الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole National Supérieure de Technologie

Département : Génie électrique Et Informatique Industrielle

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme Master en

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes de Télécommunication et Réseaux

Thème : L'évaluation des performances du protocole RPL avec une optimisation d'énergie dans l'IoV

Réalisé par

BOUNEDER Nour et MALAOUI Wafa

Composition du Jury :

Président	Mr. CHERIFI Tarek,	Grade M.C.B	Université ENST
Promoteur	Mme. BENDOUDA Djamila,	Grade M.C.B	Université ENST
Examinateur	Mme ABBAD Leila,	Grade M.A.A	Université ENST
Examinateur	Mme CHIALI Imane,	Grade M.C.B	Université ENST

Année universitaire 2021 –2022

L'évaluation des performances du protocole RPL avec une optimisation d'énergie dans l'IoV

BOUNEDER Nour *, MALAOUI Wafa†, BENDOUDA Djamila‡
*Département Génie électrique et informatique industriel GEII
*Ecole Nationale Supérieure de Technologie(ENST)
*Dergana, Algérie
*n_bouneder@enst.dz †w_malaoui@enst.dz
‡*bendouda.djamila@enst.dz*

***Abstract*—Avec le développement qui s'opère au XXIe siècle, un nouveau concept qui apparue c'est l'Internet des objets (IoT) , et de nombreux appareils intelligents sont devenus capables de se connecter à Internet même les véhicules . le groupe de travail ROLL(Routing Over LLNs) de l'IETF (Internet Engineering Task Force) a standardis un nouveau protocole appelé RPL (Routing Protocol for LLNs) : est un protocole de Routage IPv6 pour les réseaux LLN (Low Power and Lossy Networks) qui sont une catégorie de réseaux à faible puissance et à perte donc ils sont confrontés à de nombreux problèmes, dont les plus importants sont la consommation d'énergie et la connexion par paquets.**

L'objectif de cette étude est de créer une nouvelle version de fonction objective (REOF) pour évaluer la performance du protocole RPL avec le support de la mobilité tout en respectant la métrique de la consommation d'énergie dans l'Internet des Véhicules (IoV).

***Index Terms*—RPL, IoV, QoS, LLN.**

I. Introduction

Récemment, l'internet des véhicules devient rapidement une réalité avec la création des réseaux de capteurs sans fil et leur intégration à l'internet, les véhicules connectés sont dotés par des capteurs qui sont caractérisés par des fonctionnalités de détection avancés L'internet des véhicules s'est connecté divers capteurs qui sont généralement limités en termes de puissance de traitement, de portée de communication, de batterie et de mémoire. Cependant, ce réseau est de faible puissance et à perte LLN, pour répondre à ces contraintes les protocoles de routage doivent être bien conçus, pour cela l'IETF a proposé un nouveau protocole de routage RPL pour construire et gérer la topologie des réseaux LLN.

Le but du cet article est d'évaluer les performances du protocole RPL dépendamment de la taille de réseau, afin de proposer une amélioration du protocole RPL, qui se résume dans la création d'une 3ème version de fonction objective qui nous aidera à garantir la stabilité du réseau, en utilisant l'énergie restante des nœuds comme facteur indispensable pour le choix du meilleur chemin à emprunter par les paquets. Pour mener à bien notre travail,nous l'avons organisé en quatre sections selon le plan méthodologique suivant:

La première partie est consacré pour une introduction générale sur notre étude. Le deuxième partie donne un aperçu sur les travaux connexes de RPL avec QoS. La troisième partie est focalisé sur une présentation de l'IoV (Internet Of vehicule) à savoir son architecture ,ses Composants réseau IoV ainsi que les réseaux de capteurs sans fil. Le quatrieme partie est pour le routage avec protocole RPL .La dernière partie est réservé pour l'évaluation et l'amélioration des performances du protocole RPL en optimisant la consommation énergitique à l'aide de la métrique d'énergie restante.

II. Traveaux connexes

Depuis la standardisation de protocole RPL par le groupe de travail ROLL de l'IETF en 2012, et de nombreux travaux sur les fonctions objectives sont proposés pour améliorer la qualité de service et les optimisations des problèmes dans les réseaux LLN . Aussi, en dépit des deux fonctions objectif standards MRHOF et OF0, plusieurs travaux ont proposé de nouvelles fonctions objectif notamment celles basées sur la combinaison de plusieurs métriques. La combinaison multi-métriques permet de faire des compromis entre les paramètres de performances du réseau [1].

•SIGMA-ETX : c'est une fonction objective, qui consiste à adapter une métrique spécifique pour le protocole RPL dans la fonction objective MRHOF. Cependant, l'adaptation proposée optimise les deux fonctions objectives standards de protocole RPL MRHOF et OF0, ceci via une nouvelle métrique qui s'appelle SIGMA-ETX dans laquelle le meilleur itinéraire est calculé à l'aide de l'écart type des valeurs ETX entre les nœuds, au lieu de travailler avec la moyenne ETX le long de la route. Cette méthode donne de meilleurs résultats par rapport aux fonctions objectives OF0 et MRHOF en termes de taux de livraison de paquets, de latence du réseau et de consommation d'énergie [2].

