
Rapport d'avancement du projet multidisciplinaire

MAKE LORA RELIABLE AGAIN

Préparé par :

**Charbel Abou Younes
Mario Haroun
Romy Khneisser
Juliana (El) Rayess
Walid Samaha**

Encadrant(s):

**Dr. Kinda Khawam
Dr. Samer Lahoud**

16/05/2019

École Supérieure d'Ingénieurs de Beyrouth
Université Saint-Joseph de Beyrouth

Abstract

L'Internet en générale repose sur de hautes et rapides consommations sur les différents plans. Le défi de l'IoT réside dans le fait de pouvoir relier n'importe quel équipement ou objet (Ang : device) ayant une faible consommation d'énergie et une longue autonomie de batterie à l'Internet.

Ces objets, reliés d'habitude à des capteurs vu qu'ils sont placés la plupart du temps dans l'environnement, prennent les données (Data) et les envoient via une connexion sans-fil. Ces données atteignent le serveur qui les traite puis vient le tour de l'analyse et de la visualisation.

Le défi principal repose donc sur le fait de pouvoir acheminer ou faire parvenir ces données.

Il existe un protocole très attractif ayant pour nom LoRa, basé sur la modulation, dont le grand avantage repose sur le fait de pouvoir envoyer des données (Data) sur de grandes distances à de basses puissances. Certes on a un compromis quelque part : le débit (Data Rate) est faible de quelques bits/sec. La technologie utilisée étant simple, on a une grande simplification au niveau de l'accès au medium. L'accès se fait par contention suivant ALOHA : méthode d'accès facile permettant à chaque objet de parler quand il veut et augmentant ainsi la probabilité de collision. Aujourd'hui on n'a pas de reliability (fiabilité), on a un best effort et un random access (accès aléatoire). Notre objectif dans cette étude est d'augmenter la fiabilité de LoRa. Afin de rendre LoRa plus fiable on va s'intéresser à plusieurs méthodes tout en évitant les changements radicaux dans le protocole :

1. La première méthode consiste à envoyer le message sans avoir recours à l'Acquittement
2. La deuxième méthode consiste à demander un Acquittement : on demande au système de nous prévenir si le message est arrivé.
3. La troisième méthode consiste à répéter le message plusieurs fois (3 fois de suite).

Chaque méthode sera testée en fonction du nombre d'équipements terminaux qui sont présents dans le réseau, et on s'attend à pouvoir prédire la meilleure méthode pour chaque cas de figure. Ainsi la fiabilité dans LoRa augmentera dépendamment de nombre d'équipement dans le réseau et de la méthode choisie. Toute cette étude sera visualisée sur une page web ou des graphes révélateurs fournissent les résultats de l'expérience souhaitée.

Les résultats obtenus constitueront une avancée sur une voie que de précédentes recherches n'ont pas encore abordées complètement.

Remerciements

C'est avec un immense plaisir et une grande reconnaissance que nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont permis à ce projet d'aboutir. Nous devons notre grande gratitude à nos encadrants Dr. Kinda Khawam et Dr. Samer Lahoud : Pour leur présence à nos côtés, pour leur soutien, pour leur expertise et pour leur dévouement. On a certes appris de leur savoir une leçon qu'on retiendra pour toute une vie. On espère ainsi dans ce rapport leur témoigner notre bonne volonté et notre assurance pour faire valoir la confiance qu'ils ont placée en nous.

Contents

Abstract.....	2
Remerciements.....	3
Liste des Figures	5
Liste des tables.....	6
Acronymes.....	7
Symboles	8
1 Introduction	9
2 Le projet en quelques mots (Project Facts and Figures).....	9
3 Recherches Antérieures.	11
4 Exigences et Contraintes.....	12
4.1 Exigences Fonctionnelles	12
4.1.1 Plateforme Graphique Flexible et Extensible	12
4.1.2 Environnement LoRaWAN Réel	12
4.1.3 Backend Performant	13
4.2 Contraintes	13
5 Project Management.....	14
6 Solution Proposée	16
6.1 Techniques pour la Pratique d'Ingénierie	18
6.2 Compétences pour la Pratique d'Ingénierie	18
6.3 Modifications et solutions alternatives :	19
6.3.1 Méthodes et Modifications	19
Méthode 1 : Sans Acquittement	19
Méthode 2 : Avec Acquittement.....	19
Méthode 3 : Redondance ou Répétition	19
6.4 Solutions Alternatives	19
7 Tests et Améliorations	20
7.1 Les premiers tests	20
7.2 Vers un échantillon plus grand	22
8 Impact de la Solution	24
9 Conclusion	24
10 Bibliographies	25

Liste des Figures

Figure 1. Architecture du réseau LoRaWAN	11
Figure 2. Graphe de Gantt	14
Figure 3. Répartition des tâches sur Trello	15
Figure 4. Schéma Bloc	16
Figure 5. Page Web du projet	17
Figure 6. Packets Line Chart	20
Figure 7. Graphes comparatifs de deux méthodes	21
Figure 8. Graphes comparatifs des trois méthodes	22
Figure 9. Graphe représentant le nombre de paquets reçus face au nombre de paquet effectivement transmis.....	23

Liste des tables

Table 1- Membres du groupe	10
Table 2- Reunions	11
Table 3- Etude du nombre de message/ms selon le SF	18
Table 4- Résultats	22
Table 5- Résultats 2	23

Acronymes

SF	Spreading Factor
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
HTTP	HyperText Transfer Protocol
JSON	JavaScript Object Notation
NoAckL	No Acknowledgment Low
NoAckM	No Acknowledgment Medium
NoAckH	No Acknowledgment Heavy
AckL	Acknowledgment Low
AckM	Acknowledgment Medium
AckH	Acknowledgment Heavy
RedL	Redundancy Low
RedM	Redundancy Low
RedH	Redundancy Low

Symboles

<i>Max</i>	Maximum
<i>Min</i>	Minimum

1 Introduction

Le monde tel qu'on le connaissait hier n'est pas celui qu'il est aujourd'hui ; et celui qu'on connaît aujourd'hui n'est sûrement pas le même qui sera demain. Quand on pense à cette évolution complète que subit notre ère ; des termes émergent comme explication : l'Internet, la technologie, les objets physiques, l'intelligence artificielle, le Big Data, l'IoT et bien d'autres encore.

