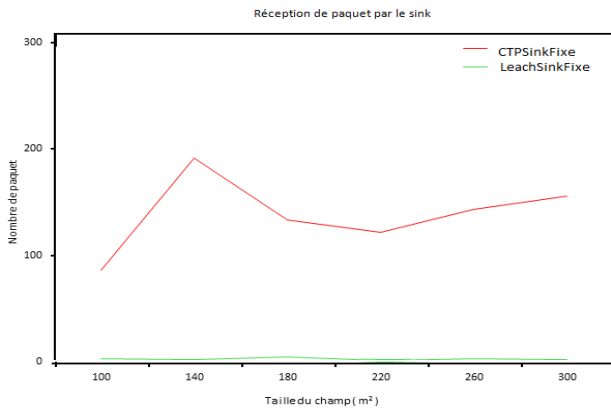


Figure 5.5 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques -Paquet délivré / Taille du champ

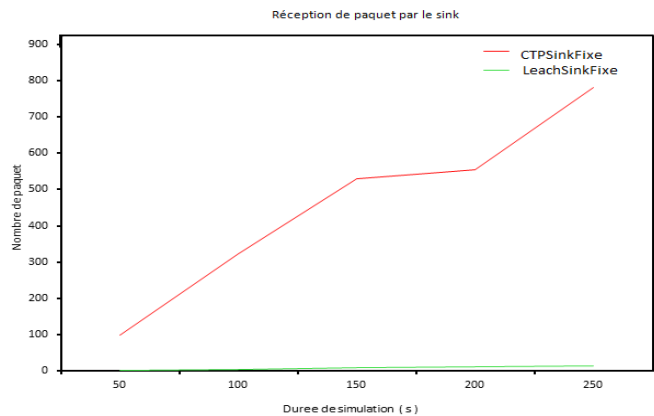


Figure 5.6 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques -Paquet délivré / Durée de simulation

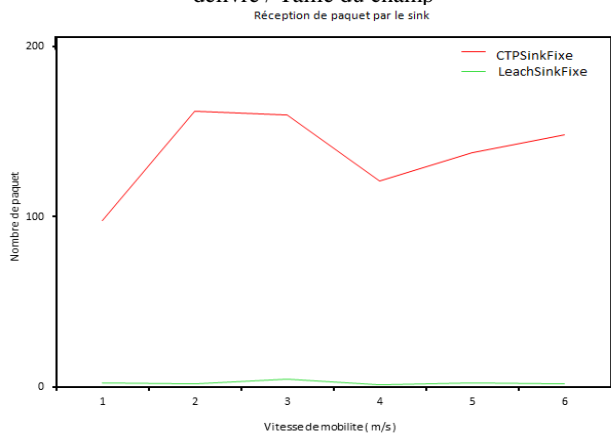


Figure 5.7 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques -Paquet délivré / Vitesse de mobilité

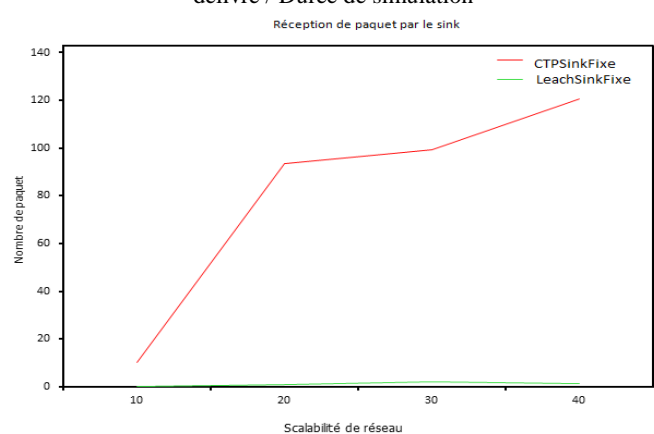


Figure 5.8 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques - Paquet délivré / Scalabilité de réseau

Dans le cas des nœuds statiques et pour le métrique paquet délivré, le protocole CTP donne des meilleurs résultats parce qu'il envoie un grand nombre de paquets par rapport au protocole LEACH.

Pour le protocole CTP :

- Une augmentation de la taille du champ, la durée de simulation, la vitesse de mobilité, et la scalabilité de réseau donne une augmentation de paquets délivrés.

Pour le protocole LEACH :

- Les paquets délivrés restent constants avec de légers changements avec l'augmentation de la taille du champ, scalabilité de réseaux et la vitesse, et la durée de simulation. Parce que ce protocole collecte des données et envoie un paquet agrégé pour réduire la quantité d'informations qui doivent être transmises

### 3) Les paquets dupliqués

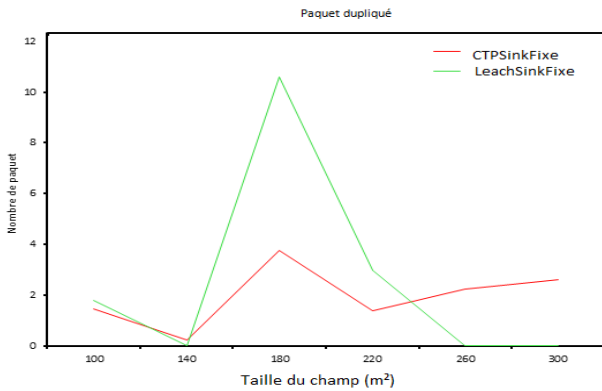


Figure 5.9 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques -Paquet dupliqué / Taille du champ

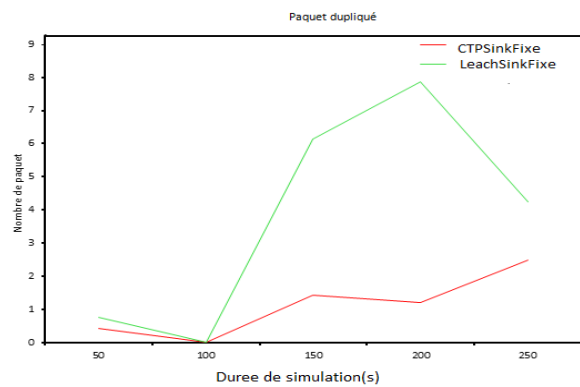


Figure 5.10 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques - Paquet dupliqué / Durée de simulation

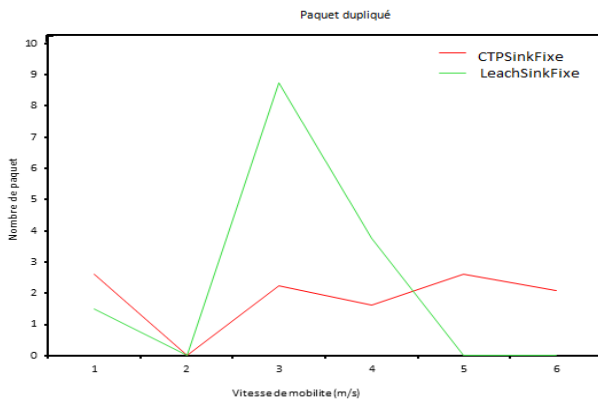


Figure 5.11 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques - Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité

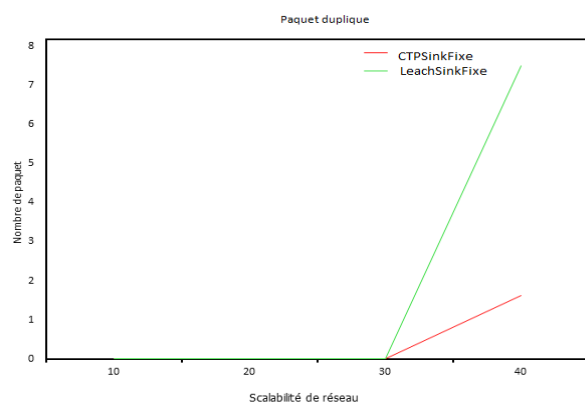


Figure 5.12 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques - Paquet dupliqué Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique paquet dupliqué, le protocole CTP donne les meilleurs résultats parce que dans la structure du protocole CTP il y a « Forwarding Engine » qui est responsable de la suppression des paquets dupliqués, donc il envoie moins de paquets.

Pour le protocole CTP :

- Le paquet dupliqué a augmenté à mesure que chaque paramètre de simulation augmente.

Pour le protocole LEACH :

- Le paquet dupliqué a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la durée de simulation, la vitesse de mobilité.

#### 4) Délai moyen de bout en bout

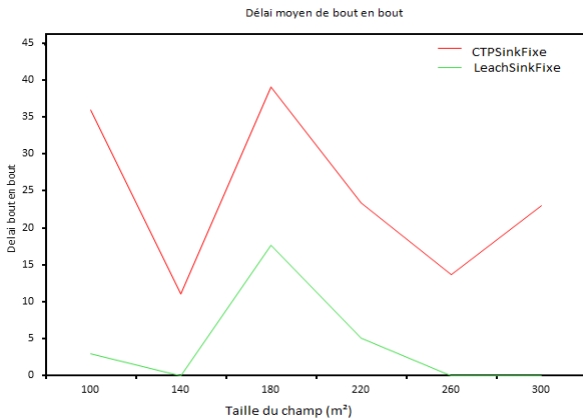


Figure 5.13 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques - Délai moyen de bout en bout / Taille du champ

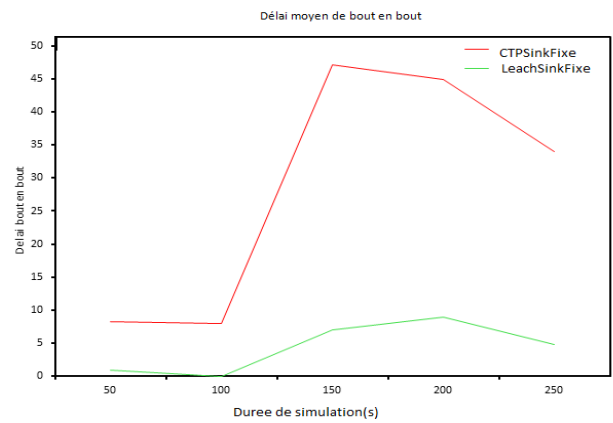


Figure 5.14 -CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques - Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation

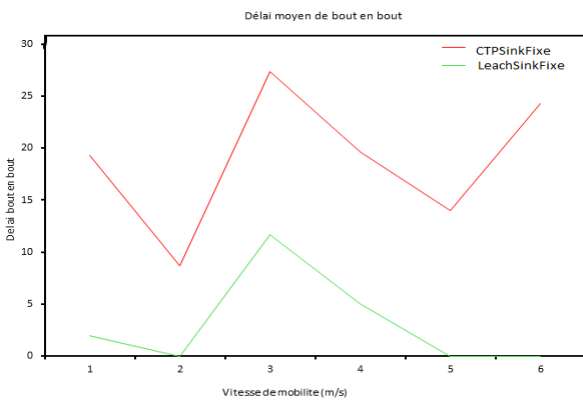


Figure 5.15-CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques -Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité

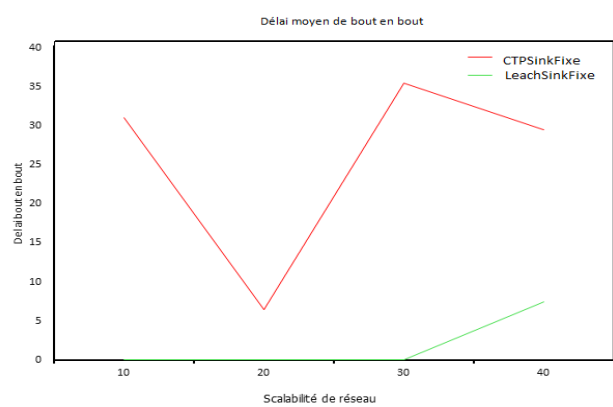


Figure 5.16-CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds statiques - Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau

Dans le cas de sink statique et pour le métrique délai moyen, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats parce que le temps pris dans ce cas est inférieur à celui du protocole CTP.

Pour le protocole CTP :

- Le délai moyen a augmenté pour chaque paramètre de simulation augmente.

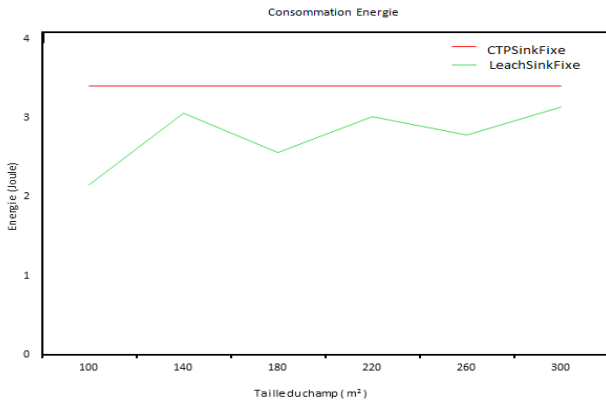
Pour le protocole LEACH :

- Le délai moyen a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la durée de simulation, la vitesse de mobilité .

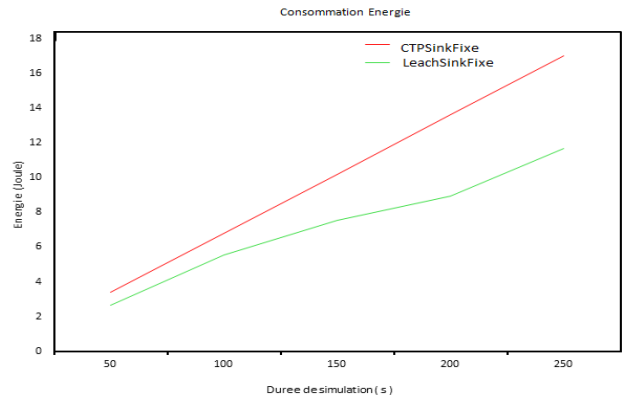


➤ **Nœuds en mouvement régulier**

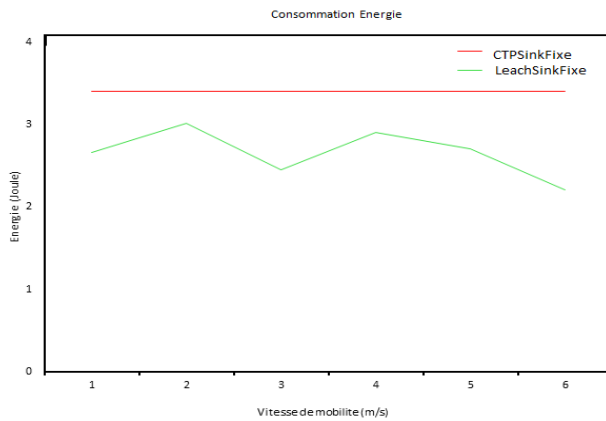
**1) Consommation d'énergie**



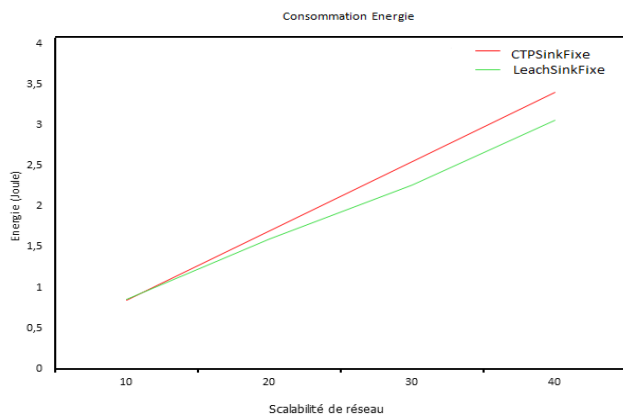
**Figure 5.17**-CTP-LEACH-Sink statique-Nœuds régulier- Consommation d'énergie / Taille du champ



**Figure 5.18**-CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds régulier- Consommation d'énergie / Durée de simulation



**Figure 5.19**-CTP-LEACH-Sink statique -Nœuds régulier- Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité



**Figure 5.20**-CTP-LEACH-Sink statique -Nœuds régulier- Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau

Dans le cas des nœuds en mouvement régulier et pour le métrique consommation d'énergie, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats par rapport le protocole CTP, car il dépend du principe de groupe dans lequel la consommation d'énergie n'est pas beaucoup.

Pour le protocole LEACH :

- Une augmentation de la taille du champ la durée de simulation et scalabilité de réseau donne une augmentation de consommation d'énergie.
- La consommation d'énergie a diminué à cause de la vitesse de mobilité augmente.

Pour le protocole CTP :

- La consommation d'énergie reste constante avec l'augmentation de la taille du champ, vitesse de mobilité.
- Une augmentation de la durée de simulation et la scalabilité de réseau donne une augmentation de consommation d'énergie.

## 2) Les paquets délivrés

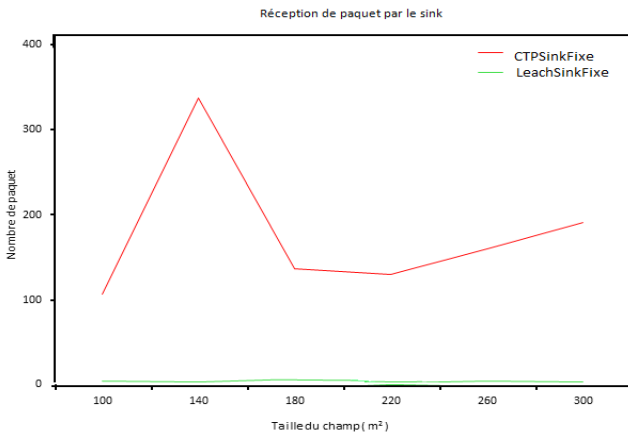


Figure 5.21-CTP-LEACH-Sink statique -Nœuds régulier-Paquet délivré / Taille du champ

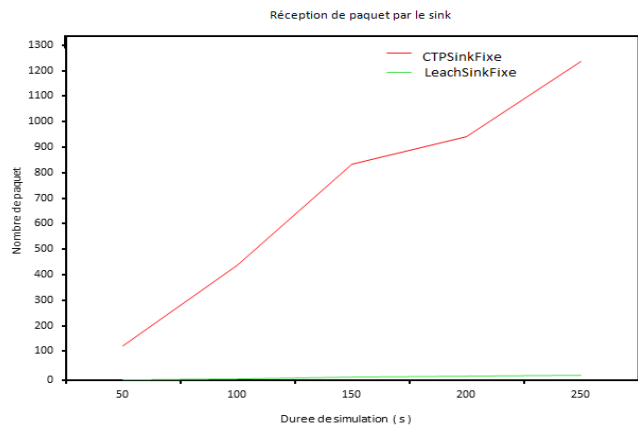


Figure 5.22-CTP-LEACH-Sink statique -Nœuds régulier-Paquet délivré / Durée de simulation

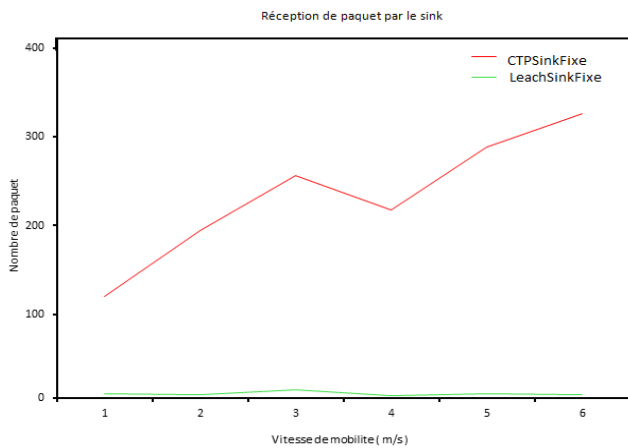


Figure 5.23-CTP-LEACH-Sink statique -Nœuds régulier-Paquet délivré / Vitesse de mobilité

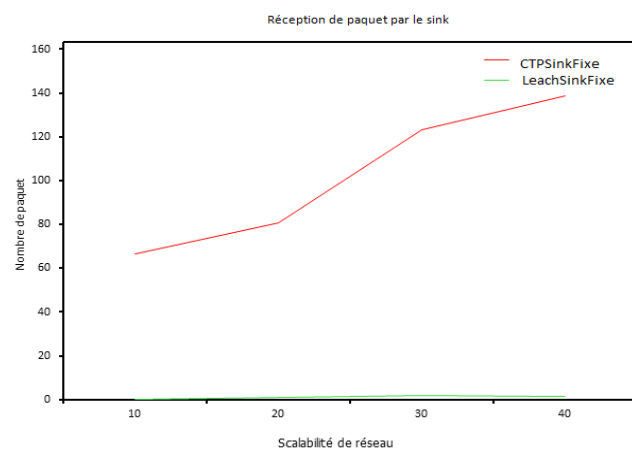


Figure 5.24-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds régulier-Paquet délivré / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique paquet délivré, le protocole CTP donne les meilleurs résultats parce qu'il envoie un grand nombre de paquets par rapport au protocole LEACH.