•SEEOF (Smart Energy Efficient Objective Function):c'est fonction objectif basée sur une combinaison de deux métrique, métrique dérivée de l'énergie ERLT (Estimated Remaining Life Time) et la métrique ETX. Les résultats de la simulation montrent qu'une amélioration de 27% est obtenue dans la durée de vie du réseau lors de l'utilisation de la fonction objectif proposée [3].

• LQL (Link QualityLevel) : c'est une fonction objective, qui utilise le niveau de qualité de lien LLQ (ETX) pour réduire le nombre de changements parents et minimiser la consommation d'énergie mais n'offre pas une bonne performance en

termes de délai moyen en bout en bout et de taux de livraison de paquets, à 2014 [4].

• **EAAT :** c'est une fonction objective, qui propose une solution efficace soucieux de l'énergie filet adaptatif mécanisme basé sur la transmission des DIO à l'échelle du l'énergie future (FE) et le résiduel énergie (ER) en utilisant une performance métrique et comparé seulement avec RPL-ETX [5].

•ELT(rexpected life-time) : basé sur la métrique délai et énergie consommée pour réduire le nombre de changements parents et minimiser la consommation d'énergie mais n'offre pas une bonne performance enterme de délai moyen de bout en bout et de taux de livraison de paquets [6].

•DQCA-OF (Delivery Quality and Context Aware-Objective Function):c'est une fonction objectif qui combine la métrique ETX, le nombre de saut et l'énergie en utilisant la logique floue. Cette fonction permet d'améliorer la latence, la durée de vie ainsi que le taux de livraison de paquets [7].

Solution:

Notre objectif consiste à proposer une méthode nouvelle et efficace pour l'optimisation d'énergie dans l'IoV, en utilisant le protocole RPL comme protocole de routage, tout en garantissant QoS .

Cette solution proposée : est une fonction objectif nommée "REOF"basé sur l'utilisation de l'énergie restante RE des noeuds comme métrique de routage.

III. Présentation d'IoV et RCSF

A. *Définition iov :*

L'Internet des véhicules (IoV) est un système cyber-physique qui intègre les VANETs , IoT ,et le cloud computing mobile. Dans les IoV, les véhicules sont considérés comme des objets intelligents ou des nœuds, qui sont équipés avec Internet et les réseaux sans fil qui permettent les smart véhicules à collaborer les uns avec les autres pour le partage de données et communications. Les véhicules intelligents interagissent également avec les unités en bordure de route et autres usagers de la route, tels que les piétons et les cyclistes, pour partager et recueillir des informations sur les routes et leur entourage.

B. *Architecture de IoV:*

Actuellement, il n'y a pas d'architecture spécifique pour IoV en raison de la compréhension différente d'IoV. Certains chercheurs ont proposé une architecture IoV basée sur l'IoT qui est similaire à 1ToV et se compose d'une couche détection, d'une couche réseau et d'une couche application. Une architecture à trois couches a été identifiée dans [8], qui décrivent les différentes interactions des technologies de l'environnement loV. La première couche comprend tous les capteurs du véhicule qui collectent des données environnementales et détectent certains événements importants tels que les conditions du véhicule, les habitudes de conduite et les conditions environnementales. Une deuxième couche de communication qui prend en charge différents types de communications sans fil telles que véhicule à piéton (V2P), véhicule à infrastructure (V21), véhicule à véhicule (V2V) et véhicule à capteur (V2S) . La couche de communication assure une connectivité transparente à plusieurs réseaux tels que IEEE 802.15.4, IEEE 802.11p, GSM, LTE, Wi-Fi et Bluetooth. La couche 3 dispose de ressources IoV et de renseignement chargées de prendre des décisions dans des situations dangereuses (telles que des conditions routières dangereuses et des accidents). Ce niveau contient des outils statistiques et des ressources données big data.

C. *Composant réseau IOV :*

Pour la communication sur les réseaux IOV, Les composantes suivantes : Véhicules, Unités Routières (RSU), Infrastructure, capteurs, dispositifs personnels et humains :

Interaction infrastructure-véhicule (I T V): Les véhicules peuvent communiquer via l'interaction infrastructure-véhicule Près des postes de police, des hôpitaux, des pompiers et des stationsservice urgence. De plus, la voiture peut communiquer avec la maison, Un bureau qui allume des appareils tels que des climatiseurs et des ventilateurs [9].