L'internet, à elle seule, a pu propulser les avancées techniques et même le monde entier vers un siècle qu'on peut qualifier de numérique. Qu'advient-il quand les objets physiques qui sont présents dans notre quotidien, qui sont essentiels ou même juste surviennent à nos simples besoins, seront reliés à un réseau mondial qui n'a pas d'égal, à l'Internet. L'histoire ne s'arrête pas là, cette idée a été conçue et voilà qu'à présent l'Internet des Objets acquiert une place au premier rang dans le domaine de la recherche et même de l'implémentation. Cependant, comme toutes les technologies des défis restent à surmonter.

Le défi de l'IoT réside dans le fait de pouvoir relier n'importe quel équipement ou objet (Ang : device) ayant une faible consommation d'énergie et une longue autonomie de batterie à l'Internet. Le protocole très attractif utilisé est LoRa qui comporte une grande simplification au niveau de l'accès diminuant ainsi la fiabilité. On a tendance à penser que pour pouvoir survivre il faudrait peut-être que ce protocole gagne en fiabilité. Ceci reste une hypothèse mais c'est une voie sur laquelle il faudra s'engager afin d'explorer au mieux les ressources que cette technologie a à offrir. Dans ce projet, nous allons tenter d'identifier plusieurs méthodes et de réaliser divers tests pour comprendre mieux comment la fiabilité dans le protocole LoRaWAN évolue. En essayant de visualiser les résultats sur des graphes révélateurs, qui, nous l'espérons apporteront des réponses à des questions qui n'en n'ont pas trouvées encore. En quelques mots, le titre du projet résume bien le tout « Make LoRa Reliable Again ».

2 Le projet en quelques mots (Project Facts and Figures)

Les membres de l'équipe qui veilleront à l'aboutissement de ce projet sont les suivants :

Nom et Prénom	Affiliation	Sujet
Charbel Abou Younes	Génie Logiciel	Elaborer une interface graphique et un serveur qui gèrent les tests et regroupent les données.
Mario Haroun	Réseaux et Télécommunications	Concevoir une plateforme de mesure permettant de reproduire les conditions de déploiement de LoRaWAN selon trois méthodes scientifiques. Concevoir l'implémentation des différents scénarios de mesures.
Romy Khneisser	Génie Logiciel	Elaborer une interface graphique et un serveur qui gèrent les tests et regroupent les données.
Juliana (El) Rayess	Réseaux et Télécommunications	Concevoir une plateforme de mesure permettant de reproduire les conditions de déploiement de LoRaWAN selon trois méthodes scientifiques. Concevoir l'implémentation des différents scénarios de mesures.

Walid Samaha	Génie Logiciel	Elaborer une interface graphique et un serveur qui gèrent les tests et regroupent les données.
--------------	----------------	--

Tableau 1

Afin de bien gérer l'acheminement du projet, les membres de l'équipe se réunissent de façon officielle, avec leurs encadrants, une fois par semaine. [1]Le tableau ci-dessous relate les idées clefs de chaque réunion.

Meeting Number	Participants	Place	Discussed topics
1 (18/2/2019)	Charbel Abou Younes Mario Haroun Romy Khneisser Juliana (El) Rayess Walid Samaha	ESIB-Mar Roukos Département Informatique-salle 2	Introduction globale. Objectif du projet. Méthodes scientifiques. Défis à relever.
2 (26/2/2019)	Charbel Abou Younes Mario Haroun Romy Khneisser Juliana (El) Rayess Walid Samaha	ESIB-Mar Roukos Département Informatique-salle Murex	Presentation LoRaWAN. Schema Bloc. Etude d'un scenario (Méthode 1)
3 (5/3/2019)	Charbel Abou Younes Mario Haroun Romy Khneisser Juliana (El) Rayess Walid Samaha	ESIB-Mar Roukos Département Informatique-salle 2	Démonstration de la connexion établie entre MQTT et une base de données MongoDB. Définir les paramètres et les critères de mesure à utiliser. Etude d'un scenario – Approche Jammers
4 (15/3/2019)	Mario Haroun Romy Khneisser Juliana (El) Rayess Walid Samaha	ESIB-Mar Roukos Département Informatique-salle PC0	Démonstration du code du Jammer et du code de l'end-device. Penser à l'implémentation de la distribution de Poisson. Comparaison de Flask et Sanic avec la méthode de CPU Benchmarking et le résultat se révèle en faveur de Flask.
5 (21/3/2019) Réunion dédiée télécoms	Mario Haroun Juliana (El) Rayess	ESIB-Mar Roukos Département Informatique-salle Murex	Présentation: -Implémentation de la distribution de Poisson dans le code du jammer -Amélioration du code du device. -Aboutissement à des résultats préliminaires.
6 (26/3/2019)	Charbel Abou Younes Mario Haroun Romy Khneisser Juliana (El) Rayess Walid Samaha	ESIB-Mar Roukos Département Informatique-salle Murex	Démonstration de Angular (Front end) Définir la façon d'implémenter les mesures sur le Front end et le Back end (get measurement et login)
7 (16/4/2019)	Charbel Abou Younes Mario Haroun Romy Khneisser Juliana (El) Rayess Walid Samaha	ESIB-Mar Roukos Département Informatique-salle Murex	Finalisation de la méthode 2 celle de l'acquittement et conception d'un compteur qui a pour but de compter le nombre de retransmission.

8 (30/4/2019)	Charbel Abou Younes Mario Haroun Romy Khneisser Walid Samaha	ESIB-Mar Roukos Département Informatique-salle Murex	Démonstration des graphes et de l'interface graphique et discussion sur les avancées de la méthode 3.
9 (7/5/2019)	Charbel Abou Younes Mario Haroun Romy Khneisser Juliana (El) Rayess Walid Samaha	ESIB-Mar Roukos Département Informatique-salle 2	Finalisation de la méthode 3 : répétition et démonstration des graphes qui ont été générés par des mesures préliminaires. Etablir un objectif clair pour le prochain sprint : mesures à grande échelle et implémentation d'un nouveau type de graphe regroupant les résultats.
10 (14/5/2019)	Charbel Abou Younes Mario Haroun Juliana (El) Rayess	ESIB-Mar Roukos Département Informatique-salle Murex	Démonstration des résultats concluants et clôtures du projet.