Pour le protocole CTP :

- Le paquet délivré a augmenté à mesure que la durée de simulation et la vitesse de mobilité augmentent et la scalabilité de réseau.
- Le paquet délivré a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ.

Donc, le protocole LEACH :

- Les paquets délivrés restent constants avec de légers changements avec l'augmentation de la taille du champ et la vitesse, et la durée de simulation. Parce que ce protocole collecte des données et envoie un paquet agrégé pour réduire la quantité d'informations qui doivent être transmises.

### 3) Les paquets dupliqués

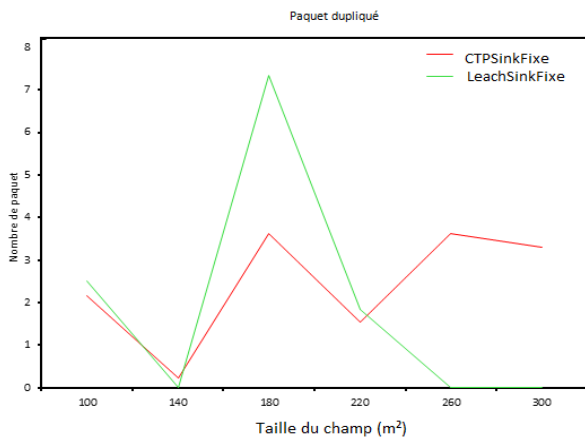


Figure 5.25-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Taille du champ

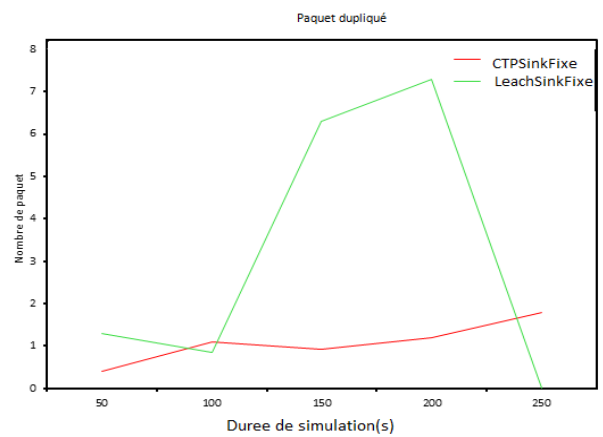


Figure 5.26-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Durée de simulation

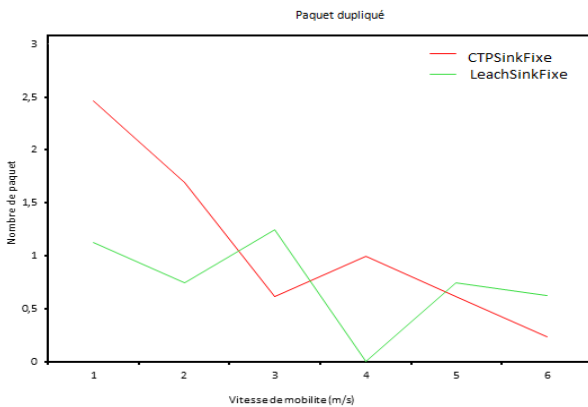


Figure 5.27-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité

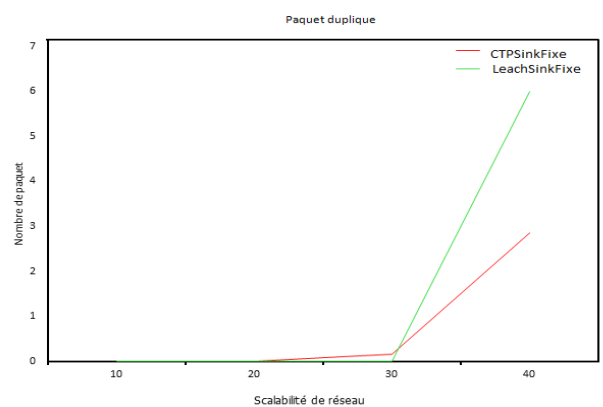


Figure 5.28-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique paquet dupliqué, le protocole CTP donne les meilleurs résultats parce que dans la structure du protocole CTP il y a « Forwarding Engine » qui est responsable de la suppression des paquets dupliqués, donc il envoie moins de paquets.

Pour le protocole CTP :

- Le paquet dupliqué a augmenté à mesure que la durée de simulation et la taille du champ et la scalabilité de réseau augmente.
- Le paquet dupliqué a diminué à cause de vitesse augmente.

Pour le protocole LEACH :

- Les paquets dupliqués ont diminués avec l'augmentation de la vitesse de mobilité.
- Le paquet dupliqué a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la durée de simulation.

#### 4) Délai moyen de bout en bout

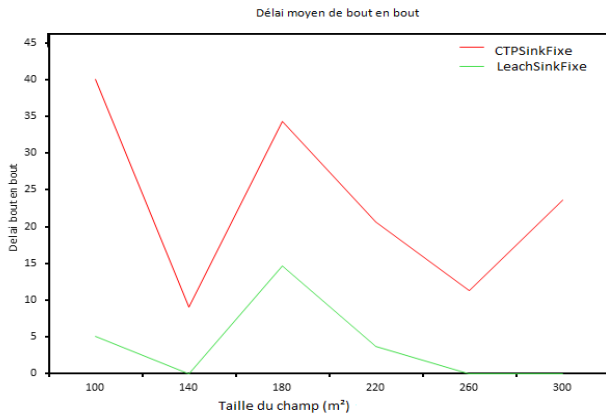


Figure 5.29-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ

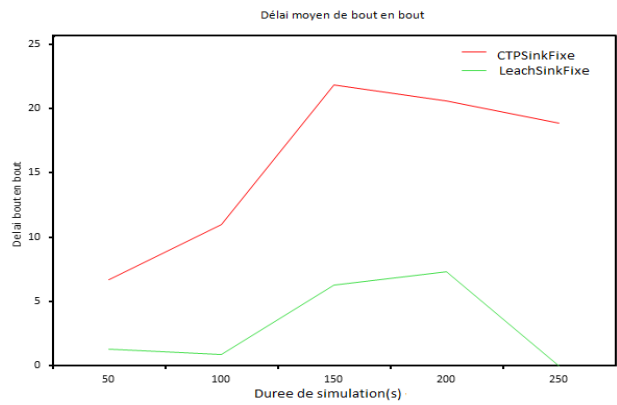


Figure 5.30-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation

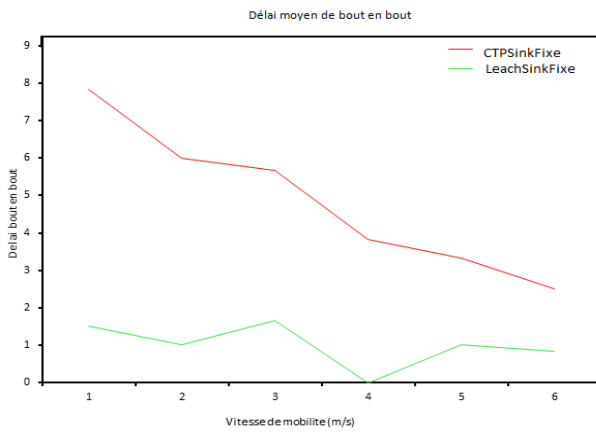


Figure 5.31-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité

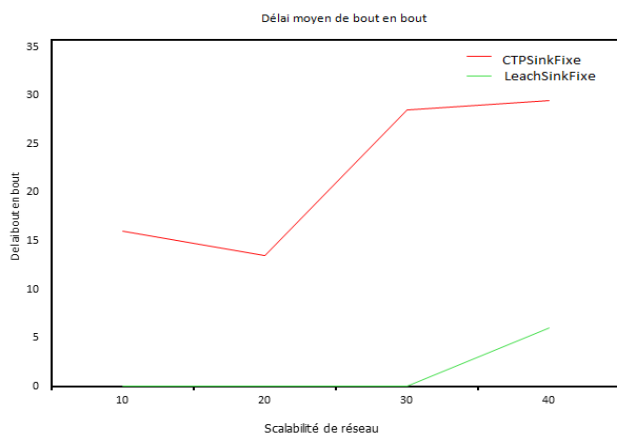


Figure 5.32-CTP-LEACH- Sink statique-Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique délai moyen, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats parce que le temps pris dans ce cas est inférieur à celui du protocole CTP.

Pour le protocole CTP :

- Le délai moyen a augmenté pour la taille du champ, la durée de simulation et la scalabilité de réseau augmentent.
- Le délai moyen a diminué à cause de vitesse de mobilité augmente.

Pour le protocole LEACH :

- Le délai moyen a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la durée de simulation, la vitesse de mobilité .

➤ Nœuds en mouvement Aléatoire

1) Consommation d'énergie

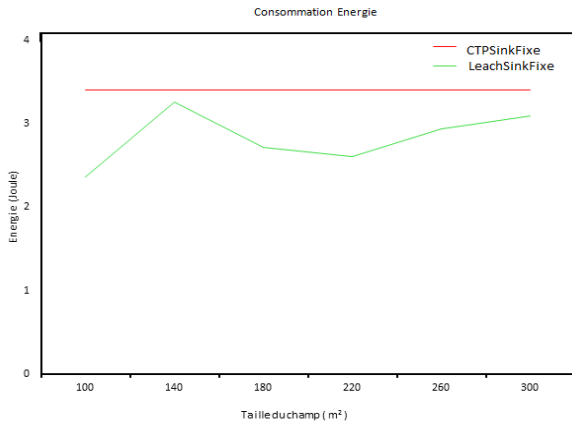


Figure 5.33-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire- Consommation d'énergie / Taille du champ

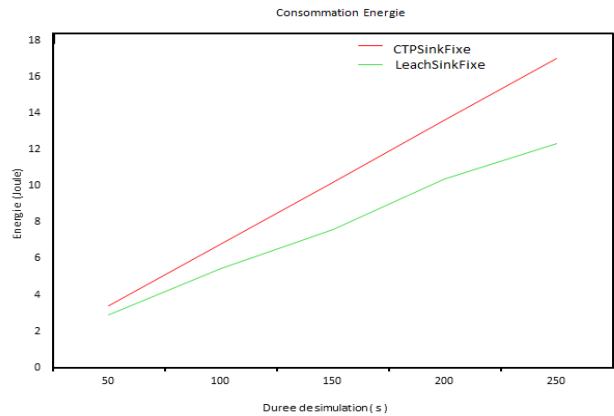


Figure 5.34-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire- Consommation d'énergie / Durée de simulation

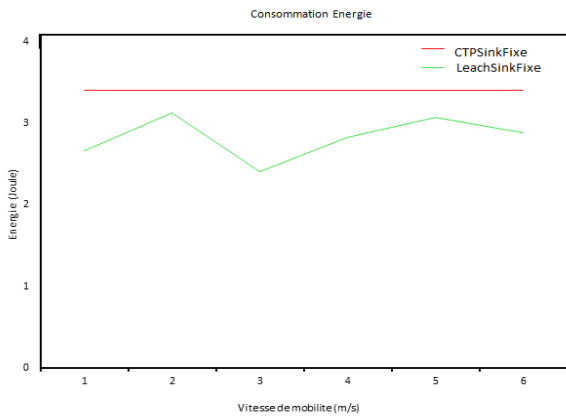


Figure 5.35-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire- Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité

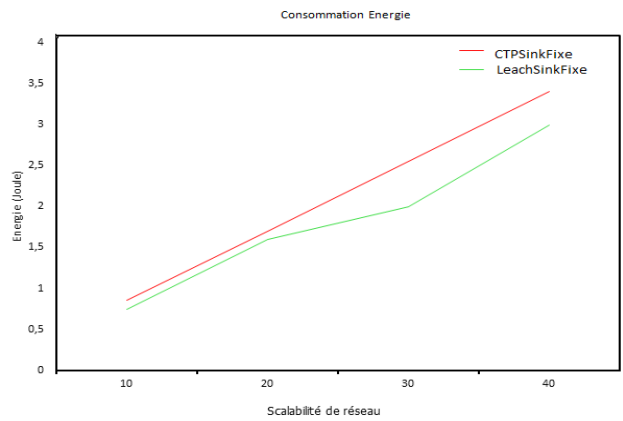


Figure 5.36-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire- Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau

Dans le cas des nœuds en mouvements aléatoires et pour le métrique consommation d'énergie, le protocole LEACH donne des meilleurs résultats par rapports le protocole CTP, car il dépend du principe de groupe dans lequel la consommation d'énergie n'est pas beaucoup.

Pour le protocole LEACH :

- Une augmentation de la taille du champ et la durée de simulation et la scalabilité de réseau donne une augmentation de consommation d'énergie.

Pour le protocole CTP :

- La consommation d'énergie reste constante avec l'augmentation de la taille du champ, vitesse de mobilité.
- Une augmentation de la durée de simulation et la scalabilité de réseau donne une augmentation de consommation d'énergie.

## 2) Les paquets délivrés

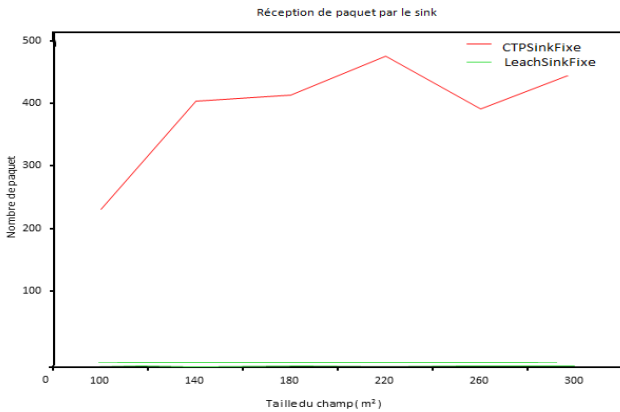


Figure 5.37-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire-Paquet délivré / Taille du champ

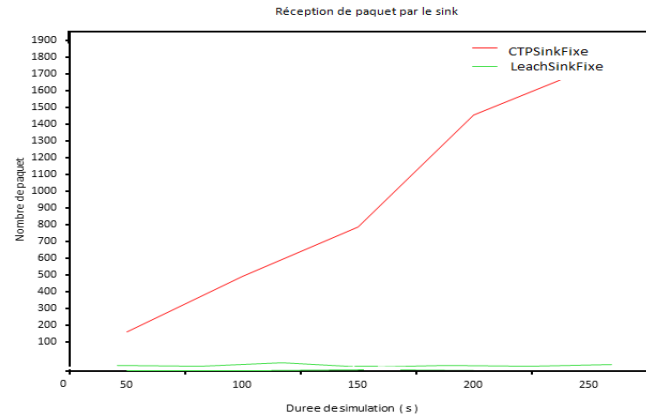


Figure 5.38-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire-Paquet délivré / Durée de simulation

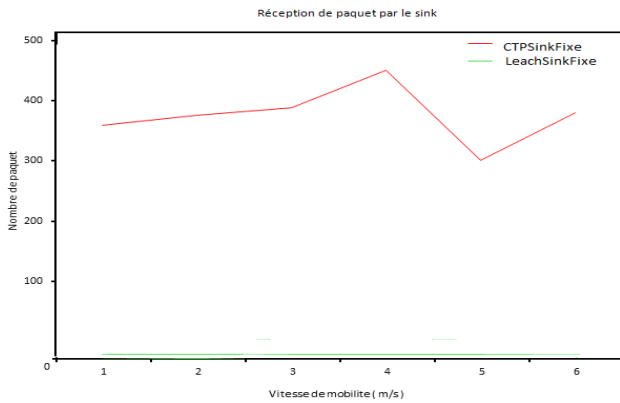


Figure 5.39-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire-Paquet délivré / Vitesse de mobilité

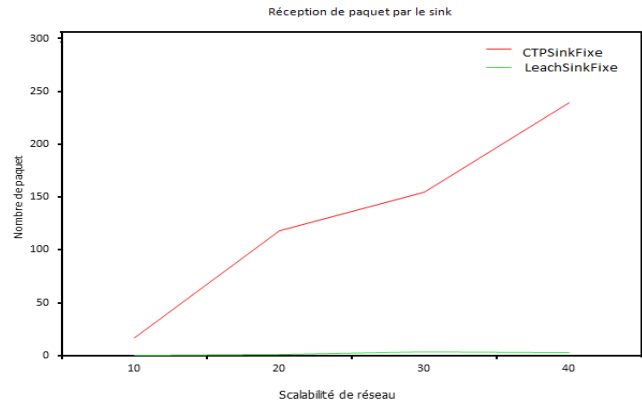


Figure 5.40-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire-Paquet délivré / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique paquet délivré, le protocole CTP donne les meilleurs résultats parce qu'il envoie un grand nombre de paquets par rapports le protocole LEACH.

Pour le protocole CTP :

- Le paquet délivré a augmenté à mesure que chaque paramètre de simulation augmente.

Pour le protocole LEACH :

- Les paquets délivrés restent constants avec l'augmentation de la taille du champ, la vitesse, et la durée de simulation. Parce que ce protocole collecte des données et envoie un paquet agrégé pour réduire la quantité d'informations qui doivent être transmises.

### 3) Les paquets dupliqués

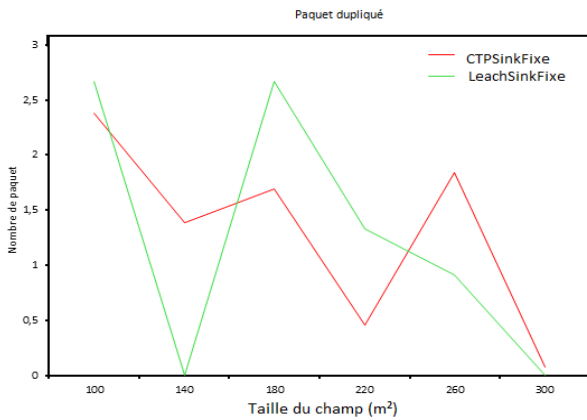


Figure 5.41-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire-Paquet dupliqué / Taille du champ

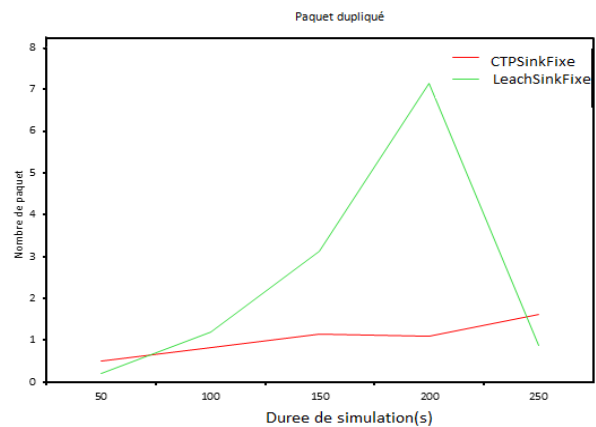


Figure 5.42-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire-Paquet dupliqué / Durée de simulation

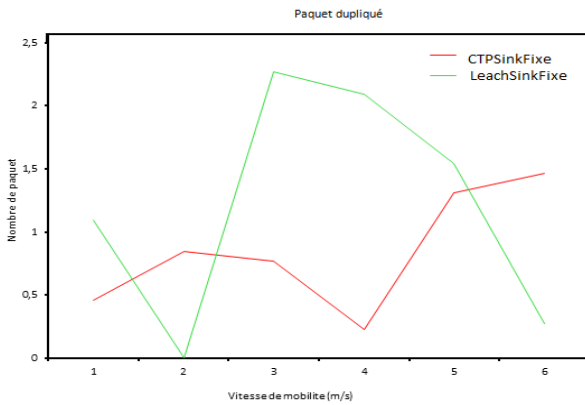


Figure 5.43-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité

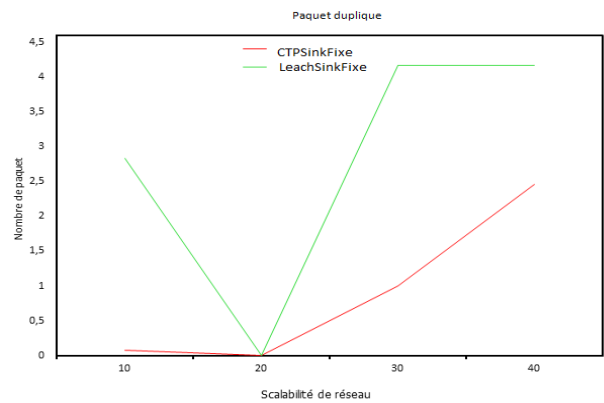


Figure 5.44-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique paquet dupliqué, le protocole CTP donne les meilleurs résultats parce que dans la structure du protocole CTP il y a « Forwarding Engine » qui est responsable de la suppression des paquets dupliqués, donc il envoie moins de paquets.