Interaction véhicule à véhicule (V T V): En interaction V2V, une voiture communique directement avec une autre voiture pour échanger d'informations (sur les occupants du véhicule) État des freins, vitesse, position du véhicule et avertissement de conduite . Interaction nuagevéhicule (C T V) Le cloud est le hub central où se trouvent toutes les informations traverser. La capacité de calcul et de stockage des véhicules est limitée Ressources insuffisantes pour les nouvelles applications. [9]

Interaction capteur-véhicule (S T V): permet au véhicule de communiquer avec le capteur activé panneaux avec arrêts de bus, feux de circulation et capteurs Itinéraires intégrés et requis pour obtenir des informations sur le trafic redirige les alertes. De plus, le capteur du véhicule détecte ce avertissements pour les événements et les véhicules à proximité ,évitement de collision, changement de voie [9].

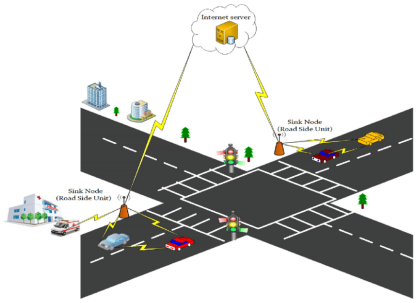


Fig. 1. scénario d'IoV
[10]

D. Définition réseau de capteur sans fil:

Les réseaux de capteurs sans fil sont généralement distribués dans un environnement contrôlé et se composent d'un grand nombre de nœuds de capteurs sans fil qui interagissent avec le monde physique. Cet ensemble est destiné à collecter les données spécifiques nécessaires pour surveiller/contrôler les zones/régions prédéfinies. Les nœuds de capteurs fonctionnent ensemble pour combiner les lectures de capteurs individuels afin de créer un résultat de détection global. Par exemple, pour estimer la vitesse, vous devez intégrer la série temporelle des mesures de position. Les données collectées sont traitées et analysées par la station de contrôle (ou sink).

E. Applications des réseaux de capteurs sans fil :

Les réseaux de capteurs sans fil sont appliqués dans une grande variété d'applications et de systèmes. Il existe Ci-dessous, certaines applications de RCSF sont décrites :

• Santé : l'intégration d'un RCSF dans les applications de santé est potentiellement bénéfique tant pour les médecins que pour les patients. Fixation des capteurs aux patients assure une surveillance à long terme et l'administration de la maladie. Dans les hôpitaux, cette technologie a sauvé la vie de nombreux patients en alertant les médecins sur la situation du patient [11].

• Surveillance de l'environnement : les RCSF sont utilisés dans de telles applications pour surveiller les paramètres d'environnement tels que l'humidité et la température. Un exemple d'applications de surveillance environnementale est la détection des incendies de forêt.

• Applications industrielles : Les industries cherchent à améliorer la qualité des produits et le contrôle des processus. Les technologies de capteurs sans fil ont été impliquées dans ce domaine pour aider à augmenter l'efficacité industrielle. Ils sont utilisés pour l'automatisation des usines, la détection des fuites de liquide/gaz, la gestion des stocks en temps réel, etc.

• Applications militaires : Ces applications nécessitent un haut niveau de sécurité. Les RCSF sont utilisés dans la zone militaire à cette finalité. Équipés des capteurs appropriés, ces réseaux permettent la surveillance du champ de bataille, la détection des intrus sur les bases, la détection des unités ennemies, la connaissance de la situation militaire, etc [12].

F. Architecture typique d'un nœud (capteur) :

Un dispositif de capteur sans fil est un dispositif fonctionnant sur batterie, capable de détecter des entités physiques [13]. En plus de la détection, il est capable d'effectuer une communication sans fil, le traitement du signal, le stockage de données et une quantité limitée de calculs. Il est composé de quatre composants principaux, comme le montre la figure 2 [14]:

• Unité de détection : est l'interface qui peut observer et contrôler les paramètres physiques de la zone cible. Le signal analogique est produit par le capteur en fonction du phénomène observé. Ce signal est ensuite converti en signal numérique par un convertisseur analogique-numérique (CAN), puis transmis à l'unité de traitement pour analyse.

• Transcepteur (Transceiver): est chargé de connecter les nœuds au réseau.

• Unité de puissance : est une faiblesse majeure pour les réseaux de capteurs. Cette unité est responsable du contrôle de l'énergie restante et de la mesure de la durée de vie du capteur. Certains capteurs sont capables de renouveler leur énergie à partir de l'énergie solaire ou vibratoire.

• Unité de traitement :elle a différentes fonctions. Tout d'abord, il reçoit les données des capteurs. Ensuite, il traite ces données. Enfin, il décide quand et où elle va l'envoyer.

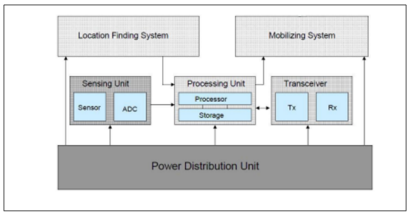


Fig. 2. Architecture d'un capteur [14].