Tableau 2

3 Recherches Antérieures.

En 2012, Semtech, société américaine, rachète le startup Grenobloise Cycleo et crée la technologie LoRa. Cette dernière consiste à standardiser un protocole d'échange radio, longue portée et économe en énergie qui sera par la suite utilisé dans l'internet des objets. [2] Une modulation à étalement de spectre de type CSS, Lora utilise une variation de fréquence linéaire permettant aux récepteurs de lutter contre les interférences. Définissant un facteur d'étalement noté SF fixé par le serveur lors de la connexion au réseau, son augmentation permet de couvrir une plus grande distance. Il a également son rôle à jouer dans le fait de lutter contre les interférences. Il est ainsi utilisé pour augmenter la sensibilité du device ou de l'antenne. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, LoRa n'est pas à l'abri des compétiteurs. NB-IoT et Sigfox se battent également afin de protéger leurs terrains dans le domaine de l'IoT. [3]

LoRaWAN est une technologie basée sur la modulation Lora. Permettant de connecter des objets ayant une longue autonomie de batterie, une faible consommation d'énergie, pouvant communiquer à de longues distances mais à faible débit. La topologie de LoRaWAN est dite en étoile d'étoiles car un serveur applicatif est connecté à une multitude de passerelles elles-mêmes connectées à une multitude d'équipements terminaux. Ses principales caractéristiques qui nous intéressent dans ce projet sont les suivants : un accès par contention de type ALOHA, le Duty Cycle et des équipements de classe A.

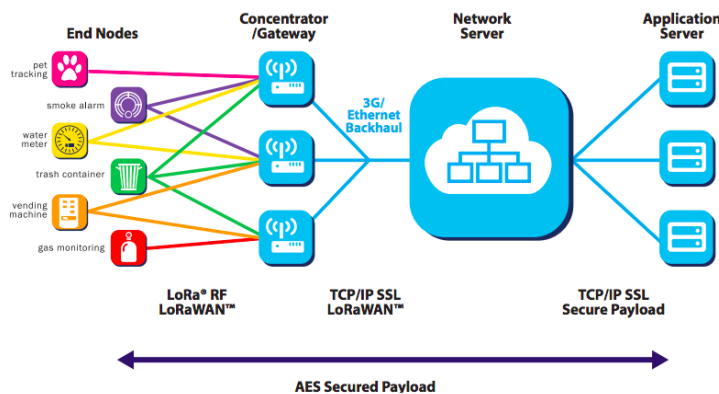


Figure 1 - Architecture du réseau LoRaWAN

Sujet à plusieurs recherches concernant sa capacité, ses performances [4] et mêmes ses limitations [5], LoRa est le centre d'étude de plusieurs recherches. Dans l'étude de l'article « Scalability Analysis of Large-Scale » [4] les chercheurs ont élaborés un modèle d'erreur tout en changeant à plusieurs reprises le SF pour ensuite observer le tout à grande échelle en s'intéressant à la voie descendante. Ce qui nous a poussé dans le cadre de notre projet à penser au fait de suivre le comportement des différentes méthodes suivant le nombre de devices qui pourraient être présent. Dans l'article « Understanding the Limits of LoRaWAN » [5] les applications qui sont propices pour LoRaWAN sont nettement mis en avant tel le domaine de l'agriculture ou des villes intelligentes mais ces points faibles font également l'objet d'une recherche : il est question d'applications critiques telles que l'autonomie industriel où cette technologie serait peut-être fatale. Un point fort intéressant qui, peut-être, pourra trouver le début d'une solution grâce à notre étude.

Une étude récente publiée sur le site de IEEE le 13 mars 2018 évoquerait même une solution relevant le défi de la fiabilité en proposant une nouvelle couche MAC RS-LORA. [6]

Les recherches concernant une étude menée à l'ESIB dans le cadre de notre projet, n'ont pas de précédent. Changer le mode d'accès de LoRa, comparer plusieurs méthodes d'accès qui sont susceptibles de marcher, visualiser, comparer et interpréter des résultats qui pourraient être proches de certaines déductions faites dans des articles ; mais qui pour la première fois seraient explicites, écrits noir sur blanc mais aussi visualisés et bien tracés.

4 Exigences et Contraintes

4.1 Exigences Fonctionnelles

4.1.1 Plateforme Graphique Flexible et Extensible

La plateforme créée sera capable de conduire les mesures (basées sur LoRaWAN) en prenant en entrée des paramètres comme le temps souhaité et la méthode choisie. Ce grand choix de mécanismes et de paramètres permettra l'obtention de résultats uniques, qui serviront à l'analyse et à la comparaison avec d'autres expériences déjà faites. Les résultats devront être fournis sur différents graphes révélateurs fournissant plusieurs critères en sortie notamment le nombre de paquets reçus et ceux qui sont perdus pour chaque méthode ou bien même les résultats d'une seule mesure qui se révèle intéressante à l'utilisateur et dont il aimerait en savoir plus. Cette plateforme servira comme lien entre le client, qui souhaite tester la fiabilité d'un mécanisme désiré, offert ou non offert par LoRaWAN, et le réseau, responsable de l'envoi de paquets conformément aux exigences du client.

4.1.2 Environnement LoRaWAN Réel

Créer un environnement proche de la réalité en ce qui concerne la technologie LoRaWAN. En d'autres termes, utiliser un ou plusieurs « Jammer » qui aideront à créer l'effet produit par un grand nombre d'utilisateurs communicant sur le même réseau. Cet environnement servira à tester la fiabilité d'une communication établie par un ou plusieurs « End-Device » en transmettant un certain message. Pour aller plus loin, nous envisageons également de faire en sorte que le jammer crée, selon le cas, soit un lourd trafic soit un trafic moyen soit un trafic de petite taille ce qui nous permettra de poursuivre l'étude selon la variation d'échelle du nombre de devices présents dans un même réseau.