Pour le protocole CTP :

- Le paquet dupliqué a augmenté à mesure que la durée de simulation et la vitesse de mobilité et scalabilité de réseau augmente.
- Le paquet dupliqué a diminué à cause de la taille du champ augmente.

Pour le protocole LEACH :

- Le paquet dupliqué a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la durée de simulation, la vitesse de mobilité.

#### 4) Délai moyen de bout en bout

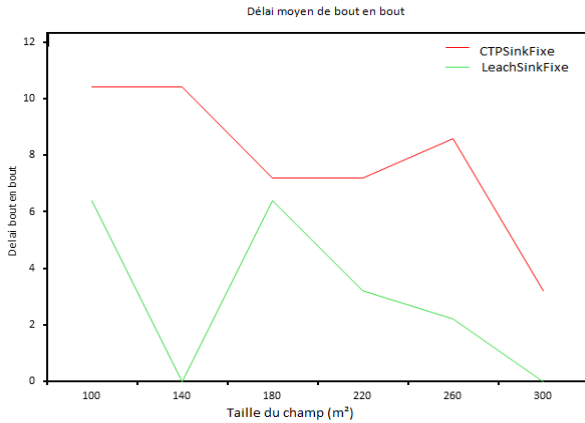


Figure 5.45-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ

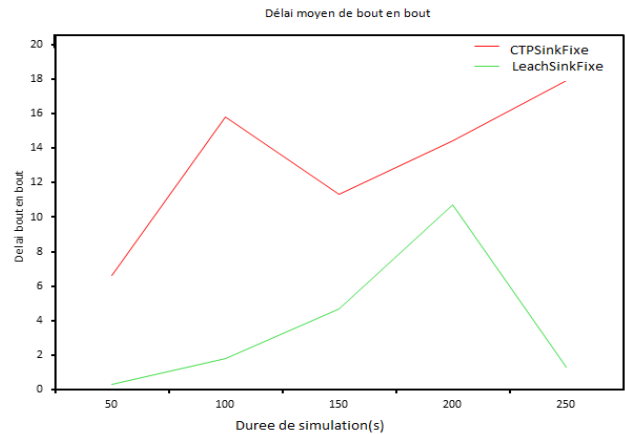


Figure 5.46-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation

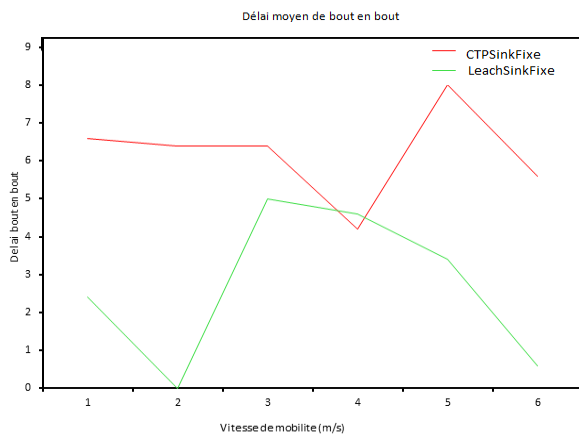


Figure 5.47-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité

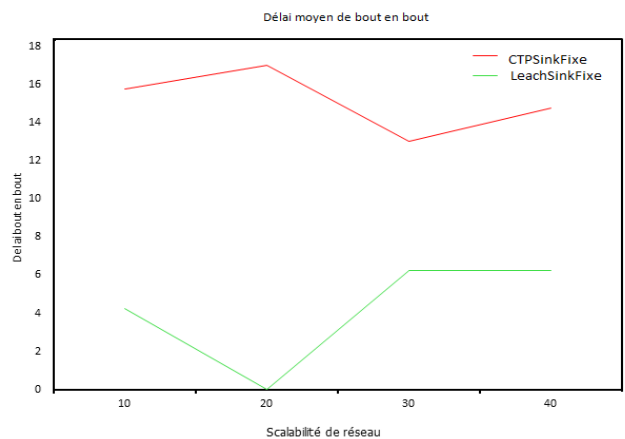


Figure 5.48-CTP-LEACH- Sink statique -Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique délai moyen, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats parce que le temps pris dans ce cas est inférieur à celui du protocole CTP.

Pour le protocole CTP :

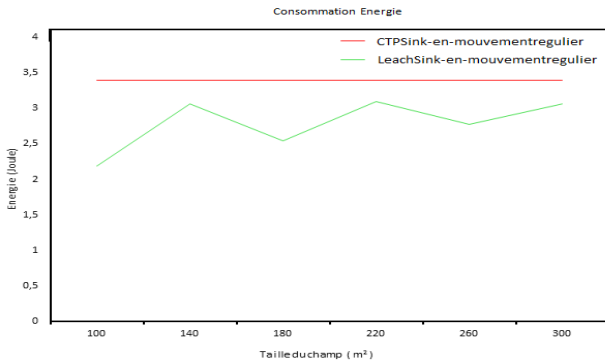
- Le délai moyen a augmenté pour la durée de simulation, la vitesse de mobilité augmente.
- Le délai moyen a diminué à cause de taille du champ et scalabilité de réseau augmente.

Pour le protocole LEACH :

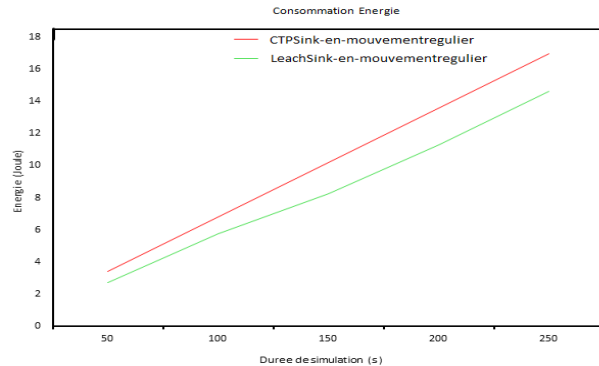
- Le délai moyen a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la durée de simulation, la vitesse de mobilité .
- Le délai moyen a augmenté avec l'augmentation de scalabilité de réseau.



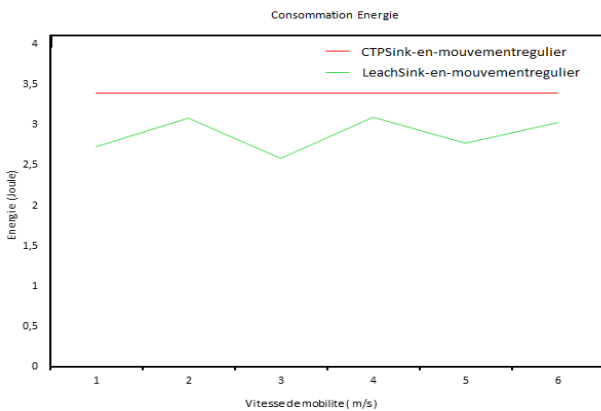
- Cas sink en mouvement régulier
- Nœuds statiques (Fixe)
- 1) Consommation d'énergie



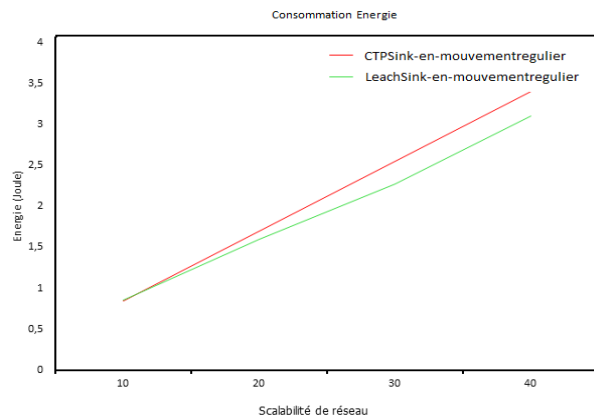
**Figure 5.49**-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds statiques- Consommation d'énergie / Taille du champ



**Figure 5.50**-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques - Consommation d'énergie / Durée de simulation



**Figure 5.51**-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds statiques -Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité



**Figure 5.52**-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques - Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau

Dans le cas de sink en mouvements régulier, les nœuds statiques et pour le métrique consommation d'énergie, le protocole LEACH donne des meilleurs résultats par rapports le protocole CTP.

Pour le protocole LEACH :

- Une augmentation de la taille du champ et la durée de simulation et scalabilité de réseau et Vitesse de mobilité donne une augmentation de consommation d'énergie.

Pour le protocole CTP :

- La consommation d'énergie reste constante avec l'augmentation de la taille du champ, vitesse de mobilité puisque les nœuds ont la même énergie dans topologie plat.
- Une augmentation de la durée de simulation et la scalaibilité donne une augmentation de consommation d'énergie.

## 2) Les paquets délivrés

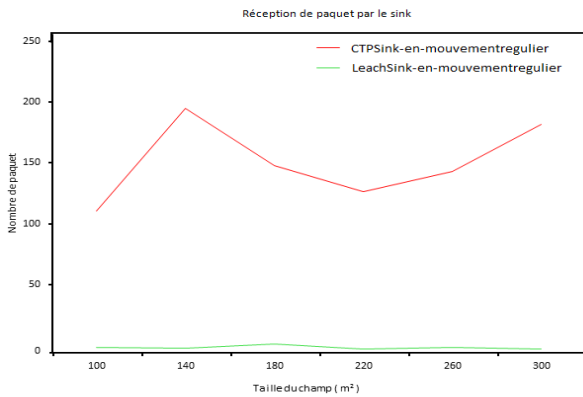


Figure 5.53-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques - Paquet délivré / Taille du champ

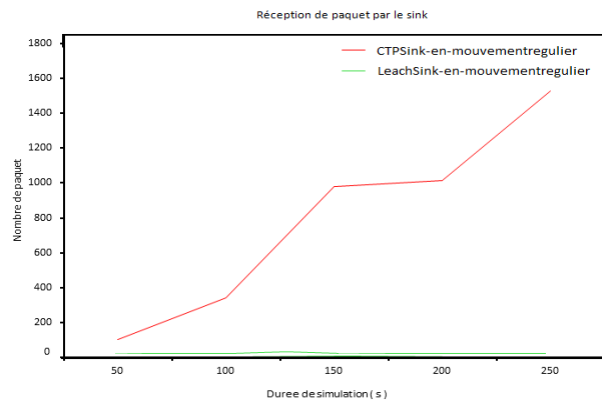


Figure 5.54-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques - Paquet délivré / Durée de simulation

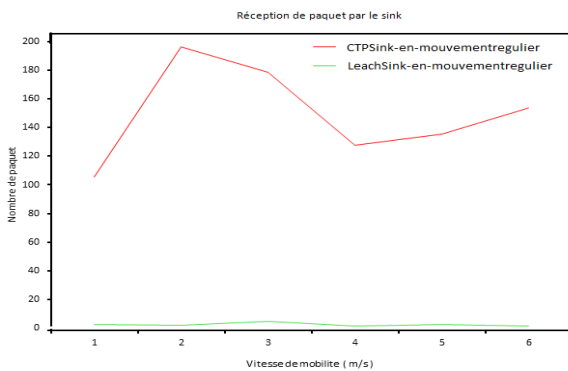


Figure 5.55-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques - Paquet délivré / Vitesse de mobilité

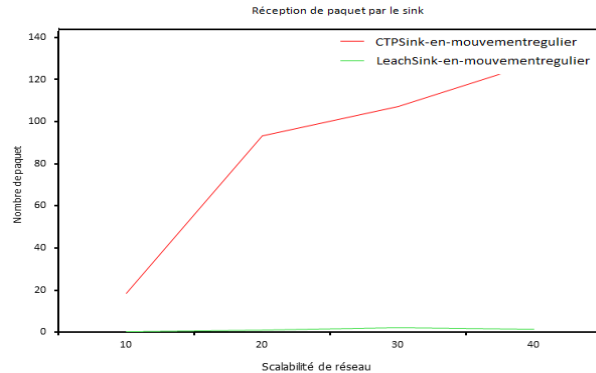


Figure 5.56-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques - Paquet délivré / Scalabilité de réseau

Pour le métrique paquet délivré, sink régulier et des noeuds statiques, le protocole CTP donne les meilleurs résultats par rapports le protocole LEACH.

Pour le protocole CTP :

- Le paquet délivré a augmenté à mesure que la durée de simulation et scalabilité de réseau.
- Le paquet délivré a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ.

Donc, le protocole LEACH :

- Les paquets délivrés restent constants avec de légers changements, parce que tous les nœuds ont un certain temps pour envoyer des paquets selon la méthode TDMA.

### 3) Les paquets dupliqués

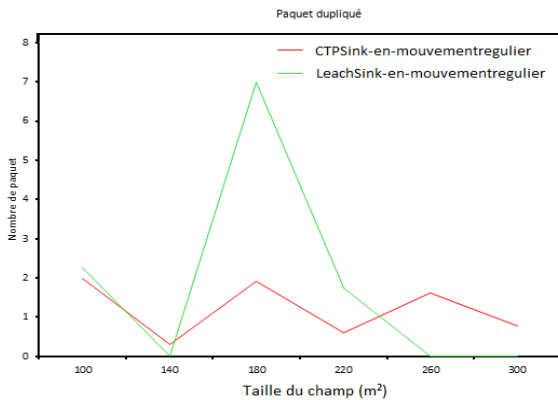


Figure 5.57-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques - Paquet dupliqué / Taille du champ

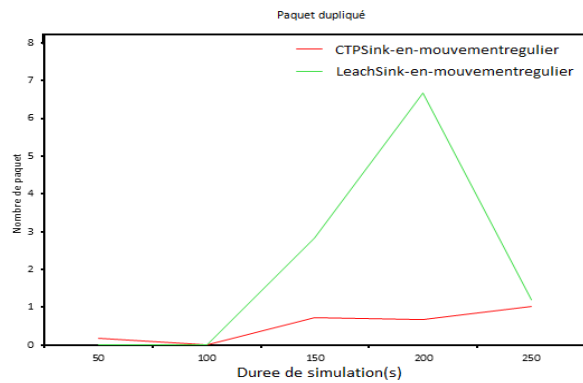


Figure 5.58-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques -Paquet dupliqué / Durée de simulation

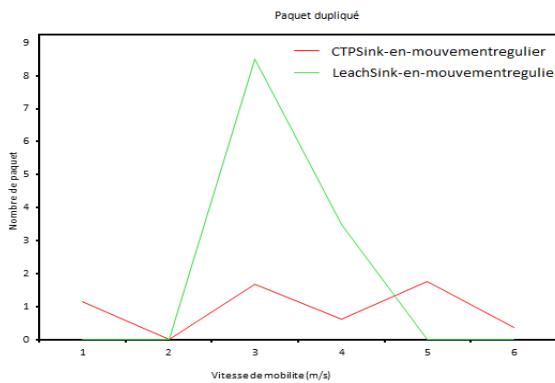


Figure 5.59-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques - Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité

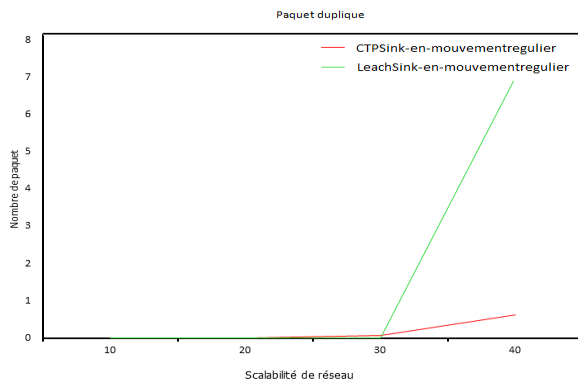


Figure 5.60-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques - Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique paquet dupliqué, le protocole CTP donne les meilleurs résultats par rapports le protocole LEACH (parce que dans structure du CTP il y a le module « Forwarding Engine » qui supprimer des paquets dupliqués).

Pour le protocole CTP :

- Le paquet dupliqué a augmenté à mesure que la durée de simulation, vitesse de mobilité et la scalabilité de réseau augmentent.
- Le paquet dupliqué a diminué pour la taille du champ augmente.

Pour le protocole LEACH :

- Le paquet dupliqué a augmenté avec l'augmentation de scalabilité de réseau, mais jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la durée de simulation, la vitesse de mobilité .

#### 4) Délai moyen de bout en bout

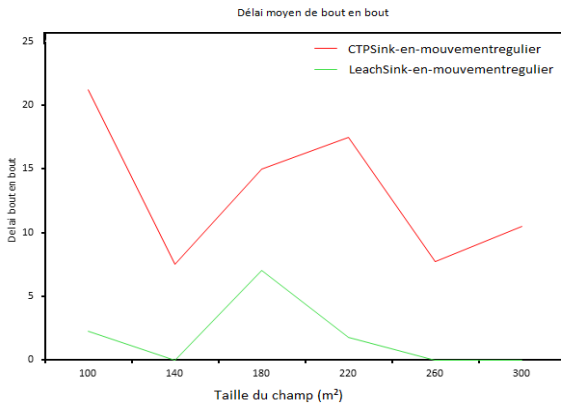


Figure 5.61-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques -Délai moyen de bout en bout / Taille du champ

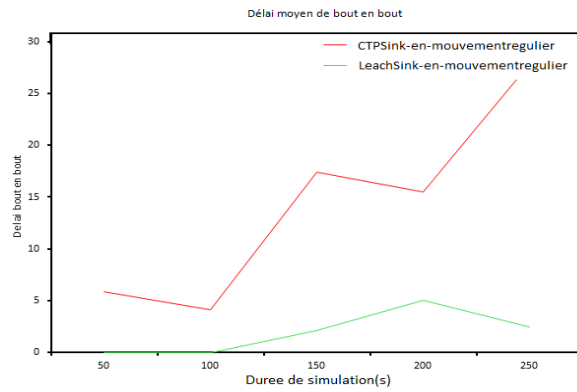


Figure 5.62-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques - Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation

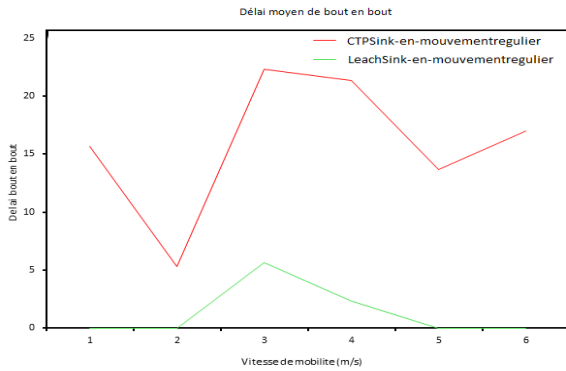


Figure 5.63-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques - Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité

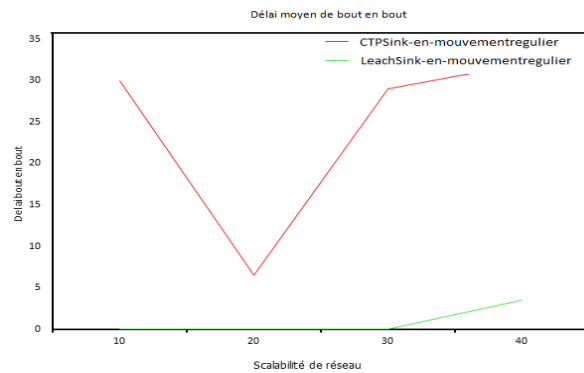


Figure 5.64-CTP-LEACH-SinkRégulier- Nœuds statiques - Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique délai moyen, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats par rapports le protocole CTP, puisque ne prend pas longtemps dans acheminé les données pour atteindre le sink. Et pour connaitre le délai moyen, nous collectons le délai de chaque nœud et la diviser par le nombre de paquets délivrées.

Pour le protocole CTP :

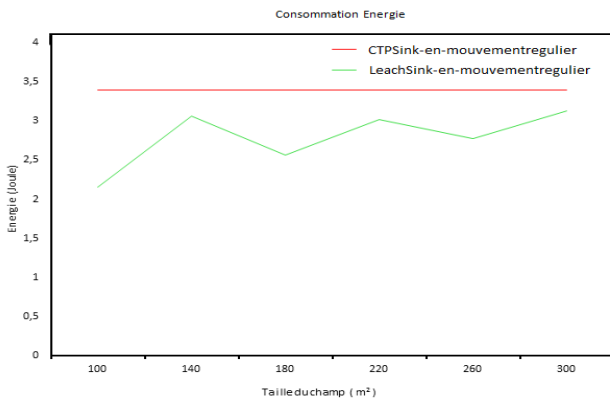
- Le délai moyen augmente pour la taille du champ, la durée de simulation, la vitesse de mobilité augmente.