IV. Routage avec Protocole RPL

A. le principe de protocole RPL :

Le protocole RPL a été développé pour des systèmes à ressources limitées et pour les systèmes qui se caractérisent par l'instabilité des connexions entre les nœuds à cause de présence d'obstacles, RPL est un protocole de routage proactif (la construction des routes se faite à la demande), basé sur un algorithme à vecteur de distance qui construit un DODAG (Destination Oriented Directe Acyclic Graph) pour l'acheminement des données vers la station de base, les protocoles à vecteur de distance permettent de fonctionner avec un minimum de ressources. En effet, les informations de routages à stocker correspondent seulement au voisinage, contrairement aux protocoles à état de liens qui nécessitent de connaître les caractéristiques des liens de l'ensemble des nœuds du réseau.

B. Construction de la topologie :

RPL organise la topologie grâce au graphe acyclique dirigé (DAG) en tant que graphe sans cycles, c'est une topologie dynamique et optimisée avec l'évitement des boucles et la considération des paramètres de qualité de service pour l'acheminement des datagrammes IPv6 depuis et vers le nœud racine. Pour construire la topologie, RPL utilise un type particulier de DAG : DODAG graphe acyclique orienté dirigé vers une destination qui est la racine de réseau, cette topologie logique est un arbre couvrant ou la racine est le nœud capteur appelée DODAG racine. Chaque nœud choisit parmi ses voisins un ensemble de successeurs et un parent préféré L'ensemble des successeurs étant les voisins proposants une bonne métrique, et le parent préféré étant le voisin optimisant cette même métrique. Le protocole RPL utilise trois paramètres pour organiser et identifier la topologie.

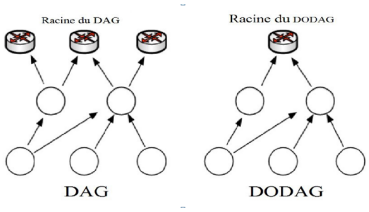


Fig. 3. Graphe de DAG et DODAG [16].

RPLInstanceID : identifiant de l'instance RPL. DODAG indique qu'ils partagent le même ID d'instance RPL et appartiennent à la même instance RPL.

DODAGID : Identifiant de la racine DODAG. C'est la même que l'adresse IPv6 de la route RPL.

DODAGVersionNumber : Utilisé pour caractériser la version de la racine DODAG.

C. Messages de controle dans RPL:

Il existe principalement quatre types de message de controle décrits comme suit :

1. DIO (Objet d'Information DODAG) : L'objet d'information DODAG transporte des informations qui permettent à un noeud pour découvrir un parent préféré, connaître ses paramètres de configuration,sélectionner un ensemble de parents DODAGs et gérer le DODAG [15].

2. DIS (Sollicitation Information DODAG) : peut être utilisé pour solliciter un objet d'information DODAG à partir d'un nœud RPL. Son utilisation est analogue à celle d'une sollicitation de routeur comme spécifié dans IPv6 pour la découverte du voisinage [15].

3. DAO (Destination Annonce Objet) :Les messages DAO sont envoyés par chaque noeud, autre que la racine DODAG, pour remplir les tables de routage avec les préfixes de leurs enfants et pour publier leurs adresses et préfixes à leurs parents [15].

4. DAO-ACK : Le message DAO-ACK est envoyé sous forme de paquet unicast par un destinataire DAO (un Parent DAO ou racine DODAG) en réponse à un message DAO monodiffusion. Il contient des informations sur RPLInstanceID, DAOSequence et Status, qui indiquent l'achèvement [15].

D. Les métriques de RPL :

Le choix des métriques est donc essentiel car ces dernières ont le rôle le plus important dans la prise de décision de cette fonction objective. Dans ce rapport, nous nous concentrons sur cinq indicateurs pour étudier les performances des fonctions Objectifs de RPL. Les résultats donneront une idée de quelle fonction objective est la plus adaptée à quel type de scénario. Dans cette section, nous décrivons quelques métriques :

1) Métrique sur le nœud : -État de nœud : donne des informations sur les caractéristiques d'un nœud, la charge exprimée par l'occupation de CPU et la mémoire consommée.

-Energie de nœud : peut être représentée par un type d'alimentation ou bien par l'énergie résiduelle d'un nœud .

-Nombre de sauts : fournit le nombre de nœuds traversés afin de parcourir la route jusqu'à la racine .

2) Métrique de lien de réseau : -Débit : représente le débit qui sera capable d'être transporté par le lien ainsi le débit disponible.

-Latence : indique le temps nécessaire pour acheminer le paquet à sa destination .

-Fiabilité : pour exprimer la qualité de lien soit en utilisant une valeur discrète entre 0 et 7, soit en calculant le nombre de paquets perdues qui sera quantifié et représenté par ETX.