4.1.3 Backend Performant

Notre chaîne de communication, lancée à partir des end-devices pour en finir avec la plateforme, est formée par plusieurs blocs connectés, dont l'objectif est d'assurer un temps de traitement assez minime tout en exécutant les fonctions dont elle est responsable, comme l'enregistrement et l'affichage de données, le traitement de ces données, etc. Pour cela, on va utiliser Flask Application dans un serveur (Azure). Flask est un moyen d'écrire notre Python code pour assurer la connectivité permanente avec notre serveur MQTT.

4.2 Contraintes

Les contraintes sont une entité qui se fauillent dans chaque projet, dans chaque recherche et dans chaque étude. Sans elles, le projet ne serait peut-être pas un. Pour le nôtre, les contraintes à surmonter et dont il faut tenir compte sont les suivantes :

- **Créer un environnement propice** : La limitation en ressource et l'incapacité humaine de pouvoir gérer un grand nombre de dispositifs, nous a poussé à implémenter une méthode logique et réelle capable de représenter le comportement aléatoire d'une multitude d'appareils communicant en même temps. L'implémentation d'un nombre limité de dispositifs, entre Jammers et End-Devices, représente d'une façon approchée le réseau réel.
- **Trouver un serveur** : Le besoin d'un serveur est essentiel pour le fonctionnement de notre projet mais un peu contraignant. On est parvenu à trouver plusieurs services cloud gratuits pour les étudiants (comme Azure et AWS pour une durée d'un an), qui seront très utiles pour la progression de notre étude.
- **Modifier dans la librairie LMIC** : Les méthodes qui seront implémentées sollicitent un changement à la source, c'est le code de la librairie, du standard même qui sera modifié. C'est comme s'engager dans un terrain caché, ignoré de la majorité sans pour autant savoir ce qui nous attend à chaque modification et vers où la flexibilité à manipuler ce code nous mènera-t-elle.
- **Se trouver dans une zone géographique bien spécifique** : Les tests sont menés avec la station de base placée tout en haut de la tour de l'ESIB et pour effectuer chaque test, chaque mesure il faut être relativement dans les environs de l'université. Une contrainte qui au début paraît anodine mais qui aura son ampleur au fur et à mesure que le projet avance, et est surtout mise en relief à cause de la contrainte qui viendra juste au-dessous.
- **Faire attention aux temps nécessaires pour réaliser les mesures** : Afin de pouvoir atteindre des statistiques fiables et des résultats concluants il est impératif de tester les méthodes plusieurs fois. Les statistiques qu'il faut réaliser dans ce projet, à savoir : lancer plusieurs mesures pour chaque méthode requiert un volume horaire très lourd qu'il faudra prendre en compte pour ne pas être dépasser par les heures qui passent.

5 Project Management

Puisque ce projet requiert plusieurs compétences, savoir gérer les différentes tâches est essentiel pour sa continuité et sa progression. Le schéma ci-dessous montre l'organisation qu'on avait prévu pour notre projet et qu'on a tenu à respecter :

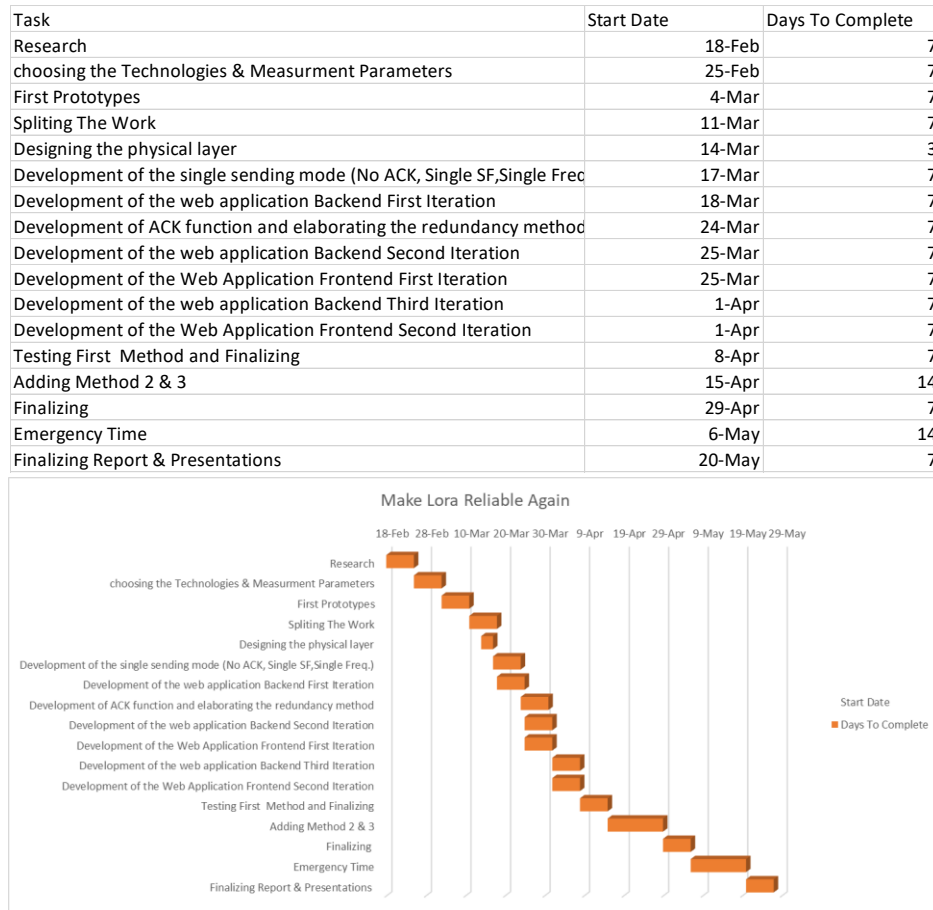


Figure 2 - Graphe de Gantt

Les 5 principales étapes d'une bonne gestion de projet sont :

1. Découper le projet et définir la liste des tâches.
2. Définir l'enchaînement logique des tâches.
3. Ajouter les durées et des contraintes sur certaines tâches et intégrer des tâches externes.
4. Définir et attribuer les ressources.
5. Planifier et assurer le suivi du projet.