Pour le protocole LEACH :

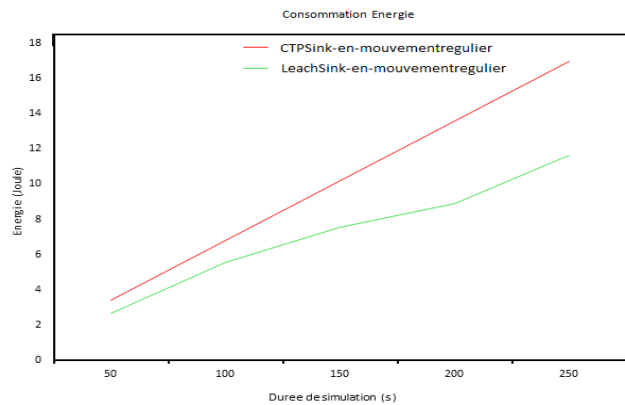
- Le délai moyen a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la durée de simulation, la vitesse de mobilité .
- Le délai moyen augmente pour la scalabilité de réseau augmente.

➤ **Nœuds en mouvement régulier**

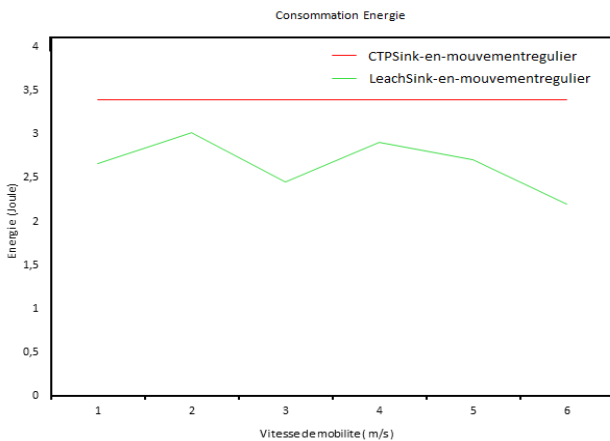
**1) Consommation d'énergie**



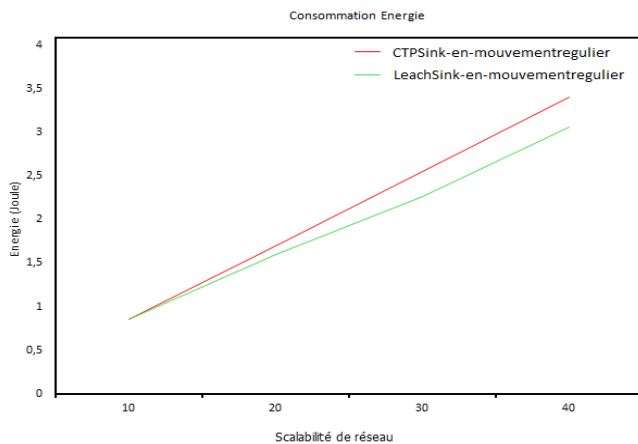
**Figure 5.65**-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds régulier- Consommation d'énergie / Taille du champ



**Figure 5.66**-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds régulier- Consommation d'énergie / Durée de simulation



**Figure 5.67**-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds régulier- Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité



**Figure 5.68**-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds régulier- Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau

Dans le cas des nœuds en mouvements régulier, et pour le métrique consommation d'énergie, le protocole LEACH donne des meilleurs résultats par rapports le protocole CTP. Car il dépend du principe de groupe dans lequel la consommation d'énergie n'est pas beaucoup.

Pour le protocole LEACH :

- Une augmentation de la taille du champ et la durée de simulation et la scalabilité donne une augmentation de consommation d'énergie.

Pour le protocole CTP :

- La consommation d'énergie reste constante avec l'augmentation de la taille du champ, vitesse de mobilité puisque les nœuds ont la même énergie dans topologie plat.
- Une augmentation de la durée de simulation et la scalabilité donne une augmentation de consommation d'énergie.

## 2) Les paquets délivrés

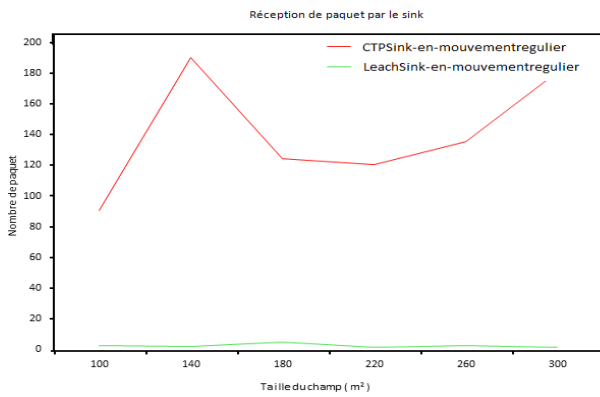


Figure 5.69-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds régulier- Paquet délivré / Taille du champ

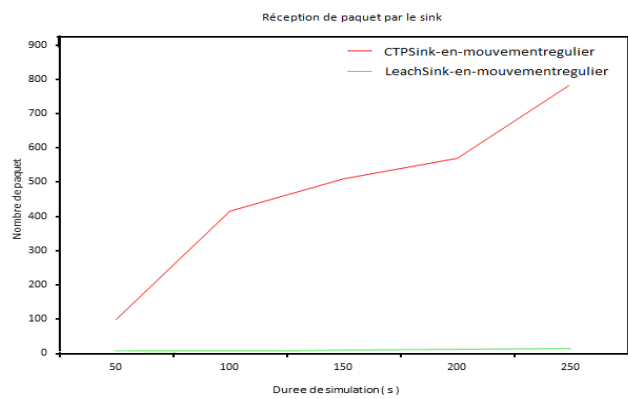


Figure 5.70-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds régulier- Paquet délivré / Durée de simulation

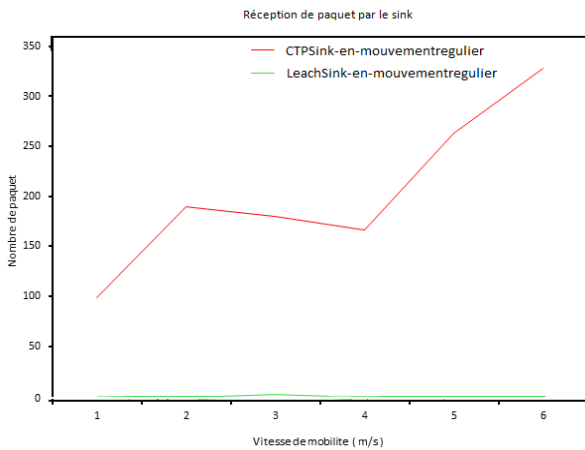


Figure 5.71-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds régulier- Paquet délivré / Vitesse de mobilité

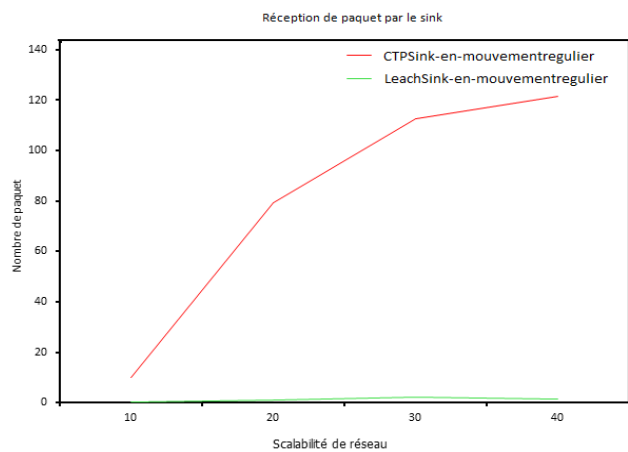


Figure 5.72-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds régulier- Paquet délivré Scalabilité de réseau

Pour le métrique paquet délivré et cas des nœuds régulier, le protocole CTP donne les meilleurs résultats par rapports le protocole LEACH.

Pour le protocole CTP :

- la durée de simulation et vitesse de mobilité et scalabilité de réseau: les paquets délivrés a augmenté.
- la taille du champ: les paquet délivré est augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer.

Donc, le protocole LEACH :

- Les paquets délivrés restent constants avec de légers changements avec l'augmentation de la taille du champ, scalabilité de réseau et la vitesse, et la durée de simulation parce que tous les nœuds ont un certain temps pour envoyer des paquets.

### 3) Les paquets dupliqués

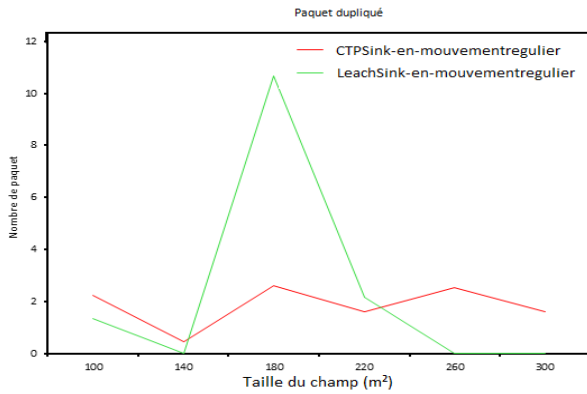


Figure 5.73-CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Taille du champ

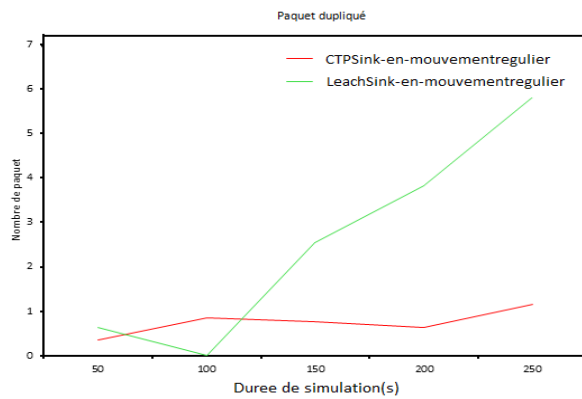


Figure 5.74-CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Durée de simulation

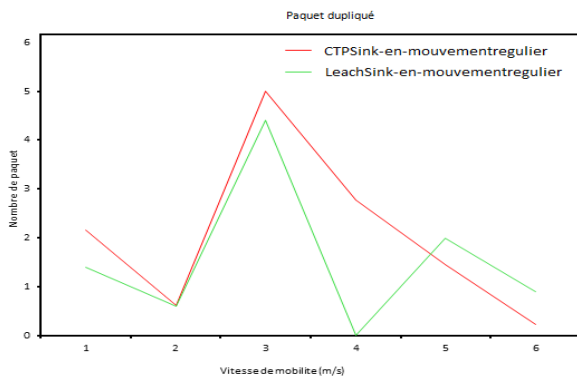


Figure 5.75-CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité

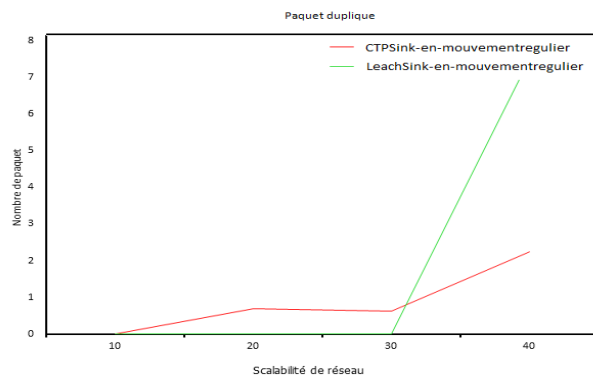


Figure 5.76-CTP-LEACH-Sink Régulier-Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique paquet dupliqué, le protocole CTP donne les meilleurs résultats par rapports le protocole LEACH puisque il y a le module « Forwarding Engine » du protocole CTP qui supprimer des paquets dupliqués.

Pour le protocole CTP :

- Le paquet dupliqué a augmenté à mesure que la durée de simulation et la taille du champ et scalabilité de réseau augmente.
- Le paquet dupliqué a diminué à cause de vitesse de mobilité augmente.

Pour le protocole LEACH :

- Le paquet dupliqué a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la vitesse de mobilité cela est du aux paquets générés.
- Une augmentation de la durée de simulation et scalabilité de réseau donne une augmentation de paquets dupliqués.

#### 4) Délai moyen de bout en bout

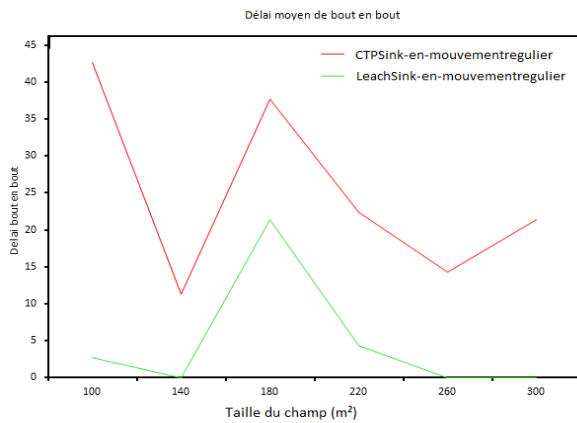


Figure 5.77-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds régulier- Délai moyen de bout en bout / Taille du champ

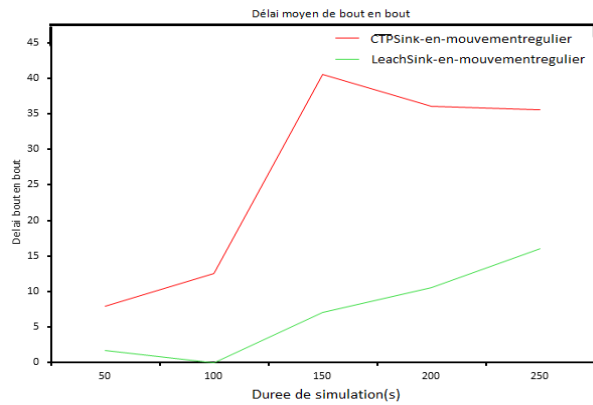


Figure 5.78-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation

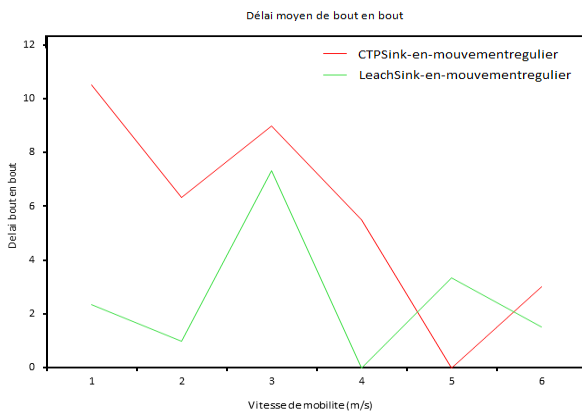


Figure 5.79-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds régulier- Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité

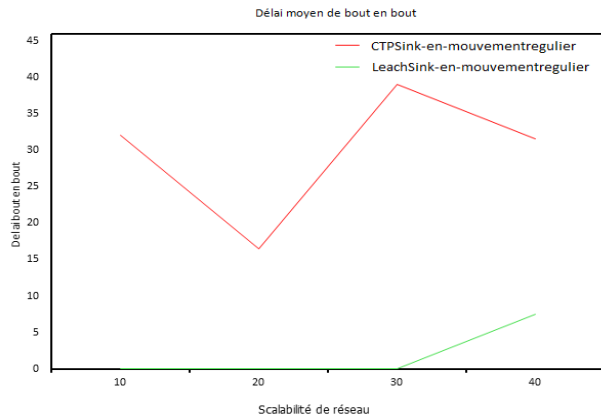


Figure 5.80-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique délai moyen, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats par rapports le protocole CTP qui prend longtemps dans dirigé les paquets. Et pour connaitre le délai moyen, nous collectons le délai de chaque nœuds et la diviser par le nombre de paquets délivrées.

Pour le protocole CTP :

- Le délai moyen augmente pour la taille du champ, la durée de simulation et la scalabilité de réseau augmentent.
- Le délai moyen a diminué à cause de vitesse de mobilité augmente.

Pour le protocole LEACH :

- Le délai moyen a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la vitesse de mobilité .
- Le délai moyen a augmenté pour la durée de simulation et la scalabilité de réseau.



➤ Nœuds en mouvement Aléatoire

1) Consommation d'énergie

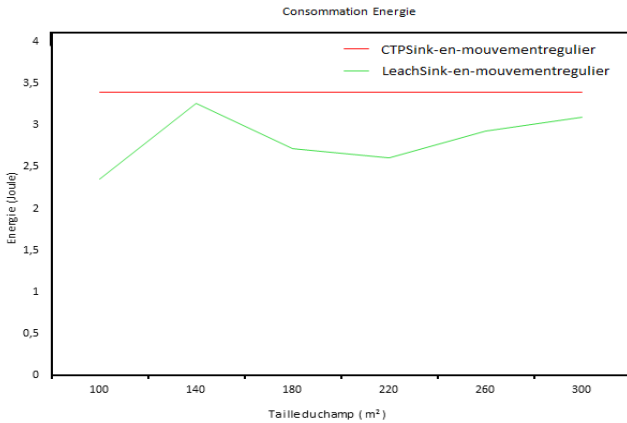


Figure 5.81-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire- Consommation d'énergie / Taille du champ

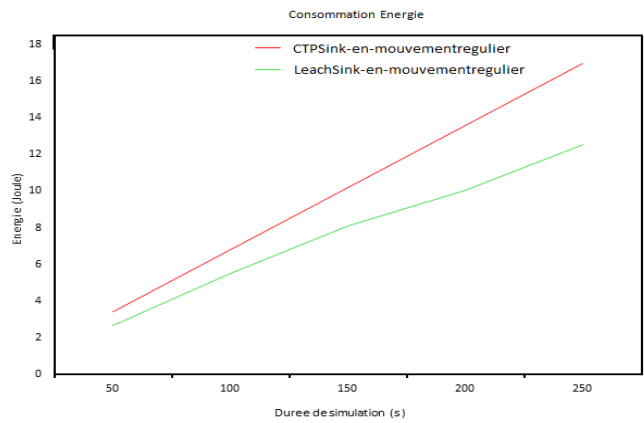


Figure 5.82-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire- Consommation d'énergie / Durée de simulation

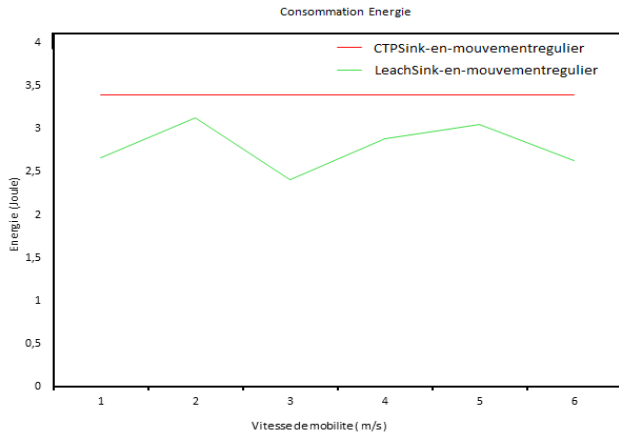


Figure 5.83-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire- Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité

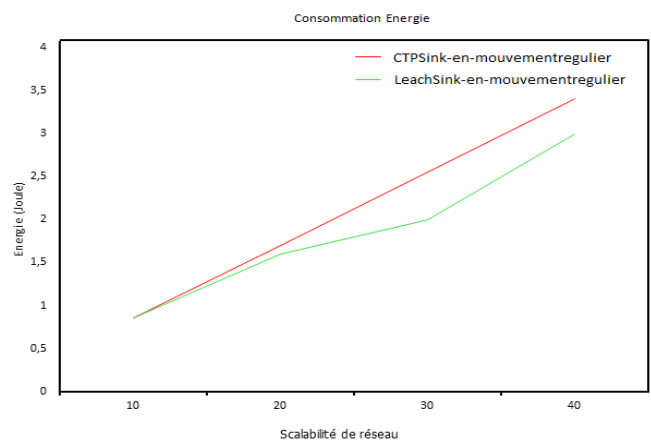


Figure 5.84-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire- Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau

Dans le cas des nœuds en mouvements aléatoire, et pour le métrique consommation d'énergie, le protocole LEACH donne des meilleurs résultats par rapports le protocole CTP, puisque LEACH consommé moins énergie.

Pour le protocole LEACH :

- Une augmentation de la taille du champ et la durée de simulation et la scalabilité de réseau donne une augmentation de consommation d'énergie.

Pour le protocole CTP :

- La consommation d'énergie reste constante avec l'augmentation de la taille du champ, vitesse de mobilité.
- Une augmentation de la durée de simulation et la scalabilité donne une augmentation de consommation d'énergie.