E. Fonction objective :

L'objective function OF joue un rôle majeur pour RPL, permet d'utiliser les métriques et contraintes pour calculer le rang d'un nœud qui est sa distance à un nœud racine, ainsi permet la construction du topologie DODAG par la sélection des nœuds parents préférés afin de définir les meilleurs chemins.

Il y'a deux fonction objective implémentées à l'intérieur de Contiki, OFO et MRHOF, OFO utilise le nombre de sauts comme métrique de routage tandis que MRHOF utilise le nombre de transmission attendu ETX comme métrique pour sélectionner le chemin optimal.

1) Rang minimum avec fonction d'objectif d'hystérésis (MRHOF):: est une fonction objectif qui utilise la valeur minimale de Nombre de transmissions attendu (ETX) lors de la sélection du nœud parent. ETX est un nombre attendu de transmission qui a nécessité pour qu'il soit reçu sans erreur à sa destination. ETX calculé indiqué dans l'équation IV-E1 .

•**Nombre de transmissions attendu (ETX) :** est défini comme le nombre attendu de transmissions qui sont nécessaires afin d'envoyer un paquet sur la liaison de communication.

$$ETX = \frac{1}{D_{f \times} D_r}$$

D_f:Représente la probabilité de recevoir un paquet du nœud voisin.

D_r :Représente la probabilité de recevoir un accusé de réception avec succès.

2) La Fonction Objective Zero (OF0):: est une fonction objective qui utilisent la valeur minimale de saut pour atteindre le nœud racine. Chaque nœud calculera le rang en fonction de la valeur du saut vers le nœud racine. Le moins de sauts obtiendront un lien de priorité plus élevée pour être sélectionné par OF0. La valeur de classement sur le nœud enfant est toujours supérieure que le nœud parent. Calcul d'incrément en fonction du saut L'algorithme est différent des calculs basés sur ETX. la valeur d'incrément dans l'algorithme basé sur les sauts augmente constamment. Dans Simulateur COOJA chaque ajout de lien augmentera le saut évalue.

V. Simulation et annalyse

Dans cette partie , on va définir une nouvelle fonction objective dérivée de la fonction MRHOF sous le nom de REOF(Remaining energie objective function),cette dernière utilise l'énergie restante (RE) des noeuds uniquement comme

métrique de routage . Puis, nous évaluons le protocole RPL selon la fonctions objective MRHOF en fonction de nombre des nœuds et certaines métriques RPL : l'Energie moyenne consommée, taux de réussite et taux de perte. Les expériences ont été réalisées par des outils logiciels spéciaux pour les systèmes à ressources limitées : un système d'exploitation CONTIKI et le simulateur COOJA.

A. Le système d'exploitation CONTIKI:

C'est un système d'exploitation léger et flexible développé pour les systèmes à ressources limitées tels que les réseaux capteurs. Il est utilisé pour faciliter le développement des applications dédiées à ces capteurs. Contiki a été développé par une équipe de recherche du centre suédois SICS. Il propose les principales caractéristiques et fonctionnalités d'un système d'exploitation tout en favorisant une consommation énergétique et une utilisation mémoire minimales. Ses principaux sont le support des protocoles IPv6 et 6LoWPAN, sa flexibilité et sa portabilité. Il est disponible gratuitement sous licence BSD et il peut être utilisé et modifié, même à des fins commerciales.

B. Le simulateur COOJA

Contiki propose un simulateur de réseau appelé Cooja. Ce simulateur permet l'émulation de différents capteurs sur lesquels seront chargés un système d'exploitation et des applications. Cooja permet ensuite de simuler les connexions réseaux et d'interagir avec les capteurs. Cet outil permet aux développeurs de tester les applications à moindre coût.

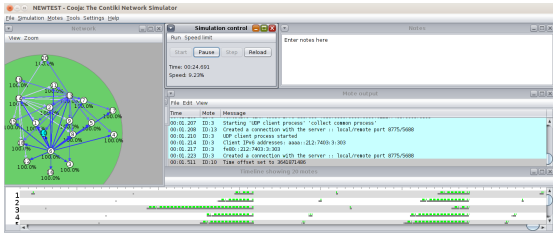


Fig. 4. Interface graphique de cooja.

C. Paramétre de simulation :

Paramètres Mote startup	Valeurs
Simulateur	Cooja
Nombre de nœuds	[10-20-30-40-50]
Nombre de nœuds racines	1
Durée de la simulation(ms)	200000
Identité du nœud racine	1
Surface (mètres)	60x60
La fonction objective	MRHOF
Randomseed	123.456
delay (ms)	1.000
Mote types	Sky mote
Radio Environment	UDGM (Distance Loss)
topologie	Random

TABLE I
ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

D. Métriques d'évaluation

Les métriques suivantes sont utilisées pour évaluer les performances de RPL. Dans notre étude, nous avons pris en compte les métriques suivantes :

• **Taux de réussite (PDR) :**représente le rapport entre le nombre de paquets de données livrées à la racine et le nombre de paquets envoyés par les différents nœuds du DODAG.

$$Tauxderéussite = \frac{Nombredepaquetsreçus}{Nombredepaquetsémis}$$

• Taux de perte (PLR): représente le rapport entre le nombre de paquets de données perdus et la somme de paquets livrés et le nombre de paquets perdus.

$$Tauxdeperte = \frac{Nombredepaquetsperdus}{Nombredepaquetsémis}$$

• **Energie moyenne :** représente la somme d'énergie consommée par l'ensemble des nœuds du réseaux.