C'est pour cette raison qu'on a utilisé la méthode agile de Trello. Trello offre tous les outils nécessaires pour la réalisation de cette méthode efficace dans le cadre de notre projet en divisant les tâches entre « To Do », « Doing » et « Done », en attribuant à chaque tâche une durée, une ou plusieurs personnes responsables, une brève description et une étiquette qui indique la nature de cette tâche en question.

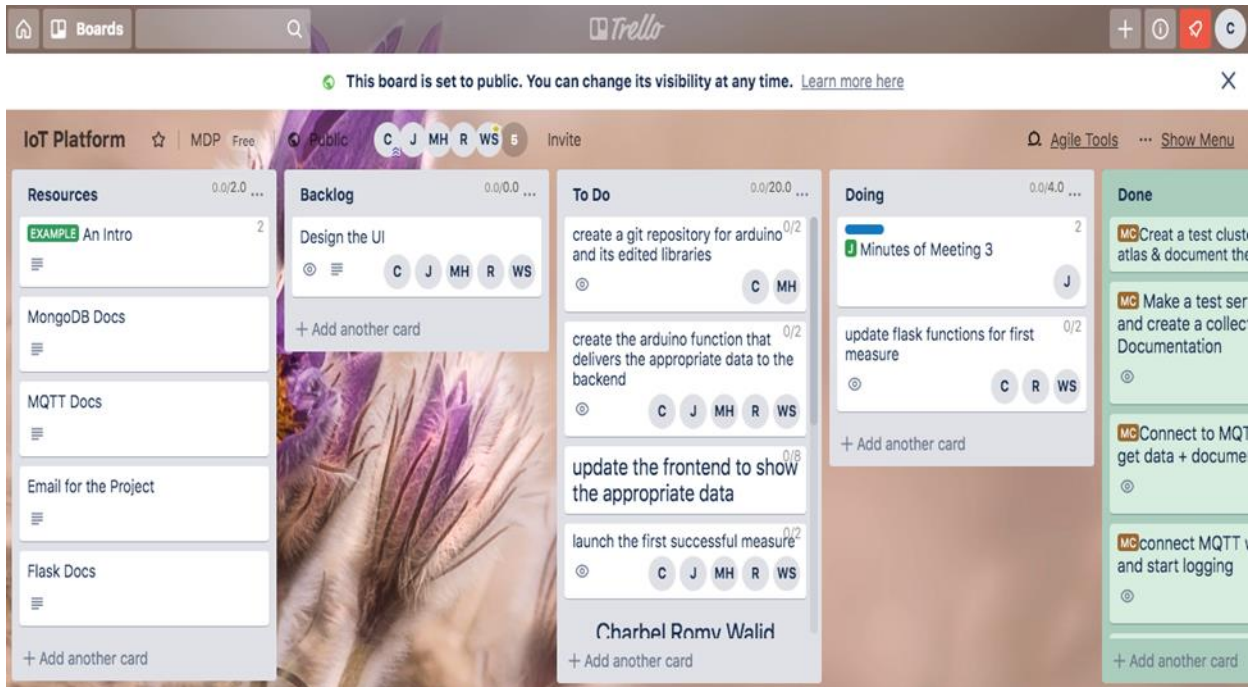


Figure 3 - Répartition des tâches sur Trello

1. **Ressources** : c'est où nous pouvons mettre des links / PDF/ documentation sur tout ce qui peut être utile pour les autres membres de l'équipe.
2. **Blocked** : c'est l'endroit où nous mettons les tâches qui sont bloquées (Peut-être avons-nous besoin de plus de recherche, etc.)
3. **Backlog** : c'est l'endroit où nous mettons toutes les tâches à accomplir.
4. **Questions** : c'est la section où nous posons nos questions à nos coéquipiers ou juste les écrire explicitement de peur de les oublier.
5. **To Do** : c'est l'endroit où nous organisons notre travail et ce que nous pensons faire dans les 1 à 2 prochaines semaines.
6. **Doing** : Ce que nous faisons en ce moment.
7. **Done** : C'est l'endroit où nous mettons fièrement nos tâches accomplies.

En quelques mots nous avons donc opté pour la méthodologie agile. Cette méthodologie est la plus utilisée en industrie. Et surtout dans le développement de logiciels.

Cette méthodologie se caractérise par :

- **La qualité** : Les tests sont intégrés tout au long du cycle de vie, permettant l'inspection régulière du produit en cours de développement au cours de son développement.
- **Identification précoce et résolution des problèmes** : De petites mises à jour incrémentielles.
- **Versions itératives, communication, intégration continue** : Nous avons fixé plusieurs Milestone au cours du développement et nous avons tenus des meetings hebdomadaires avec nos encadrants.

De plus, GitHub est un moyen additionnel responsable de la distribution des différentes versions de notre projet, puisqu'on utilise plusieurs codes pour différents domaines. Quant aux documents

regroupant les articles de références, les rapports des réunions et les présentations déjà faites, c'est sur Slack qu'ils se regroupent.

L'éventuelle possibilité d'envisager un retard dans une tâche est amorti par le fait que Trello s'occupera d'avertir une personne que sa tâche arrive à échéance, donc pas la peine de s'en faire. Cependant, un éventuel cas urgent pourrait se présenter empêchant une personne d'accomplir une tâche spécifique, c'est pour cela que dans ces moments l'esprit de groupe opère afin de nous épauler les uns les autres. Quant au conflit il n'a pas lieu d'être si les tâches sont réparties par entendement avant chaque sprint, quant à l'esprit critique scientifique, il est certes entendu et mis en place afin de joindre les idées non de les séparer.

6 Solution Proposée

Notre projet peut être divisé en deux grandes parties :

En premier, la couche physique responsable de l'envoi des trames LoRaWAN selon la méthode souhaitée. Cette fonction est assurée par deux Arduino (Duemilanove ou Mega 2560) équipé chacun par un « Dragino LoRa Shield », le premier permettant d'envoyer les trames physiques et l'autre responsable de brouiller la communication entre l'envoyeur et l'ESIB LoRaWAN gateway. Cette partie est gérée par l'équipe des Telecom, Juliana et Mario.