## 2) Les paquets délivrés

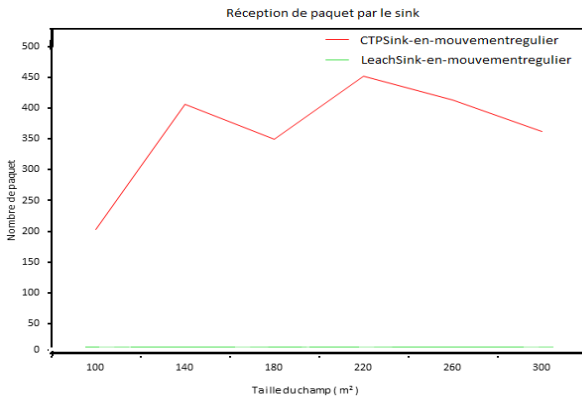


Figure 5.85-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire- Paquet délivré / Taille du champ

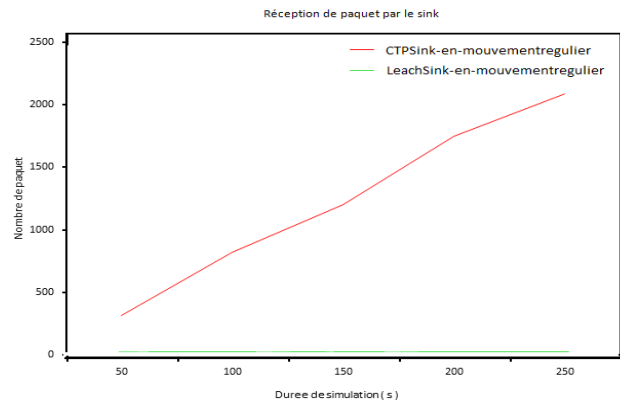


Figure 5.86-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire- Paquet délivré / Durée de simulation

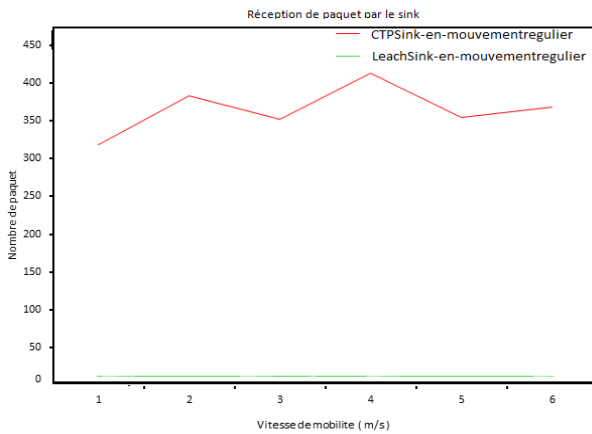


Figure 5.87-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire- Paquet délivré / Vitesse de mobilité

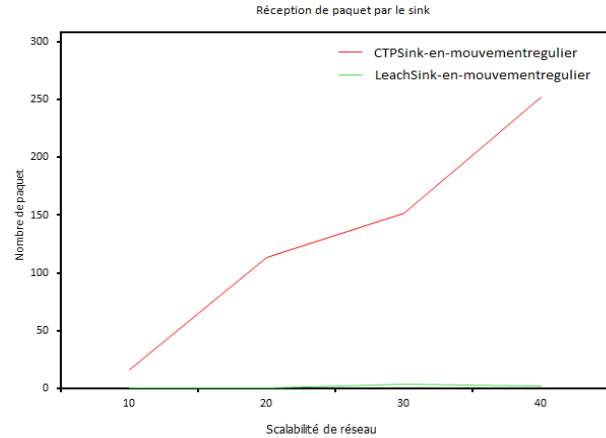


Figure 5.88-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire- Paquet délivré / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique paquet délivré, le protocole CTP donne les meilleurs résultats par rapports le protocole LEACH.

Pour le protocole CTP :

- paquet délivré a augmenté à mesure que la taille du champ, la durée de simulation et vitesse de mobilité et la scalabilité de réseau augmente.

Donc, le protocole LEACH :

- Les paquets délivrés restent constants avec de légers changements, parce que tous les nœuds ont un certain temps pour envoyer des paquets.

### 3) Les paquets dupliqués

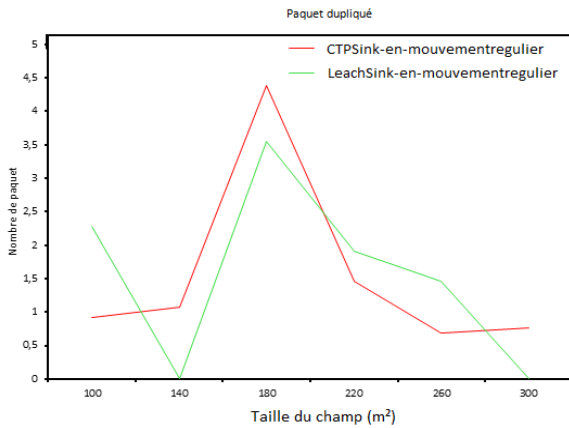


Figure 5.89-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire- Paquet dupliqué / Taille du champ

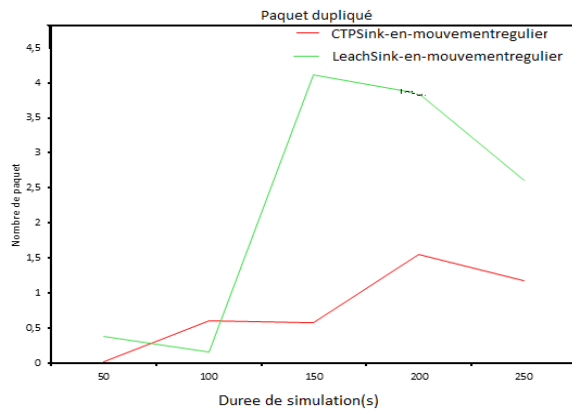


Figure 5.90-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire- Paquet dupliqué / Durée de simulation

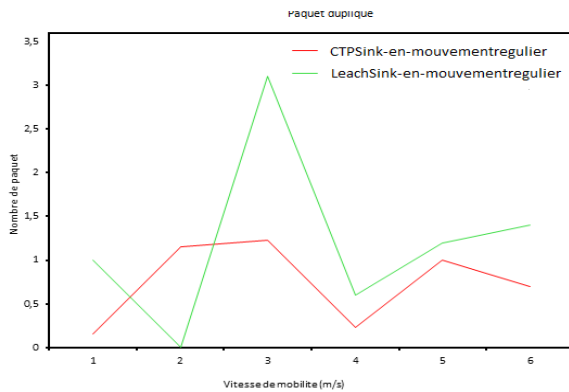


Figure 5.91-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire- Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité

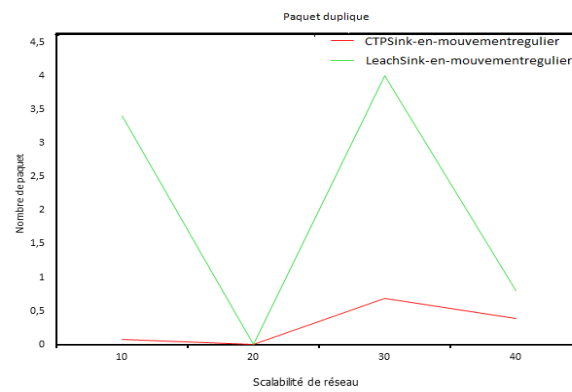


Figure 5.92-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire- Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique paquet dupliqué, le protocole CTP donne les meilleurs résultats par rapports le protocole LEACH puisque il y a le module « Forwarding Engine » du protocole CTP qui supprimer des paquets dupliqués.

Pour le protocole CTP :

- Le paquet dupliqué a augmenté à mesure la durée de simulation et la scalabilité de réseau augmente cela est du aux paquets générés.

Pour le protocole LEACH :

- Le paquet dupliqué a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la durée de simulation, la vitesse de mobilité.

#### 4) Délai moyen de bout en bout

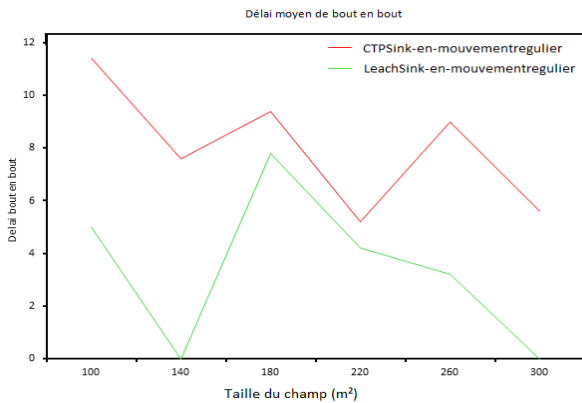


Figure 5.93-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ

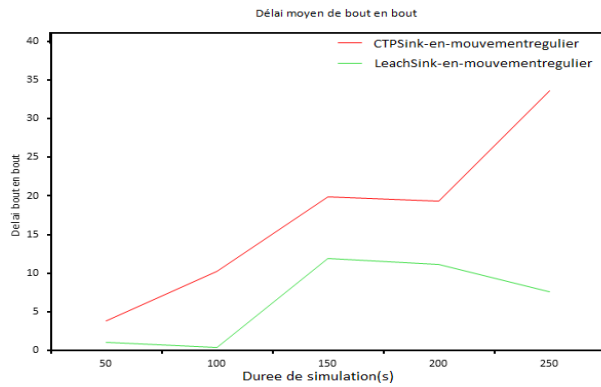


Figure 5.94-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation

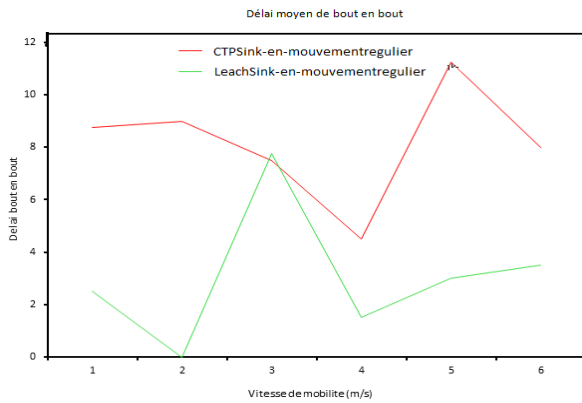


Figure 5.95-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité

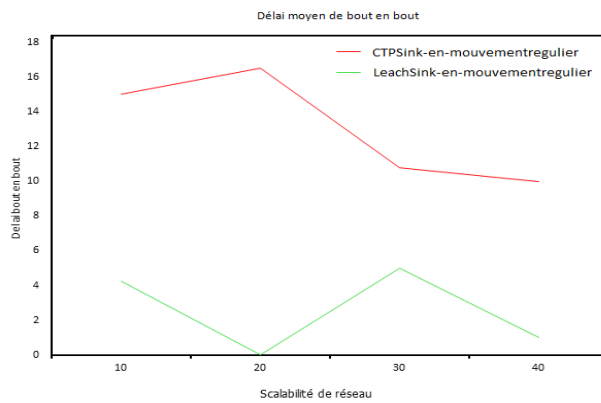


Figure 5.96-CTP-LEACH-SinkRégulier-Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique délai moyen, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats par rapports le protocole CTP parce que LEACH ne prend pas longtemps dans dirigé les paquets.

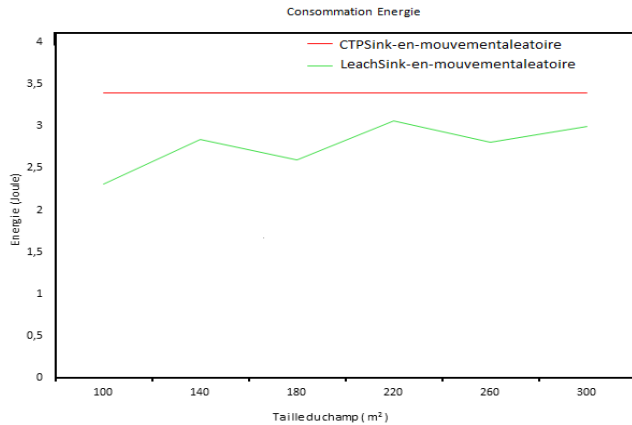
Pour le protocole CTP :

- Le délai moyen a augmenté pour la durée de simulation, la vitesse de mobilité augmente.
- Le délai moyen a diminué à cause de taille du champ et la scalabilité de réseau augmente.

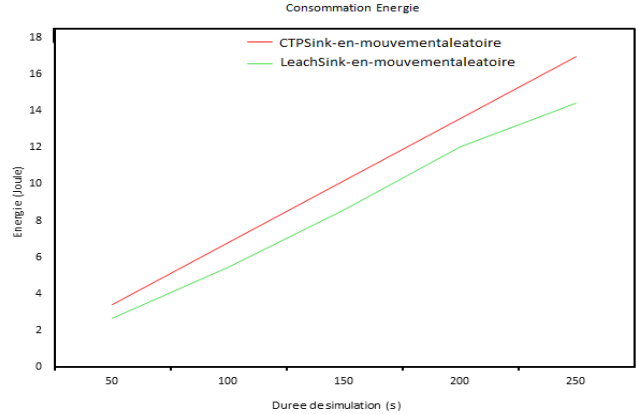
Pour le protocole LEACH :

- Le délai moyen a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la durée de simulation, la vitesse de mobilité. Mais la scalabilité est augmente.

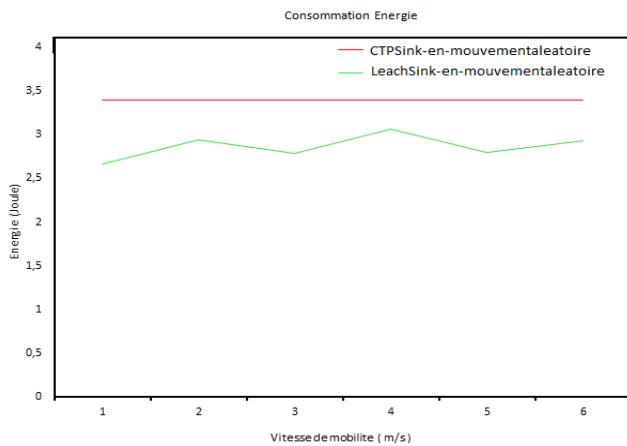
- Cas sink en mouvement aléatoire
- Nœuds statiques (Fixe)
- 1) Consommation d'énergie



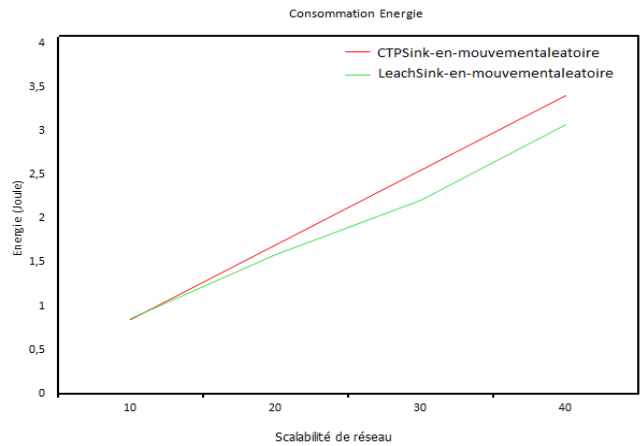
**Figure 5.97**-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques - Consommation d'énergie / Taille du champ



**Figure 5.98**-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques - Consommation d'énergie / Durée de simulation



**Figure 5.99**-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques -Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité



**Figure 5.100**-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques - Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau

Dans le cas de sink en mouvements aléatoire, les nœuds statiques et pour le métrique consommation d'énergie, le protocole LEACH donne des meilleurs résultats par rapports le protocole CTP.

Pour le protocole LEACH :

- La consommation d'énergie a augmenté avec une augmentation d'un chaque des quatre paramètres .

Pour le protocole CTP :

- La consommation d'énergie reste constante avec l'augmentation de la taille du champ, vitesse de mobilité (les nœuds ont la même énergie dans topologie plat).
- Une augmentation de la durée de simulation et la scalabilité donne une augmentation de consommation d'énergie.

## 2) Les paquets délivrés

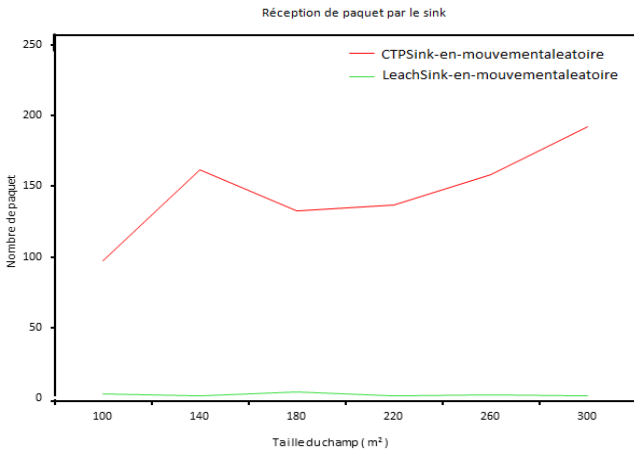


Figure 5.101-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques - Paquet délivré / Taille du champ

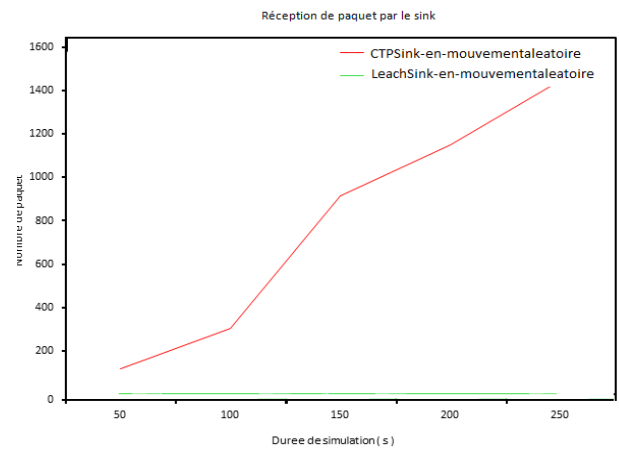


Figure 5.102-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques - Paquet délivré / Durée de simulation

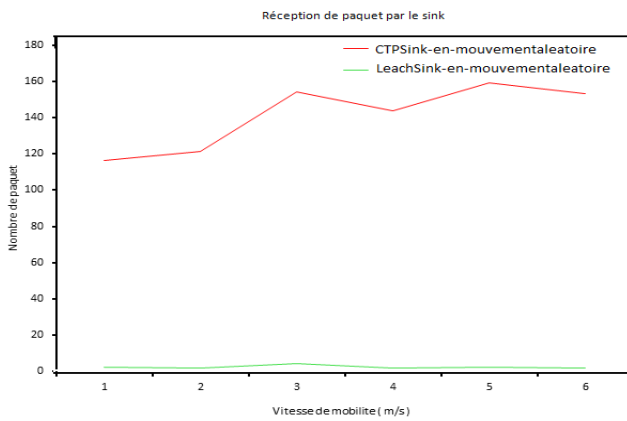


Figure 5.103-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques -Paquet délivré / Vitesse de mobilité

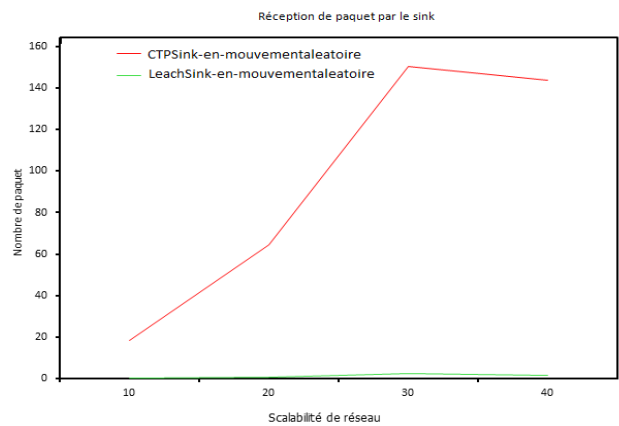


Figure 5.104-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques - Paquet délivré / Scalabilité de réseau

Dans cas sink aléatoire et des nœuds statiques, pour le métrique paquet délivré, le protocole CTP donne les meilleurs résultats par rapport LEACH.

Pour le protocole CTP :

- Les paquets délivrés ont augmenté pour : une augmentation de la taille du champ, la durée de simulation, et la vitesse de mobilité et la scalabilité de réseau.

Donc, le protocole LEACH :

- Les paquets délivrés restent constants avec de légers changements, en chaque des quatre paramètres augmente, parce que tous les nœuds ont un certain temps pour envoyer des paquets selon la méthode TDMA.