E. Amélioration de la fonction objective :

L'implémentation Contiki de RPL, définie deux fonctions objectives, mais par défaut elle utilise celle qui minimise les valeurs ETX. Il apparaît donc nécessaire de modifier la fonction objective en conséquence pour tenir compte de toute contrainte supplémentaire ou pour atteindre un objectif différent.

•**Problématique :** La métrique ETX comme ce qui est cité avant, est basée sur des liens multidimensionnels. C'est-à-dire, elle prend en compte les paramètres de qualité LTR (Link Transmission Reliability) et PRL (Packet Loss Rate). Idéalement, la valeur LTR serait élevée et la valeur PLR serait faible. Par conséquent, ETX=1. Statistiquement, cela signifierait qu'une seule tentative serait nécessaire pour réussir à transmettre un paquet via ce lien et donc aucune transmission répétée ne serait nécessaire. Autrement, la métrique LTR d'un lien dépend de l'énergie restante (RE) des nœuds liés, c'est-à-dire leurs métriques basées sur les RE. Le décroissement des

valeurs de RE conduit à une dégradation de la qualité du lien de telle sorte que les valeurs LTR diminuent, ce qui aide à augmenter la valeur de ETX. Ce qui pose un problème lors du choix du meilleur lien.

•**Solution Proposée :** Pour résoudre le problème posé ci-dessus, On propose d'optimiser la valeur de la métrique basée RE(Remaining Energy) des nœuds, en la utilisant comme paramètre d'une nouvelle fonction objective REOF qu'on va créer, cette dernière maximise la valeur de RE, pour choisir le meilleur itinéraire, sans avoir besoin de prendre une autre métrique comme ETX en considération.

• **Démarche à suivre :** Le simulateur Cooja comme étant une application fournit par un système d'exploitation offrant les droits de modification à leurs utilisateurs. IL autorise l'accès au code source écrit en langage C de certains fichiers. Pour notre amélioration, on s'intéresse par les fichiers contenus dans le répertoire /contiki/core/net/rpl/. - Ajout de la fonction objective REOF :

1) • Première étape : La première modification consiste à changer le nom de la fonction objective saisie dans le fichier Makefile.rpl et mettre le nom de notre fonction objective comme suivant :
   CONTIKI_ SOURCEFILES += rpl.crpl–dag.crpl–icmp6.c rpl– timers.c rpl–RE.crpl–ext–header.c
2) •Deuxième étape : On doit définir cette nouvelle fonction objective dans le fichier rpl-conf.h qui contient tous les entêtes nécessaires comme suivant :

$$\#define RPL_OF rpl_RE$$

   Pour que la nouvelle fonction objective prenne seulement la métrique énergie restante (RE) comme paramètre, il faut remplacer ETX par cette métrique, comme suivant :

$$\#define RPL_DAG_MC RPL_DAG_MC_ENERGY$$

3) • Troisième étape : Dans cette étape, on crée un nouveau fichier sous le nom REOF.c et on recopie dedans le fichier mrhof.c, et on redéfinit trois fonctions importantes parmi eux pour qu'elles soient utilisées seulement par la métrique énergie restante RE. Redéfinition des fonctions qui sont connues par RPL en tant que méthodes de base pour la création d'une fonction objective :
   On a décidé d'enlever la fonction neighbor_link_callback et mettre à sa place la valeur NULL dans le fichier RE.c. et redéfinir respectivement les fonctions calculate_path_metric, best_parent et calculate_rank. Le reste des fonctions reste impact.

- **La fonction calculate_path_metric :** Cette fonction calcule la métrique de chemin. Si aucun parent n'est présent, On retourne l'énergie restante du parent préféré. Puisque cette fonction est basée sur l'énergie alors la métrique de chemin est la somme de le valeur énergétique et la métrique du lien.
- **La fonction calculate_rank :** Cette fonction calcule le rang du nœud. Si le nœud est nul, on retourne une valeur infinie du rang. Sinon le rang calculé est basé sur le rang de base et la valeur du rank-increase qui est calculée en fonction de l'énergie du nœud racine, l'énergie du nœud préféré et l'énergie du nœud courant.
- **La fonction best_parent :**Cette fonction retourne le meilleur parent parmi deux parents passés en paramètres. Le choix du parent dépend de la valeur de l'énergie, tel qu'on retourne le parent ayant la plus grande valeur de l'énergie restante.