La deuxième partie, une application web responsable de la présentation des différentes mesures effectuées, formée par un Backend qui traite et enregistre ces données, ainsi que d'un Frontend qui visualise les requêtes souhaitées par l'utilisateur. Ce travail a été fait par Charbel, Romy et Walid, l'équipe spécialisée en informatique.

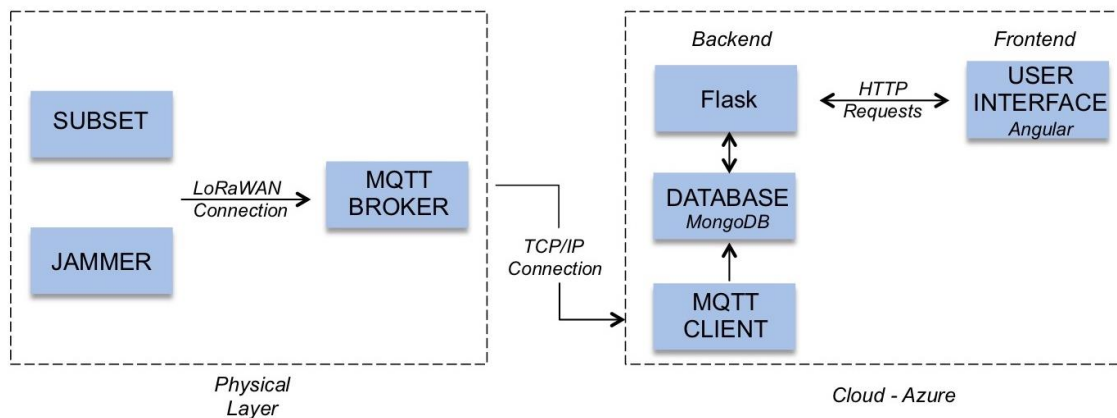


Figure 4 - Schéma Bloc

Le problème rencontré dans n'importe quel envoi utilisant la technologie LoRaWAN est le suivant : la collision des paquets. Ce problème est inévitable dans le cas d'un grand nombre d'utilisateurs communiquant sur la même fréquence et le même facteur d'étalement.

Notre solution offre la chance pour toute application LoRaWAN de pouvoir, selon la méthode d'envoi désirée (sans acquittement, avec acquittement ou redondance), d'avoir un aperçu sur le taux de fiabilité et la consommation physique du choix pris. Toutes ces données collectées seront visualisées sur notre application web à l'aide d'une multitude de graphes et de données réelles à la disposition de l'utilisateur. Cette visualisation aidera l'utilisateur à prendre le choix optimal qui répond au mieux aux contraintes exigées par son application.

En ce qui concerne l'exécution, on a créé un scénario proche de la réalité : un appareil envoyant à la station de base dans un environnement configurable plusieurs messages créant ainsi une congestion sur le canal. Cet équipement appelé brouilleur ou jammer.[9]

La programmation de plusieurs scripts sur Ardiuno IDE pour les trois méthodes d'envoi a été créé à l'aide de la librairie LMIC, produite par IBM [7]. Ainsi qu'on a effectué des modifications concernant la librairie elle-même, pour répondre aux contraintes demandées par chaque méthode, et réduire le duty-cycle afin d'accélérer les tests accomplis.

On a aussi utilisé MQTT.fx, une application qui nous permet de nous connecter au MQTT broker pour surveiller l'envoi des paquets. De même qu'on a eu accès au serveur LoRaWAN de l'ESIB pour créer une application propre à notre projet.

En parallèle, l'équipe informatique a développé une application web basée sur un Backend et Frontend performants, accessible à l'aide du cloud Azure.

Le Backend assure la connexion avec MQTT, à l'aide d'un web framework, appelé Flask, utilisé pour démarrer le Python script pour traiter les données provenant du MQTT. wrk est un outil d'analyse comparative HTTP moderne capable de générer une charge importante lorsqu'il est exécuté sur un seul processeur multicœur. Il associe une conception multithread à des systèmes de notification d'événement évolutifs. À l'aide de wrk, on a comparé Flask, Sanic et Falcon en prenant le nombre de requêtes par seconde, le débit par seconde et en générant plusieurs Threads. En testant sur notre localhost, Flask était le meilleur. Les données traitées seront ensuite sauvegardées dans des bases de données grâce au service offert par MongoDB, classées selon leur méthode d'envoi. De plus, MongoDB traite facilement le format JSON provenant du MQTT Broker. Ces collections de mesures seront ensuite visualisées à l'aide du Frontend utilisant Angular pour permettre à l'utilisateur de retrouver les résultats qui l'intéressent.

Enfin, le produit final sera une page web capable de visualiser n'importe quelle mesure et de la comparer à une autre pour prendre la meilleure décision, ou même comparer de façon parallèle toutes les mesures sur différentes échelles.

The screenshot shows a web application interface for 'IoTPlatform'. On the left is a dark sidebar menu with options: 'Create Main Measure', 'Main Analysis', 'Create Detailed Measure', 'Detailed Analysis', 'Visualise Raw Data', 'Detailed Measures History', and 'Log out'. The main content area is titled 'Create Measurement' and contains three rows of input fields:

Measurement Type	Start Date	End Date
No Acknowledge :	Start Date ex:2019-04-18T10:57	End Date ex:2019-04-18T10:59:00
Acknowledge :	Start Date ex:2019-04-18T10:57	End Date ex:2019-04-18T10:59:00
Redundancy :	Start Date ex:2019-04-18T10:57	End Date ex:2019-04-18T10:59:00

Figure 5 - Page Web du projet

D'une autre part coder en TypeScript et Python a été très utile pour pouvoir manipuler les données ainsi que pour la production de l'application web.

Enfin, savoir analyser les résultats obtenus clôture les compétences demandées dans ce projet.