### 3) Les paquets dupliqués

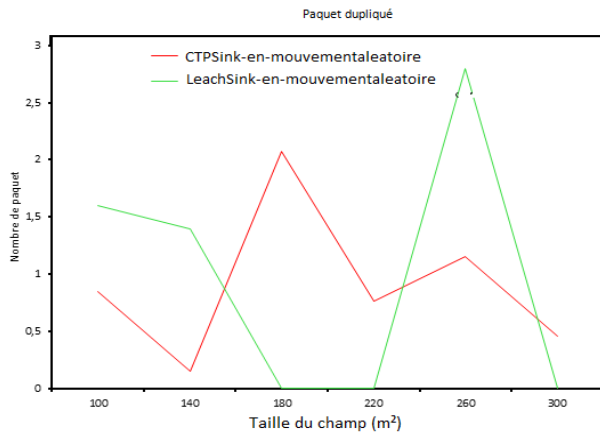


Figure 5.105-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques - Paquet dupliqué / Taille du champ

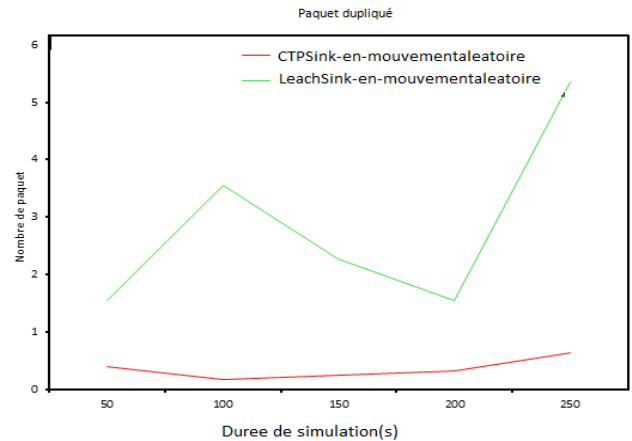


Figure 5.106-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques -Paquet dupliqué / Durée de simulation

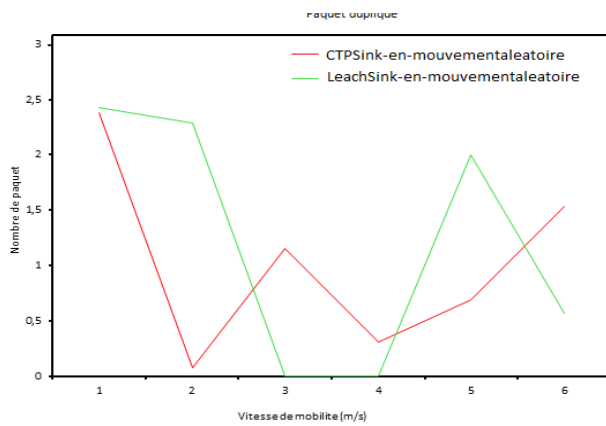


Figure 5.107-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques - Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité

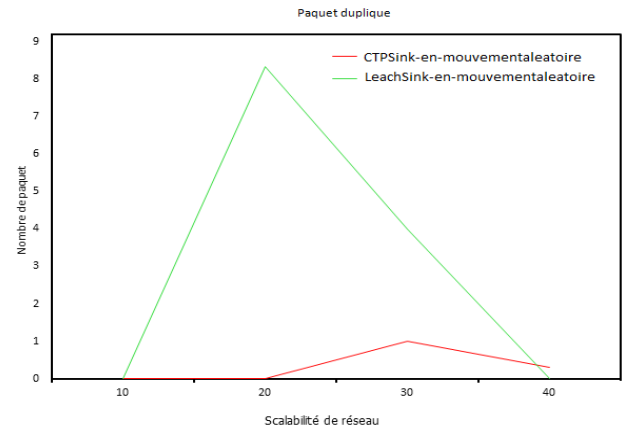


Figure 5.108-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques -Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique paquet dupliqué, le protocole CTP donne les meilleurs résultats par rapports le protocole LEACH (parce que dans structure du CTP il y a le module « Forwarding Engine » qui supprimer des paquets dupliqués).

Pour le protocole CTP :

- Le paquet dupliqué a augmenté à mesure que la durée de simulation et la vitesse de mobilité et la scalabilité de réseau augmentent.
- Le paquet dupliqué a diminué à cause de taille du champ augmente.

Pour le protocole LEACH :

- Le paquet dupliqué a augmenté avec l'augmentation de la durée de simulation.
- Le paquet dupliqué a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la scalabilité de réseau.

Et à chaque fois augment et diminue, dépend cela dû aux paquets générés.

#### 4) Délai moyen de bout en bout

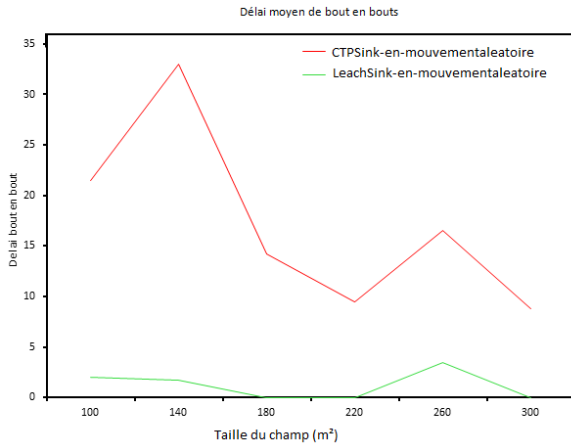


Figure 5.109-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques - Délai moyen de bout en bout / Taille du champ

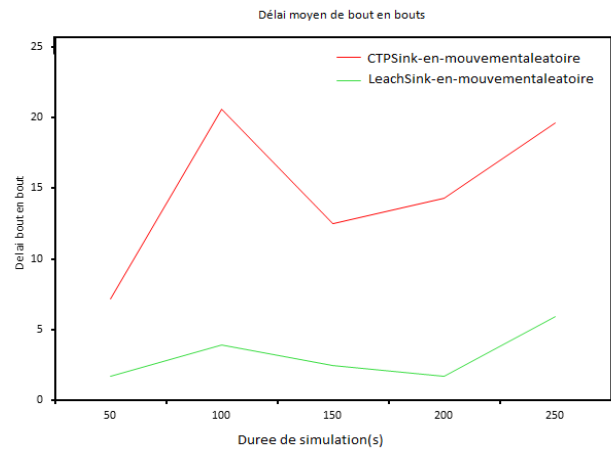


Figure 5.110-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques - Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation

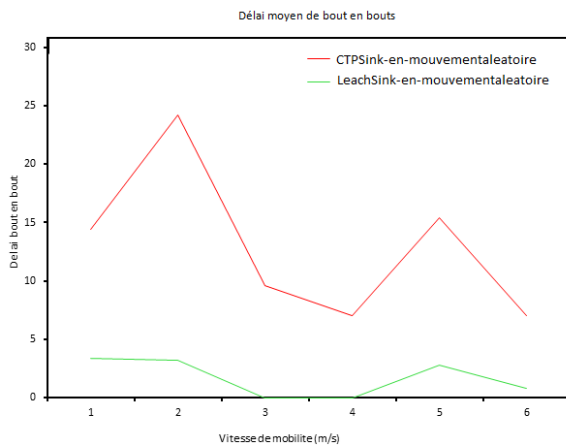


Figure 5.111-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques -Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité

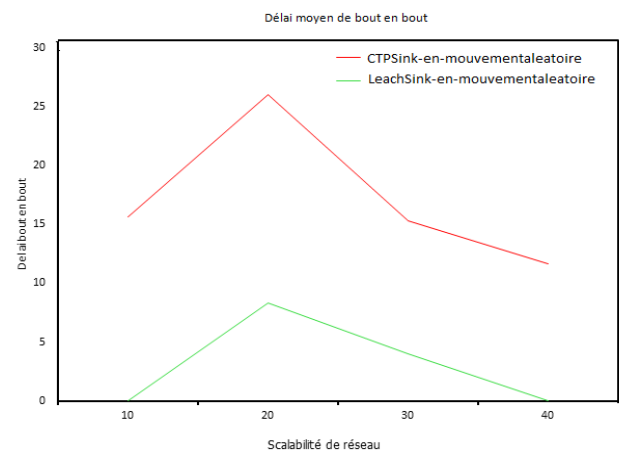


Figure 5.112-CTP-LEACH-SinkAléatoire- Nœuds statiques - Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique délai moyen, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats par rapports le protocole CTP, puisque ne prend pas longtemps dans acheminé les données pour atteindre le sink.

Pour le protocole CTP :

- Le délai moyen a augmenté pour la durée de simulation augmentent.
- Le délai moyen a diminué pour la taille du champ et la vitesse de mobilité et la scalabilité de réseau.

Pour le protocole LEACH :

- L'augmentation de la taille du champ, la vitesse de mobilité donnent une légère différence de délai moyen.
- L'augmentation de la durée de simulation donne une augmentation de délai moyen.
- L'augmentation de la scalabilité donne une diminution de délai moyen.



➤ Nœuds en mouvement régulier

1) Consommation d'énergie

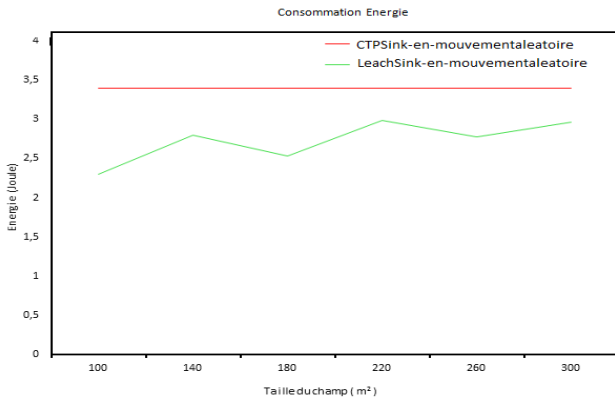


Figure 5.113-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier- Consommation d'énergie / Taille du champ

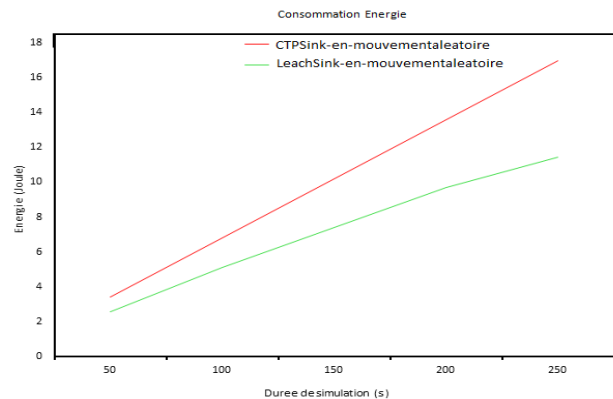


Figure 5.114-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier- Consommation d'énergie / Durée de simulation

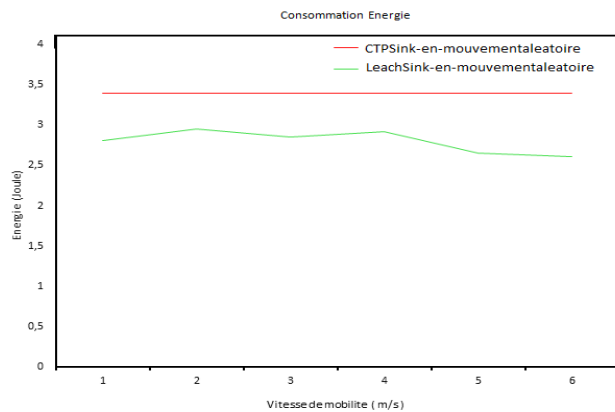


Figure 5.115-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier- Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité

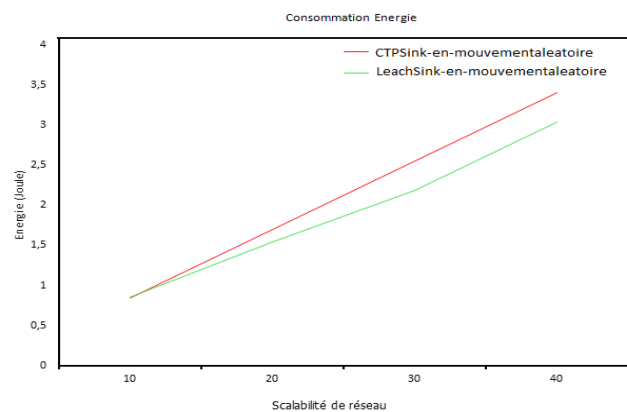


Figure 5.116-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier- Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau

Dans le cas des nœuds en mouvement régulier, et pour le métrique consommation d'énergie, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats par rapports le protocole CTP. Car il dépend du principe de groupe dans lequel la consommation d'énergie n'est pas beaucoup.

Pour le protocole LEACH :

- Une augmentation de la taille du champ, la durée de simulation scalabilité de réseau donne une augmentation de consommation d'énergie.
- La consommation d'énergie a diminué à cause de la vitesse de mobilité augmente.

Pour le protocole CTP :

- La consommation d'énergie reste constante avec l'augmentation de la taille du champ, vitesse de mobilité puisque les nœuds ont la même énergie dans topologie plat.
- Une augmentation de la durée de simulation et la scalabilité de réseau donne une augmentation de consommation d'énergie.

## 2) Les paquets délivrés

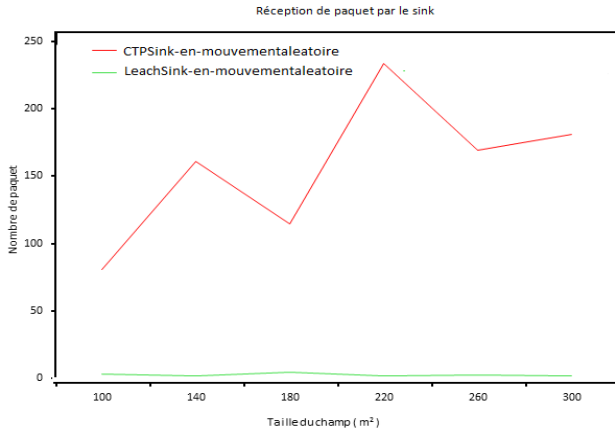


Figure 5.117-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier-Paquet délivré / Taille du champ

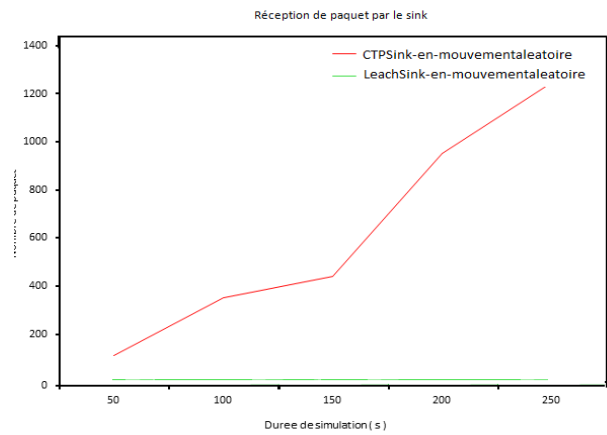


Figure 5.118-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier-Paquet délivré / Durée de simulation

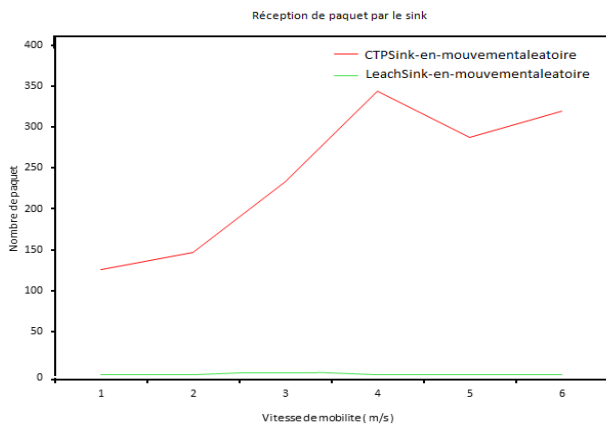


Figure 5.119-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier-Paquet délivré / Vitesse de mobilité

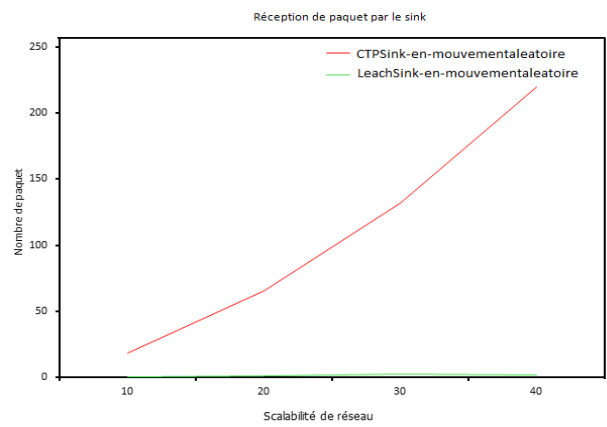


Figure 5.120-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier-Paquet délivré / Scalabilité de réseau

Dans cas des nœuds régulier et pour le métrique paquet délivré, les meilleurs résultats avec le protocole CTP.

Pour le protocole CTP :

- Les paquets délivrés a augmenté avec une augmentation de en chaque des quatre paramètres .

Donc, le protocole LEACH :

- Les paquets délivrés restent constants avec de légers changements parce que tous les nœuds ont un certain temps pour envoyer des paquets.

### 3) Les paquets dupliqués

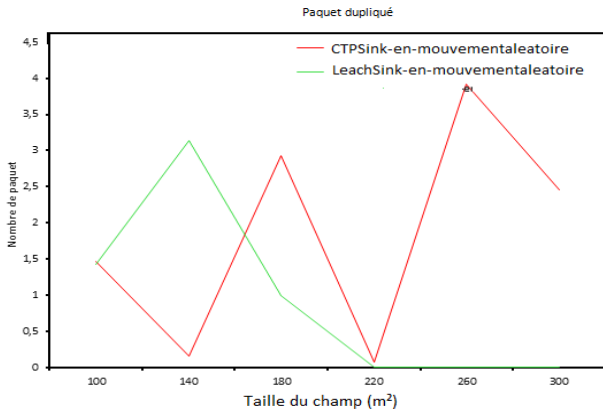


Figure 5.121-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Taille du champ

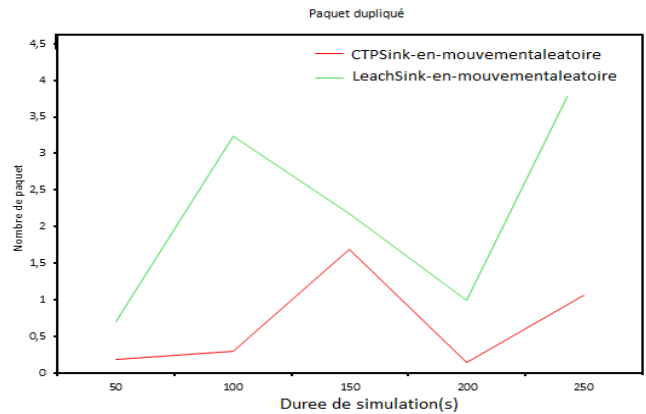


Figure 5.122-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Durée de simulation

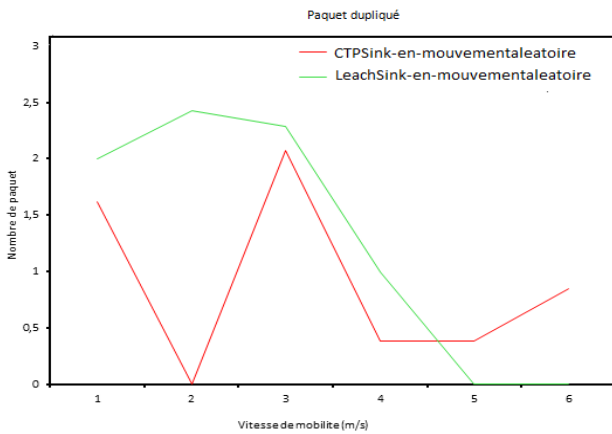


Figure 5.123-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité

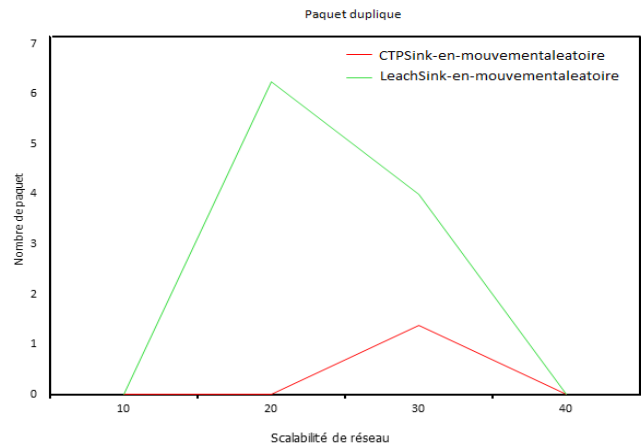


Figure 5.124-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique paquet dupliqué, le protocole CTP donne les meilleurs résultats par rapports le protocole LEACH puisque il y a le module du CTP « Forwarding Engine » qui supprimer des paquets dupliqués. .