F. Résultats et discussions

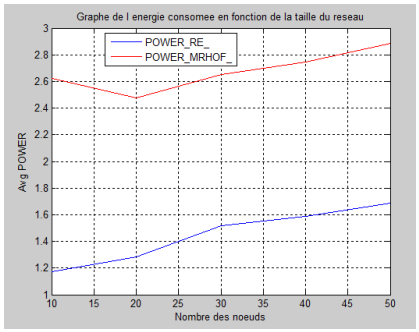


Fig. 5. L'énergie moyenne consommée par le réseau.

La figure 5 présente la consommation d'énergie en fonction de la taille de réseau selon les deux fonctions objectives étudiées, on remarque que la fonction REOF permet de réduire mieux l'énergie consommée d'une manière très optimale car elle est configurée avec la métrique d'énergie restante.

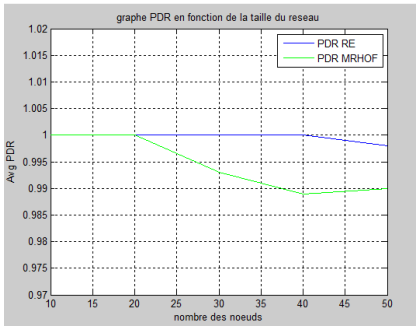


Fig. 6. Taux de livraison des paquets dans le réseau.

D'après la figure 6 on constate que pour cette fonction objective REOF, le taux de réussite des paquets est plus élevé en comparaison celui obtenu avec MRHOF tel que dans l'intervalle [10 à20] les deux fonctions garantissent un taux de réussite de 100% tandis que la fonction RE continue jusqu'au 40 nœuds dans le réseau de garantir un taux de réussite 100%.

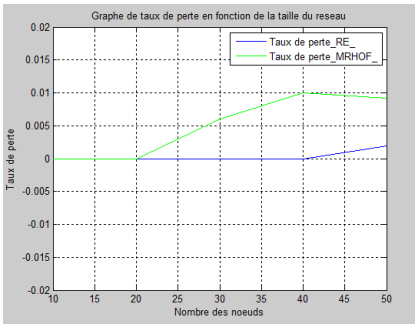


Fig. 7. Taux de perte des paquets dans le réseau.

Le taux de perte pour la nouvelle fonction REOF est stable en une valeur minimale donc il y a peu de perte des paquets par rapport aux résultats obtenus avec la fonction MRHOF. Ce qui signifie que la fonction objective REOF a une puissance de retransmission plus élevée.

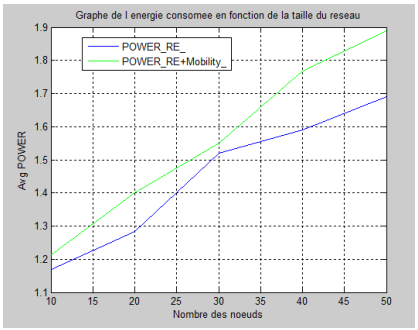


Fig. 8. l'énergie moyenne consommée par le réseau.

La figure 8 représente l'énergie moyenne consommée par le réseau en fonction de nombre des nœuds en comparent entre les deux scénarios étudiés : le premier la solution proposée (la fonction objective RE) dans un réseau statique, et le deuxième dans un réseau dynamique en ajoutant la mobilité des nœuds. On observe que l'énergie consommée augmente lorsque le nombre de nœud devient plus important, et le scénario RE_MOB qui consomme le plus d'énergie par apport au scénario RE on constate que la mobilité consomme d'énergie car lorsqu'un nœud se déplace et change fréquemment de parent préféré donc il se connecte au réseau à chaque fois qu'il change de position.

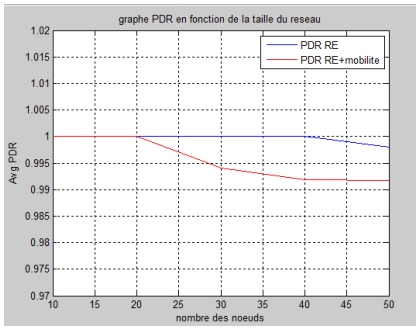


Fig. 9. Le taux de livraison des paquets dans le réseau.

Le réseau statique a surpassé le réseau mobile en termes de fiabilité, selon les résultats obtenus on remarque que le taux de livraison de paquets pour le scénario "RE" sont mieux que RE_MOB. Donc, le protocole RPL n'a pas été capable de faire face aux changements de topologie de manière raisonnable.

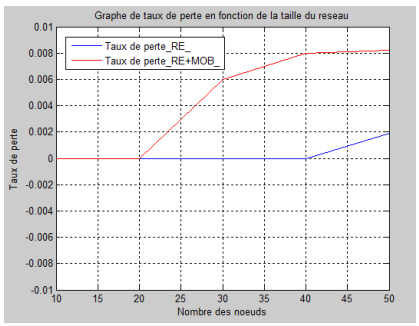


Fig. 10. Taux de perte des paquets dans le réseau.