6.3 Modifications et solutions alternatives :

Cette recherche nous a poussé à modifier la librairie LMIC de base utilisée lors de l'envoi de trames ainsi que d'autres modifications cruciales, comme la réduction du Duty-Cycle dans toutes les librairies, qui nous ont aidé à effectuer nos différentes mesures :

6.3.1 Méthodes et Modifications

Méthode 1 : Sans Acquittement

Dans cette méthode, l'end-device envoie le message à la station de base sans attendre en retour l'acquittement. Ce qu'on a modifié dans la librairie est le duty-cycle, et on a ajouté dans le code une fonction `forceTxSingleChannelDr()` pour pouvoir envoyer sur une seule fréquence et en utilisant le même facteur d'étalement. Le but de cette modification était de tester les limitations de cette technologie. De plus, cette méthode permet l'envoi de trame LoRaWAN sans recevoir un message d'acquittement ; l'appareil obtient l'accès au réseau puis envoie ses données sans complexité.

Méthode 2 : Avec Acquittement

La méthode d'acquittement consiste l'envoi d'un message de validation à l'End Device après la réception du message uplink. Si le message d'acquittement n'a pas été reçu, due à la collision de ce message ou la collision initiale du message uplink avec les brouilleurs, l'End-Device le réémet au maximum 8 fois pour ensuite passer au message suivant.

Pour réaliser cette méthode d'envoi, on a modifié la librairie LMIC de façon à ce qu'après une retransmission, le facteur d'étalement reste le même tout en gardant dans notre Arduino script `forceTxSingleChannelDr()` active et en faisant passer `confirmed` de `LMIC_setTxData2` à 1. Cette modification a eu lieu dans `lmic.c` en passant les `confirmed` frames de 0,0,1,0,1,0,1,0,0 à des 0, sans effectuer ce changement les répercussions seront les suivantes : la première transmission garde le même SF, la deuxième retransmission aussi mais la troisième passera à un facteur d'étalement supérieur, de même pour le reste.

Méthode 3 : Redondance ou Répétition

On a implémenté la redondance d'une façon à ce que lors de l'envoi d'un message, ce message est transmis 3 fois automatiquement.

Ainsi, la librairie LMIC comporte un fichier `radio.c`, où l'on a modifié le champs `starttx()` et en ajoutant dans `else 2 txlora()`, la fonction qui effectue l'envoi.

6.4 Solutions Alternatives

Une quatrième méthode d'envoi pouvait être implémenté, la CSMA.

Mais cette solution alternative crée un certain conflit entre les contraintes demandées par LoRaWAN et la consommation continue que requiert cette méthode, puisque l'appareil est obligé d'écouter le canal avant la transmission du message, ce qui peut aboutir à des pertes d'énergie et de longues périodes d'activité, donc à l'abus des principes d'une communication LoRaWAN.

7 Tests et Améliorations

7.1 Les premiers tests

Après l'implémentation de chaque méthode des tests préliminaires sont menés afin de valider à première vue la méthode en question.

Pour parler de façon pratique, la méthode sans acquittement nous a donné des résultats sur une série de 100 paquets qui était bonne pour le jammer qui générer une congestion de 50 devices et de 100 devices mais pas pour les 1000 devices. A ce stade, on pouvait y remédier en réalisant un autre test quitte à s'assurer que le problème ne vient pas du code.

Les premiers tests dans la méthode d'acquiescement sont à eux seul un vrai debug qui a permis de contrer le problème de collision de l'acquiescement en l'envoyant sur le receiving window 2.

Cependant, au fur et à mesure qu'on avance les tests se révélaient prometteurs chacun à part, ce qui nous a poussé lors de la phase finale a entamé les mesures globales ayant pour but l'aboutissement de notre projet tout en étant confiant qu'on est sur la bonne voie.

Lors de ces premiers tests, l'interface graphique se mettait en place. Elle était au premier abord réaliser afin de comparer au mieux deux mesures entre elles ou bien pouvoir caractérisée une seule mesure.