Pour le protocole CTP :

- Le paquet dupliqué a augmenté à mesure la taille du champ, la durée de simulation, et la vitesse de mobilité augmentent.

Pour le protocole LEACH :

- Le paquet dupliqué a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la vitesse de mobilité et la scalabilité de réseau cela est du aux paquets générés.
- Une augmentation de durée de simulation donne une augmentation de paquets dupliqués.

#### 4) Délai moyen de bout en bout

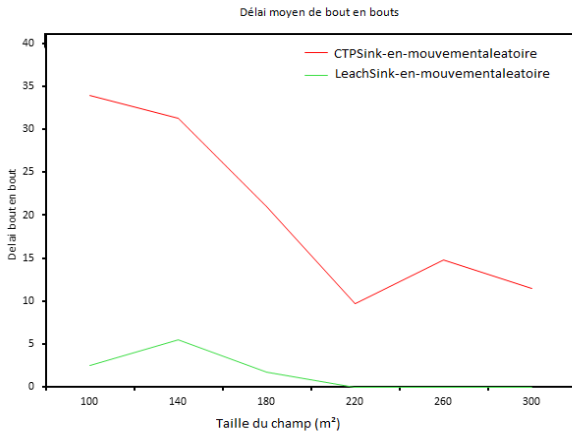


Figure 5.125-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ

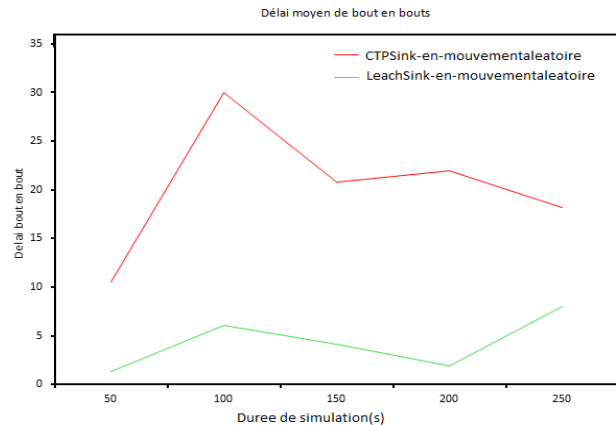


Figure 5.126-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation

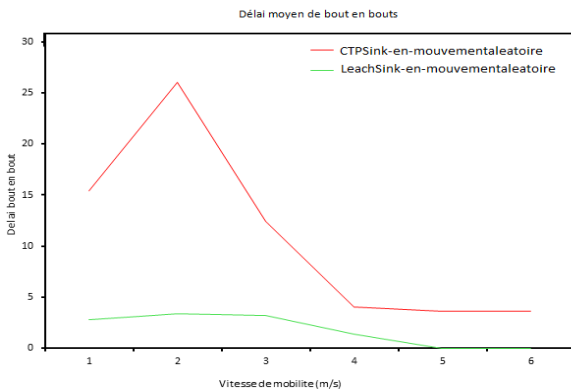


Figure 5.127-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité

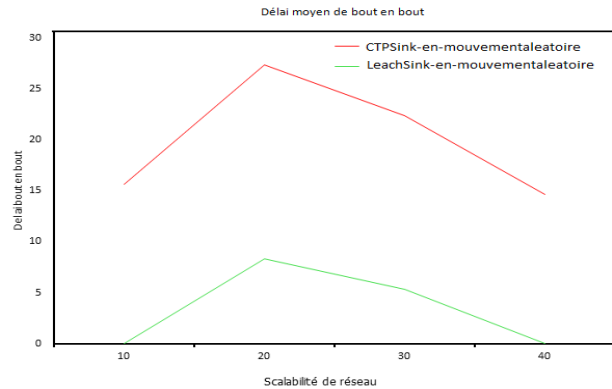


Figure 5.128-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds régulier-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique délai moyen, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats par rapports le protocole CTP qui prend longtemps dans dirigé les paquets. Et pour connaitre le délai moyen, nous collectons le délai de chaque nœuds et la diviser par le nombre de paquets délivrées. .

Pour le protocole CTP :

- Le délai moyen a diminué pour la taille du champ, la durée de simulation et la vitesse de mobilité augmente.
- Le délai moyen a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la scalabilité de réseau.

Pour le protocole LEACH :

- Le délai moyen a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la taille du champ, la vitesse de mobilité et la scalabilité de réseau.
- L'augmentation de la durée de simulation donne une augmentation de délai moyen.

➤ Nœuds en mouvement Aléatoire

1) Consommation d'énergie

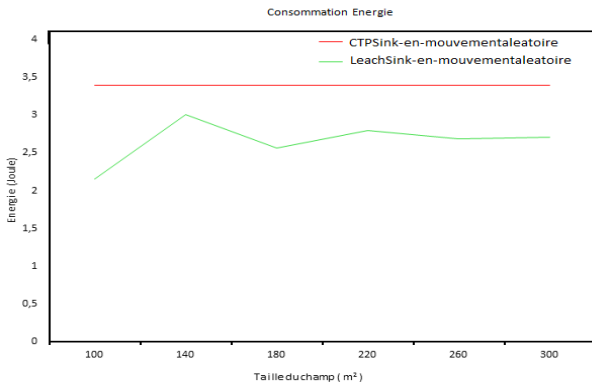


Figure 5.129-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire- Consommation d'énergie / Taille du champ

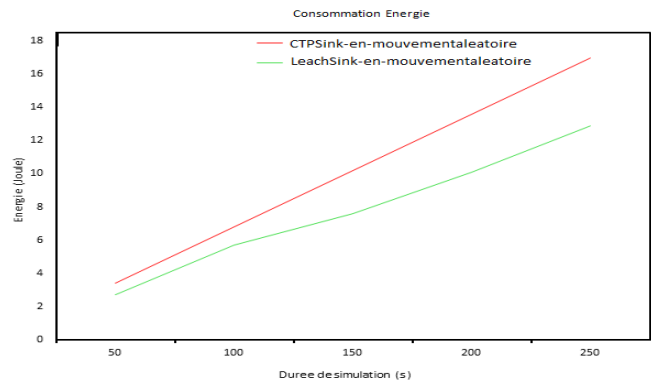


Figure 5.130-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire- Consommation d'énergie / Durée de simulation

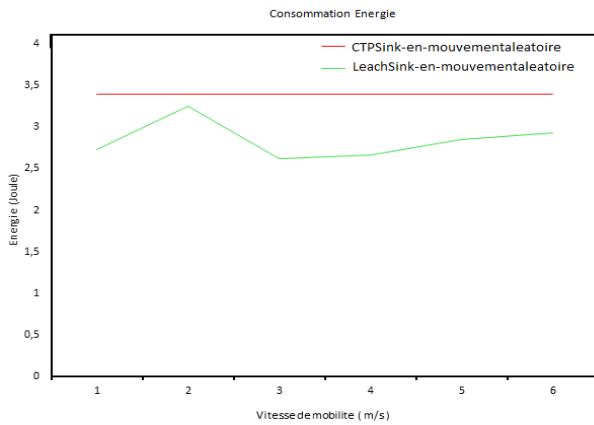


Figure 5.131-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire- Consommation d'énergie / Vitesse de mobilité

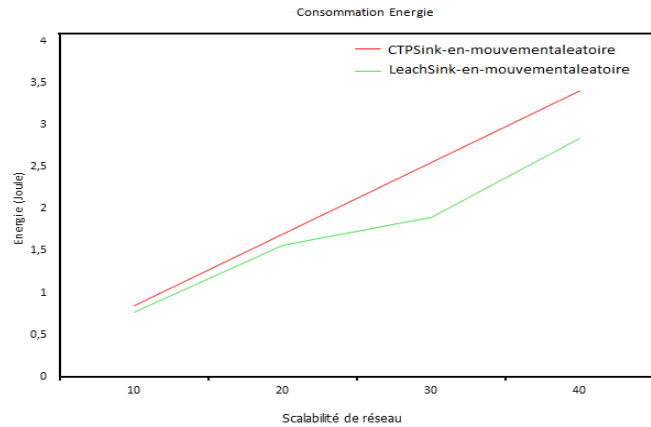


Figure 5.132-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire- Consommation d'énergie / Scalabilité de réseau

Dans le cas des nœuds en mouvement aléatoire, et pour le métrique consommation d'énergie, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats par rapports le protocole CTP, puisque LEACH consommé moins énergie.

Pour le protocole LEACH :

- Une augmentation de la taille du champ, la durée de simulation et la vitesse de mobilité et la scalabilité de réseau donne une augmentation de consommation d'énergie.

Pour le protocole CTP :

- La consommation d'énergie reste constante avec l'augmentation de la taille du champ, vitesse de mobilité.
- Une augmentation de la durée de simulation et la scalabilité de réseau donne une augmentation de consommation d'énergie.

## 2) Les paquets délivrés

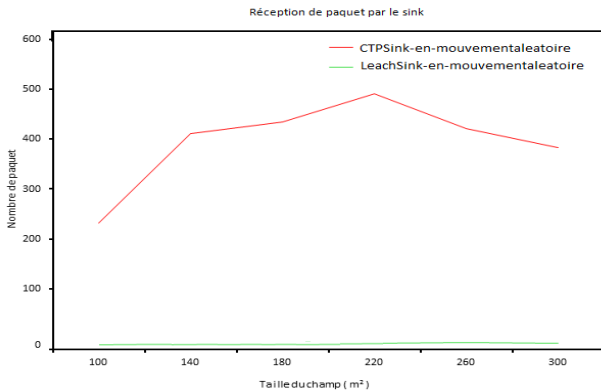


Figure 5.133-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire- Paquet délivré / Taille du champ

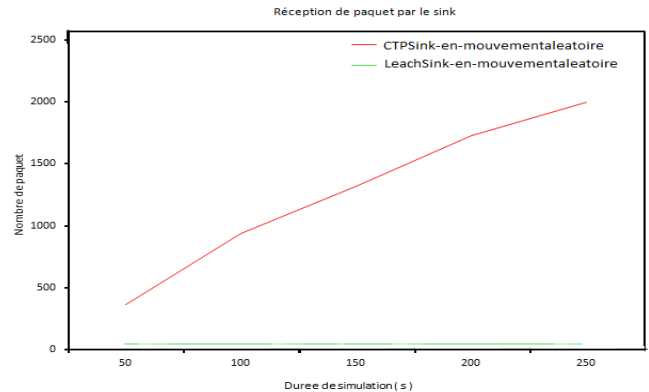


Figure 5.134-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Paquet délivré / Durée de simulation

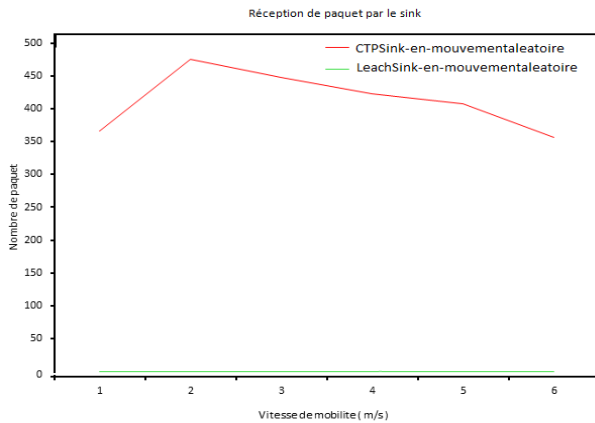


Figure 5.135-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire- Paquet délivré / Vitesse de mobilité



Figure 5.136-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire- Paquet délivré / Scalabilité de réseau

Dans ce cas, les meilleurs résultats avec le protocole CTP par rapport le protocole LEACH.

Pour le protocole CTP :

- Les paquets délivrés a augmenté avec une augmentation la durée de simulation et la scalabilité de réseau.
- Les paquets délivrés a diminué avec une augmentation la vitesse de mobilité.
- Pour la taille du champ : Le paquet délivré a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer

Donc, le protocole LEACH :

- Les paquets délivrés restent constants avec de légers changements, parce que tous les nœuds ont un certain temps pour envoyer des paquets.

### 3) Les paquets dupliqués

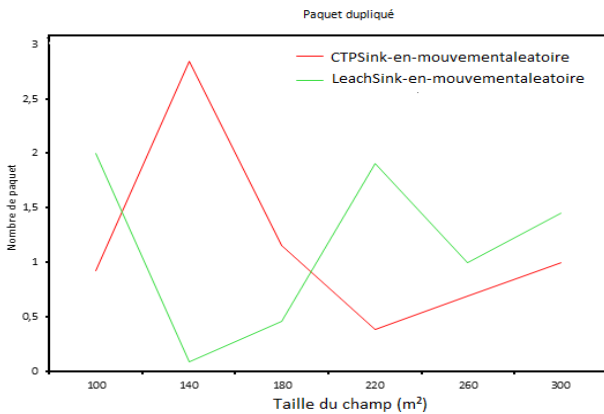


Figure 5.137-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Paquet dupliqué / Taille du champ

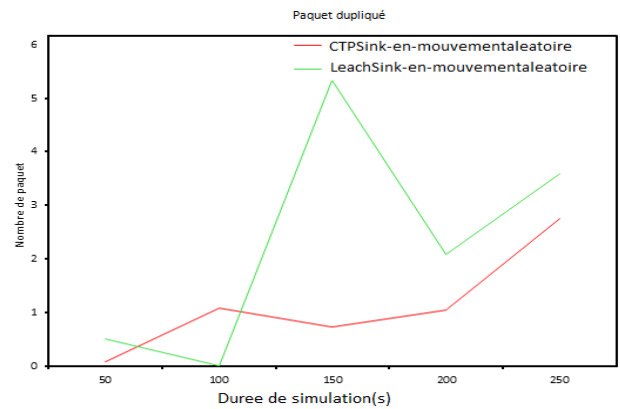


Figure 5.138-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Paquet dupliqué / Durée de simulation

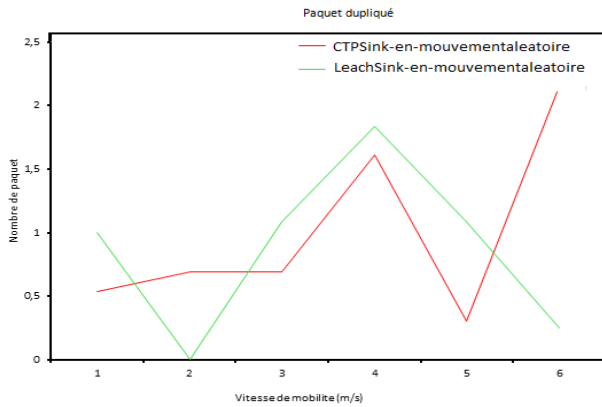


Figure 5.139-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Paquet dupliqué / Vitesse de mobilité

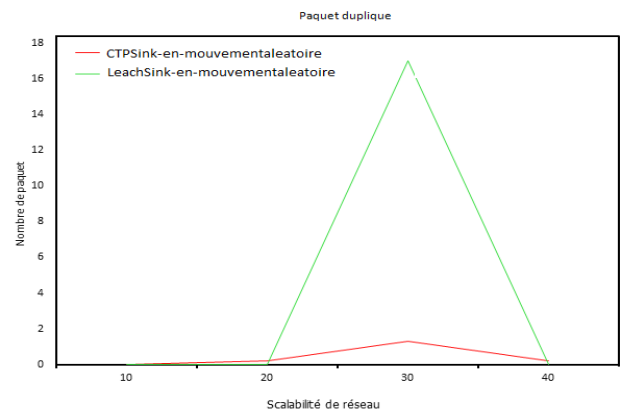


Figure 5.140-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Paquet dupliqué / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique paquet dupliqué, le protocole CTP donne les meilleurs résultats par rapports le protocole LEACH puisque dans structure CTP il y a le module « Forwarding Engine » qui supprimer des paquets dupliqués.

Pour le protocole CTP :

- Le paquet dupliqué a augmenté à mesure que chaque paramètre de simulation augmente.

Pour le protocole LEACH :

- Le paquet dupliqué a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la vitesse de mobilité et la scalabilité de réseau.
- Une augmentation de taille du champ et la durée de simulation donne une augmentation de paquets dupliqués.

#### 4) Délai moyen de bout en bout

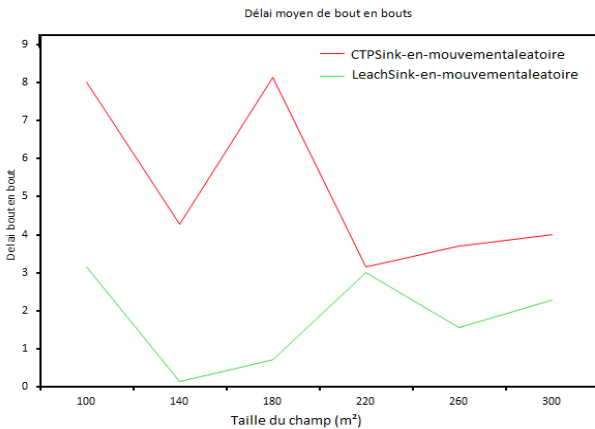


Figure 5.141-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Taille du champ

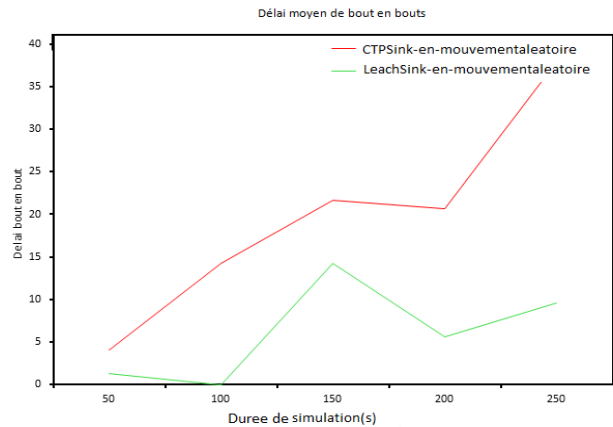


Figure 5.142-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Durée de simulation

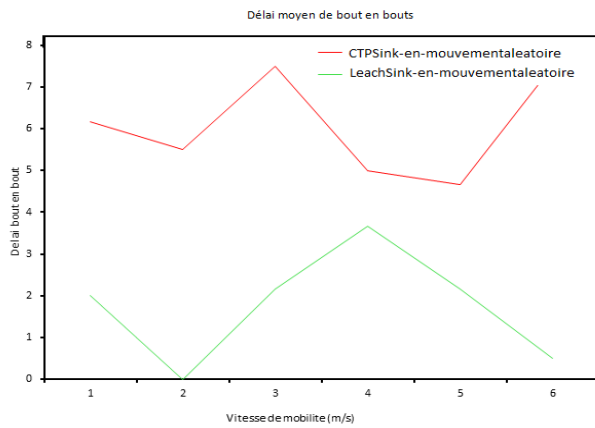


Figure 5.143-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Vitesse de mobilité

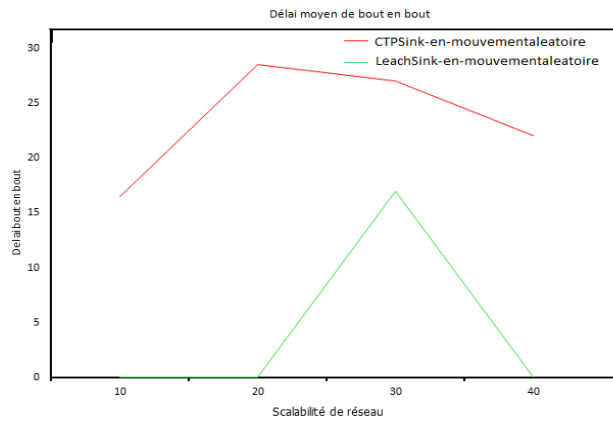


Figure 5.144-CTP-LEACH-SinkAléatoire-Nœuds aléatoire-Délai moyen de bout en bout / Scalabilité de réseau

Dans ce cas et pour le métrique délai moyen, le protocole LEACH donne les meilleurs résultats par rapports le protocole CTP parce que LEACH ne prend pas longtemps dans dirigé les paquets.

Pour le protocole CTP :

- Le délai moyen a augmenté pour la durée de simulation, la scalabilité de réseau et la vitesse de mobilité augmente.
- Le délai moyen a diminué pour la taille du champ augmente.

Pour le protocole LEACH :

- Le délai moyen a augmenté jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine valeur qui commence à diminuer avec l'augmentation de la vitesse de mobilité et la scalabilité de réseau.
- Une augmentation de taille du champ et la durée de simulation donne une augmentation de délai moyen.