La figure 10 affiche le taux de perte moyen de paquets pour les deux scénarios. Sur la base du nombre de nœuds dans le réseau, le taux de perte augmente lorsque la taille de réseau augmente, ainsi on remarque que le scénario RE_MOB est moins performant que le scénario "RE" car avec la mobilité, les positions des nœuds capteurs et de nœud puit changent au fil du temps. Cela peut causer perte de connectivité lorsque les nœuds capteurs sont hors de portée de ses nœuds parents. Le nœud ne peut pas livrer les paquets au parent et les abandonne, ceci provoque la suppression et la perte des paquets.

Les scénarios des nœuds mobiles montrent une diminution significative des performances par rapport aux scénarios des nœuds statiques le principal problème est l'apparition fréquente des changements dans la topologie du réseau dynamique.

CONCLUSION

Dans ce travail, la performance de RPL est évaluée en termes de qualité de service dans l'IoV en utilisant une nouvelle fonction dérivé de MRHOF RE en étudiant la mobilité de réseau, les métriques de routage énergie , et certaines métriques de simulation : l'énergie consomée , PDR et taux de perte. Les résultats obtenus avec l'émulateur Cooja. Cette fonction est plus optimale que MRHOF utilisée avant,

car on a eu un nombre moyen fixe de retransmission de paquets(ETX) avec un taux de réussite plus élevé. Tout cela montre que l'optimisation de l'énergie restante représente un facteur majeur pour obtenir une valeur plus déminuée de ETX et une forte amélioration des performances de RPL en utilisant seulement l'énergie restante comme paramètre pour cette fonction, tout en garantissant l'envoi des paquets avec les bonnes conditions.

REFERENCES

[1] Bamogo, Abdoul Fatas and Poda, Pasteur, "Optimizing RPL Routing By A Multi-Metric Combination,",2020 .

[2] Sanmartin, Paul and Rojas, Aldo and Fernandez, Luis and Avila, Karen and Jabba, Daladier and Valle, Sebastian, "Sigma routing metric for RPL protocol,",2018.

[3] Shakya, Nikesh Man and Mani, Mehdi and Crespi, Noel, "SEEOF: Smart energy efficient objective function: Adapting RPL objective function to enable an IPv6 meshed topology solution for battery operated smart meters,",2017 .

[4] Vasseur, Jean-Philippe and Kim, Mijeom and Pister, Kris and Dejean, Nicolas and Barthel, Dominique, "Routing metrics used for path calculation in low-power and lossy networks," ,2012.

[5] Musaddiq, Arslan and Zikria, Yousaf Bin and Kim, Sung Won, "Energy-aware adaptive trickle timer algorithm for RPL-based routing in the Internet of Things," ,2018.

[6] Iova, Oana and Theoleyre, Fabrice and Noel, Thomas, "Improving the network lifetime with energy-balancing routing: Application to RPL,",2014 .

[7] Araujo, Harilton da Silva and Filho, Raimir Holanda and Rodrigues, Joel JPC and Rabelo, Ricardo de AL and Sousa, Natanael de C and Filho, José CCLS and Sobral, José VV, "A proposal for IoT dynamic routes selection based on contextual information,",2018 .

[8] Golestan, Keyvan and Soua, Ridha and Karray, Fakhri and Kamel, Mohamed S , "Situation awareness within the context of connected cars: A comprehensive review and recent trends", Information Fusion,2016,pages 68–83.

[9] Indu, Sibaram Khara, "Internet of vehicles (IoV): evolution, architecture, security issues and trust aspects,",2019 .

[10] Elkhalil, Ahmed and Zhang, Jiashu and Elhabob, "An efficient heterogeneous blockchain-based online/offline signcryption systems for internet of vehicles,",2021 .

[11] Karl, Holger and Willig, Andreas ,"Protocols and architectures for wireless sensor networks",2007.

[12] García-Hernández, Carlos F and Ibarguengoytia-Gonzalez, Pablo H and García-Hernández, Joaquín and Pérez-Díaz, Jesús A,"IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security ",2007, pages 264–273.

[13] Li, Yingshu and Thai, My T, "Wireless sensor networks and applications," ,2008.

[14] Akyildiz, Ian F and Su, Weilian and Sankarasubramaniam, Yogesh and Cayirci, Erdal, "A survey on sensor networks,",2002 .

[15] Ali, Mahamat-Saleh Abdoulaye, "Estimation de la Qualité de Lien dans RPL," ,2008.

[16] MESSAOUDI, Mr MA and BENZERBADJ, Mr A, "OPTIMISATION DU ROUTAGE DANS LES RÉSEAUX LLNs," .