## **5.2. Conclusion**

Nous avons effectué des simulations approfondies en utilisant différentes conditions pour une comparaison entre deux protocoles de routage. Cela nous a permis de conclure que le protocole CTP est meilleur pour les paquets délivrés et les paquets dupliqués selon le mouvement de sink et les nœuds. Pour la consommation d'énergie et le délai moyen, le protocole LEACH donne des meilleurs résultats par rapport CTP.

## Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sans fil sont constitués d'un très grand nombre de dispositifs de communication autonomes de très petite taille, dotés de ressources de calcul et d'énergie limitées.

Cependant, les réseaux de capteurs sans fil rencontrent plusieurs problèmes qui affectent leur meilleur fonctionnement dû à leurs caractéristiques ; tels que les limitations de batterie, leur petite taille et leur déploiement dans des zones souvent hostiles ou difficiles les accédé par l'être humain.

Dans ce mémoire, nous avons présenté une brève description sur les réseaux de capteurs sans fil ainsi que les différents protocoles de routage. Nous avons illustré une description détaillée sur le fonctionnement des protocoles de routage choisis tel que CTP et LEACH.

Nous avons implémenté les deux protocoles à l'aide du simulateur Castalia basé sur OMNeT++. Nous nous sommes intéressés à l'analyse de performances et la comparaison entre les deux protocoles CTP et LEACH selon les métriques suivantes : Consommation d'énergie, le délai moyen, les paquets délivrés et les paquets dupliqués.

Les résultats des analyses ont montré que :

Pour le protocole CTP :

- En terme paquet délivré : les meilleurs résultats sont dans le cas sink régulier, mais après une certaine valeur, la préférence passe au sink aléatoire.
- En terme paquet dupliqué : les meilleurs résultats avec sink régulier.
- En terme consommations d'énergie : les meilleurs résultats avec sink régulier et aléatoire.
- Le délai moyen de bout en bout: les meilleurs résultats avec sink régulier.

Pour le protocole LEACH :

- L'utilisation d'un sink en mouvement aléatoire donne des meilleurs résultats pour la consommation d'énergie, les paquets dupliqués et le délai moyen.
- les meilleurs résultats avec sink statique en terme paquet délivré.

Les deux protocoles ont été étudiés, simulés et comparés dans ces scénarios qui ont donné une vision assez claire sur les contraintes.

Dans le cas sink statique, en termes de consommation d'énergie et les paquets dupliqués, les nœuds réguliers donne des meilleurs résultats. Pour la métrique les paquets délivrés, les nœuds aléatoires donnent des meilleurs résultats.

Dans le cas sink régulier, en termes de paquets délivrés, les nœuds aléatoires donnent des meilleurs résultats. Pour la métrique les paquets dupliqués et le délai moyen, les nœuds statiques donne des meilleurs résultats.

Dans le cas sink aléatoire, pour la métrique consommation d'énergie, les nœuds réguliers donnent des meilleurs résultats. En termes de paquets délivrés, les nœuds aléatoires donnent des meilleurs résultats. Pour la métrique les paquets dupliqués, les nœuds statiques donne des meilleurs résultats.

En effet, les comparaisons prouvent que CTP offre des meilleurs résultats pour les paquets délivrés et les paquets dupliqués selon le mouvement de sink et les nœuds. Pour la consommation d'énergie et le délai moyen le protocole LEACH est plus performant.

Et comme perspective, nous souhaite d'utiliser les Platform réel pour l'analyse de performance et d'optimiser la consommation d'énergie pour le protocole CTP.

## Liste des références

- [1] Amina Hentati, "Sélection des nœuds dans les réseaux de capteurs sans fil avec récolte d'énergie," UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL, 2016.
- [2] Diery Ngom, "Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil sous contraintes de couverture et de connectivité réseau," Thèse de Doctorat, l'Université de Haute Alsace (France) et de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 17 Mai 2016, 2017.
- [3] YUCEF ZIANI, ÉTUDE COMPARATIVE DE MÉTHODES DE ROUTAGE DANS LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL POUR LE DOMAINE RÉSIDENTIEL,"L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES,2013.
- [4] TAHAR ABBES Mounir ,“ Proposition d'un protocole à économie d'énergie dans un réseau hybride GSM et AD HOC ”, Université d'Oran, 2012.
- [5] BECHAR Rachid, “ Surveillance distribuée d' un réseau de capteurs sans fil à base d'agents ”, Université d'Oran,2015.
- [6] BERRABAH Abdelkrim SAIDI Hassiba, “Thème Balancement de charges dans les réseaux Ad Hoc,” Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2013.
- [7] BELKIS Dihia ,FERDJI Lydia, “ Proposition d'un protocole de routage hiérarchique Sécurisé pour les réseaux de capteurs sans fil,” UNIVERSITE MOULOUD MAMMERE DE TIZI-OUZOU,2016.
- [8] Athanassios Boulis, "Castalia, A simulator for Wireless Sensor Networks and Body Area Networks User's Manual", NICTA March 2011.
- [9] Ugo Colesanti and Silvia Santini, “The Collection Tree Protocol for the Castalia Wireless Sensor Networks Simulator,” *June*, pp. 1–26, 2011.
- [10] MALKI Hocine, “ Étude comparative entre deux protocoles de routage géographiques sans balises BOSS et Geraf dans les réseaux WSNs,”Université Ouargla, 2019.
- [11] ABABSA Raouf, “ Etude Comparative Entre Les Protocoles Hiérarchique Et Le protocole Multi-chaine PEGASISI,” Université Larbi Ben M'hidi, 2018.
- [12] SARI Mounya Amal, “ ETUDE DU RSSI POUR L'ESTIMATION DE LA DISTANCE DANS LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL,” Université Abou Bakr Belkaid–Tlemcen, 2017.
- [13] Dixit Sharma, “Evaluating and improving collection tree protocol in mobile wireless sensor network,” Université d'Ontario Canada,2011.
- [14] Victor Rosello, David Boyle, Jorge Portilla, Brendan O'Flynn, Teresa Riesgo, “Route-back delivery protocol for collection tree protocol-based applications,” .
- [15] BERZIGA Farida, “ Etude comparative de protocoles de routage dans les RCSFs” UNIVERSITE MOULOUD MAMMERE DE TIZI-OUZOU ,2013.
- [16] András Varga, "OMNeT++ Installation Guide Version 5.6.1", OpenSim Ltd, 2016.
- [17] HANNECHE Amel," Conception d'un nouveau protocole pour les réseaux de capteurs sans fils " Université L'arbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi,2021
- [18] GRICHE YAMINA," Protocoles de communication et optimisation de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil" Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent.
- [19] Kebir MoundirChemseddine, Hadj-Ali Abdellah," Etude comparative de méthodes de routage dans les réseaux de capteurs sans fil affectés à des applications en environnement domotique " Centre

Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent,2019.

- [20] Mehiaoui Amina, "Etude comparative entre les deux protocoles de routage LEACH et PEGASIS dans les réseaux de capteurs sans fil" UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM,2015.
- [21] Leila Imane NIAR, "Analyse Graphique pour la surveillance dans un réseau de capteurs sans fils (RCSF) Simulateur : OMNET++" Université d'Oran,2012.
- [22] Rodrigo Fonseca, Omprakash Gnawali, Kyle Jamieson, Sukun Kim, Philip Levis, and Alec Woo , "The Collection Tree Protocol (CTP)" 2006.
- [23] Naidja Miloud, "Auto-adaptation dans les RCSF hétérogènes pour des e-applications" Université de Batna 2 ,2018.
- [24] Abderrezak Rachedi, "Contributions à la sécurité dans les réseaux mobiles ad Hoc" Université d'Avignon, 2008.
- [25] Andrés Varga, "OMNeT++ User Guide Version 5.6.1", OpenSim Ltd,2016.
- [26] Yaser Yousef, " Routage pour la gestion de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil " Université de Haute Alsace – Mulhouse, France,2010.
- [27] Salheddine Kabou, " Etat de l'art sur les réseaux de capteurs sans fil," 2010. Disponible en "[https://www.memoireonline.com/02/12/5433/m\\_tat-de-lart-sur-les-reseaux-de-capteurs-sans-fil8.html](https://www.memoireonline.com/02/12/5433/m_tat-de-lart-sur-les-reseaux-de-capteurs-sans-fil8.html) " (consulté le 30/5/2022 22 : 30)
- [28] "Collection Tree Protocol," Disponible en " <https://slideplayer.com/slide/16733346/> " (consulté le 30/5/2022 23 : 00)
- [29] YACINE CHALLAL, "Réseaux de Capteurs Sans Fils", "[https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/RCSF\\_web.html](https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/RCSF_web.html) ", Version 1, 18/11/2008
- [30] "Réseau de capteurs sans fil", Disponible en " [https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Reseau-de-capteurs-sans-fil-page-2.html#ref\\_5](https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Reseau-de-capteurs-sans-fil-page-2.html#ref_5) " (consulté le 28/5/2022)
- [31] Samir ATHMANI, « Protocole de sécurité Pour les Réseaux de capteurs Sans Fil » Université Hadj Lakhder - Batna, 2010
- [32] Fatouma BENBA et Zeyneb BENBA, " Proposition d'un algorithme de routage efficace en énergie dans les réseaux de capteur sans fil basé sur l'intelligence en essaim inspiré de la nature," Université Ahmed Draia – Adrar, 2016.
- [33] André-Luc Beylot, Rahim Kacimi et Riadh Dhaou, "Réseaux de capteurs sans fil".
- [34] Daoui M, "Le routage dans les réseaux de capteurs sans fils", Université Mouloud Mammeri de TIZI OUZOU.
- [35] Install OMNET++ " <https://www.youtube.com/watch?v=lyQrC4TufJ8> ".
- [36] Florent Dupont, " Réseaux sans-fil ", Université Claude Bernard Lyon 1.
- [37] Fabrice MFUAMBA KABONZO, "NOTIONS DE BASE SUR LES RESEAUX SANS FIL", Disponible en "[https://www.memoireonline.com/11/12/6515/m\\_Etude-portant-sur-limplantation-dun-reseau-sans-fil-WIFI2.html](https://www.memoireonline.com/11/12/6515/m_Etude-portant-sur-limplantation-dun-reseau-sans-fil-WIFI2.html) ", (consulté le 13/6/2022)
- [38] KAISSARI Soufiane, " Conception d'un Réseau de Capteurs Sans Fil " Université Mohammed V de Rabat, École normale supérieure d'enseignement technique - Rabat Département Génie électrique,2015.

## Annexes

### 1. L'architecture d'OMNET++

L'architecture d'OMNET++ est hiérarchique composée de modules. Un module peut être soit module simple ou bien un module composé. Les feuilles de cette architecture sont les modules simples qui représentent les classes C++. Pour chaque module simple correspond un fichier .cc et un fichier .h. Un module composé est composé de simples modules ou d'autres modules composés connectés entre eux. La communication entre les différents modules se fait à travers les échanges de messages. Les messages sont envoyés et reçus à travers des ports qui représentent les interfaces d'entrer et de sortie pour chaque module.

La conception d'un réseau se fait dans un fichier .ned et les différents paramètres de chaque modules sont spécifiés dans un fichier .ini [21].

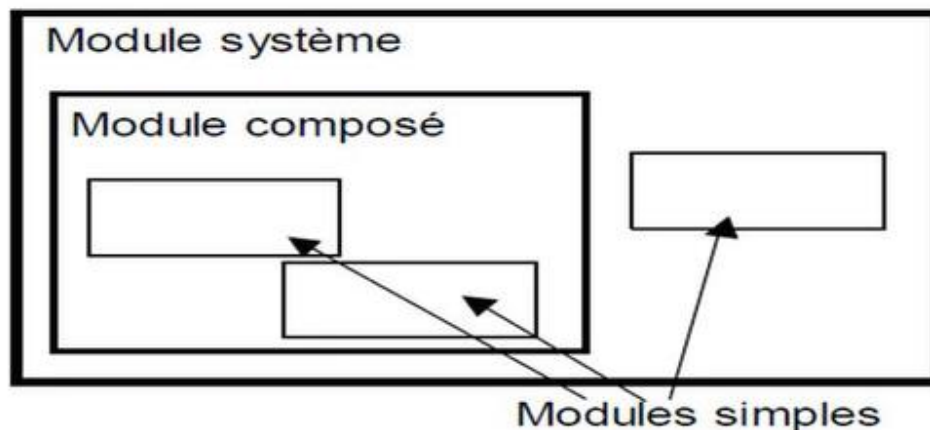


Figure A.1 - Architecture d'OMNet++

### 1.2. Installation du simulateur OMNetpp-4.4.1 sur Linux

Les étapes sont les suivantes [16, 35] :

- ✓ **Download OMNeT++:** “<https://omnetpp.org/download/old/>”
- ✓ `$ tar xvfz omnetpp-5.0-src.tgz`
- ✓ `$ sudo apt install -f`
- ✓ `$ sudo apt update`

- ✓ `$ sudo apt-get install build-essential gcc g++ bison flex perl python python3 qt5-default libqt5opengl5-dev tcl-dev tk-dev libxml2-dev zlib1g-dev default-jre doxygen graphviz libwebkitgtk-1.0`
- ✓ `$ sudo apt-get install openscenegraph-plugin-osgearth libosgearth-dev`
- ✓ `$ cd omnetpp-5.5.1`
- ✓ `$ . setenv`
- ✓ `$ gedit ~/.bashrc`
- ✓ Ajouter le path: `export PATH=$PATH:/home/user/Downloads/omnetpp-4.4.1/bin`
- ✓ `$ Sudo -s`
- ✓ `$ ./configure`
- ✓ `$ make`

### 1.3. Les principaux fichiers

- **Fichier (.Ned) :** Utilise le langage NED de description de réseau. Il peut être utilisé en 2 modes : Mode Graphique ou Mode Texte qui permettent de décrire les paramètres et les ports du module [21].

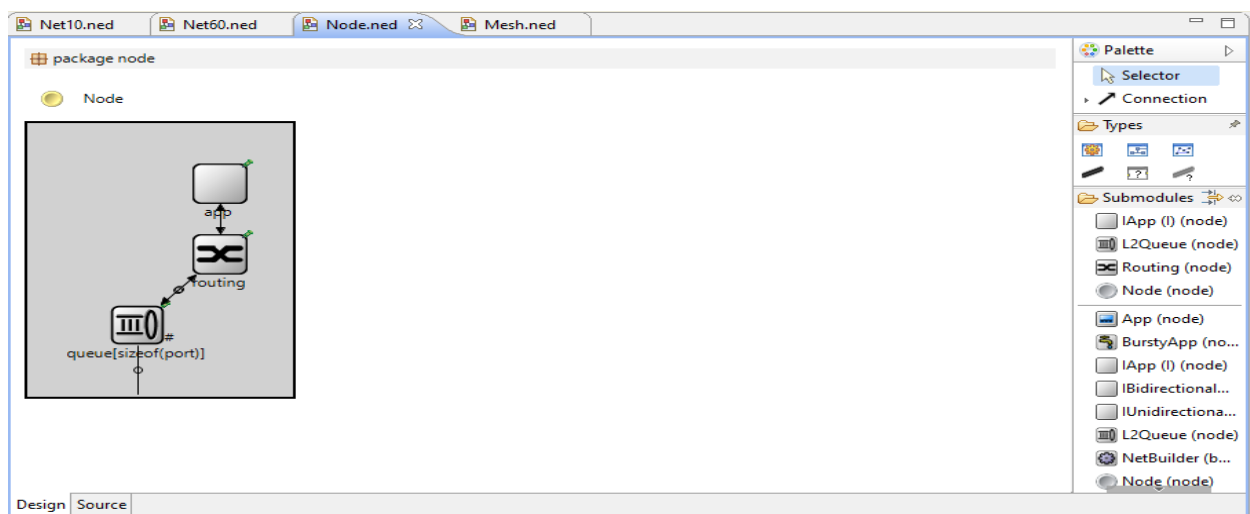


Figure A.2 - Fichier NED en mode graphique

```

package networks;
import node.Node;
network Mesh
{
  parameters:
    double height @prompt("Number of rows") = default(9);
    double width @prompt("Number of columns") = default(7);
  types:
    channel C extends ned.DatarateChannel
    {
      parameters:
        delay = default(0.1ms);
        datarate = default(1Gbps);
    }
  submodules:
    node[height*width]: Node {
      parameters:
        address = index;
        @display("p=,,m,$width,40,40");
      gates:
        port[4];
    }
  connections allowunconnected:
    for i=0..height-1, for j=0..width-1 {
      node[i*width+j].port[0] <-> C <-> node[(i+1)*width+j].port[1] if i!=height-1;
      node[i*width+j].port[2] <-> C <-> node[(i*width+j)+1].port[3] if j!=width-1;
    }
}

```

Figure A.3- Fichier NED en mode texte

- **Fichier (.ini) :** Est lié étroitement avec le fichier NED. Permet à l'utilisateur d'initialisé les paramètres des différents modules ainsi la topologie du réseau [21].

```

SN.field_x = 200 # meters
SN.field_y = 200 # meters

# These tests include 3 nodes each, coordinates will be specified manually
SN.numNodes = 3

# important wireless channel switch to allow mobility
SN.wirelessChannel.onlyStaticNodes = false
SN.wirelessChannel.sigma = 0
SN.wirelessChannel.bidirectionalSigma = 0

# Choose a radio and set the Tx power to a low value so
# that node's mobility has a better effect on connectivity
SN.node[*].Communication.Radio.RadioParametersFile = "../Parameters/Radio/CC2420.txt"
SN.node[*].Communication.Radio.TxOutputPower = "-5dBm"

# These tests use big packets (2kb) to show interference clearly
# This requires to set the max pkt size in all communication layers
SN.node[*].Communication.Routing.maxNetFrameSize = 2500
SN.node[*].Communication.MAC.maxMACFrameSize = 2500
SN.node[*].Communication.Radio.maxPhyFrameSize = 2500

# Throughput test application is used to send 2000-byte
# packets to node 0 (which by default is the receiving
# node for this app).5 packets per second will be send
SN.node[*].ApplicationName = "ThroughputTest"
SN.node[*].Application.packet_rate = 5
SN.node[*].Application.constantDataPayload = 2000
# application's trace info for node 0 (receiving node)
# is turned on, to show some interesting patterns
SN.node[0].Application.collectTraceInfo = true

# Nodes are moving, so seeing their location may be useful
# SN.node[*].MobilityManager.collectTraceInfo = true

```

Figure A.4- fichier\*.ini

- **Fichier (.msg) :** Les modules communiquent en échangeant des messages. Ces derniers peuvent être déclarés dans un fichier dont l'extension est (.msg) ou l'on peut ajouter des champs de données [21].

## 2. Installation Castalia 3.2

Les étapes sont les suivantes :

- ✓ Placez le dossier castalia avec le dossier omnet dans le même répertoire



- ✓ Ajouter le path: `export PATH=$PATH:/home/user/Downloads/Castalia 3.2/bin`
- ✓ `$ cd $HOME/Castalia-3.2_OMNeT-IDE_Windows_Linux-master`
- ✓ `$ chmod 755 updateCastalia.sh`
- ✓ `$ ./updateCastalia.sh`
- ✓ Importation du projet Castalia dans OMNeT++ ide : clic droit sur "General->Exiting project into workspace" et en choisir la racine du projet.

Installez le simulateur Castalia en exécutant les commandes suivantes :

- ✓ `$ cd ~/Castalia-3.2/Castalia`
- ✓ `$ ./makemake`
- ✓ `$ make`

### ➤ Les commandes principales

- `../bin/Castalia` Affiche la liste des fichiers et des configurations.
- `../bin/Castalia -c General` Commencer l'exécution de la configuration. Ce qui donne un fichier trace.
- `CastaliaResults` Affiche les résultats obtenus lors de l'exécution.
- `CastaliaPlot` Affiche le graphe des simulations.

## 3. Implémentation de protocole CTP et LEACH

Notre objectif est d'adapter le code source des deux protocoles au simulateur OMNET++ et exploiter les fonctionnalités du Framework « Castalia » pour obtenir des résultats présentatifs.

Pour implémenter des protocoles de routage, les étapes suivantes doivent être suivies :

- ✓ Copiez le dossier qui contient les fichiers de base du code source de routage (\*.cc et \*.h) dans le répertoire "Castalia/src/node /communication/routing/".
- ✓ Copiez le dossier qui contient le fichier d'initialisation des paramètres de simulation (\*.ini) dans le répertoire "Castalia/Simulations/".
- ✓ Ouvrez l'éditeur de ligne de commande associé avec omnet++ (mingwenv.cmd) allez dans le répertoire de Castalia en suite tapez les commandes suivantes :

`$ ./makemake`

`$ make`