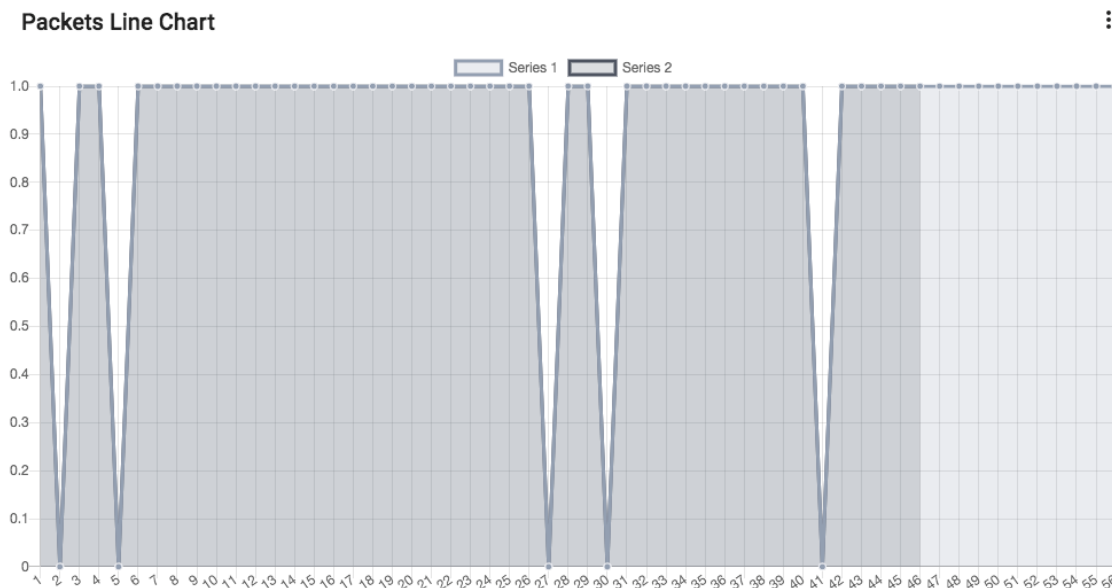


Figure 6 – Packets Line Chart

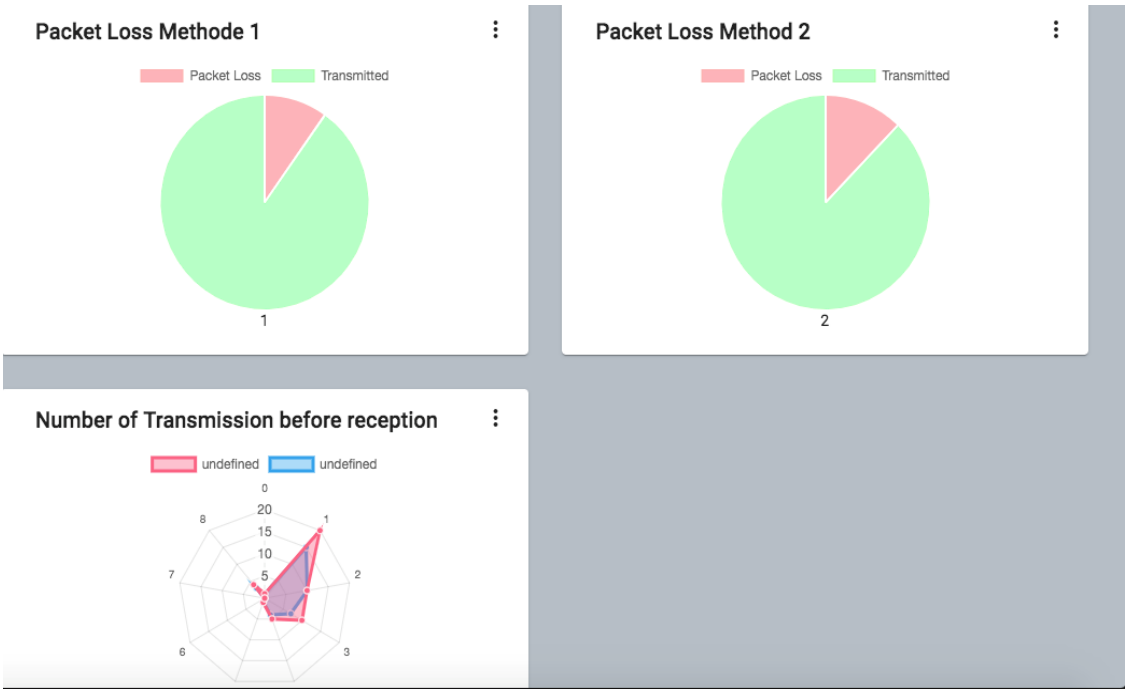


Figure 7 - Graphes comparatifs de deux méthodes

7.2 Vers un échantillon plus grand

Afin d'élargir notre étude et de pouvoir atteindre l'objectif souhaité, on a décidé de conduire pour chaque méthode 30 mesures chacune ayant 30 paquets à transmettre ; un nombre qui statistiquement se révèle fiable. Soit en tout 900 paquets pour chaque méthode et pour chaque échelle à savoir :

NoAckL NoAckM NoAckH AckL AckM AckH RedL RedM RedH

La comparaison de ces méthodes va se faire sur 2 niveaux :

- Un graphe qui va montrer le maximum qui est atteint pour une méthode, le minimum, la population standard déviation, la moyenne et la médiane.

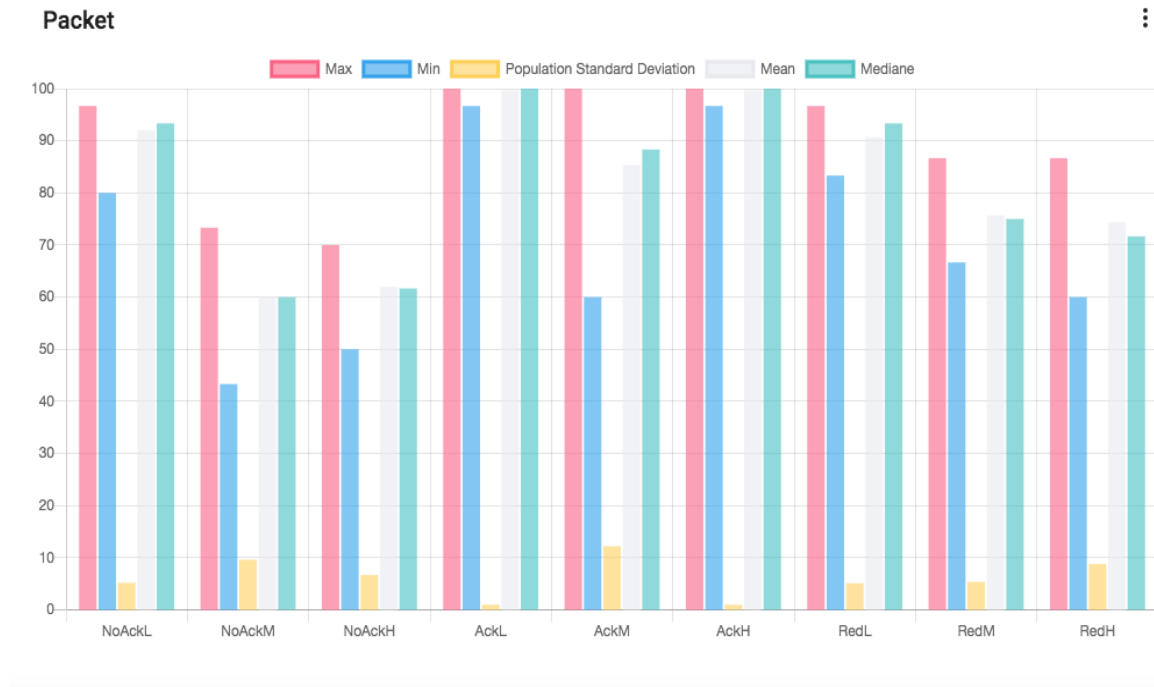


Figure 8 - Graphes comparatifs des trois méthodes

Méthodes	NoAckL	NoAckM	NoAckH	AckL	AckM	RedL	RedM	RedH
Maximum	96.6	73.3	70	100	100	96.6	86	86
Minimum	80	43.4	50	100	60	83	66	60
Population Standard Deviation	5.2	9.6	6.69	0	12	5.1	5.3	8.8
Moyenne	92	60	62	100	85	90	75.6	74
Médiane	93	60	61	100	88	93	75	71

Tableau 4 - Résultats

- Un deuxième graphe qui va montrer le nombre physique de paquet qui ont été reçus face à celui qui a été émis.

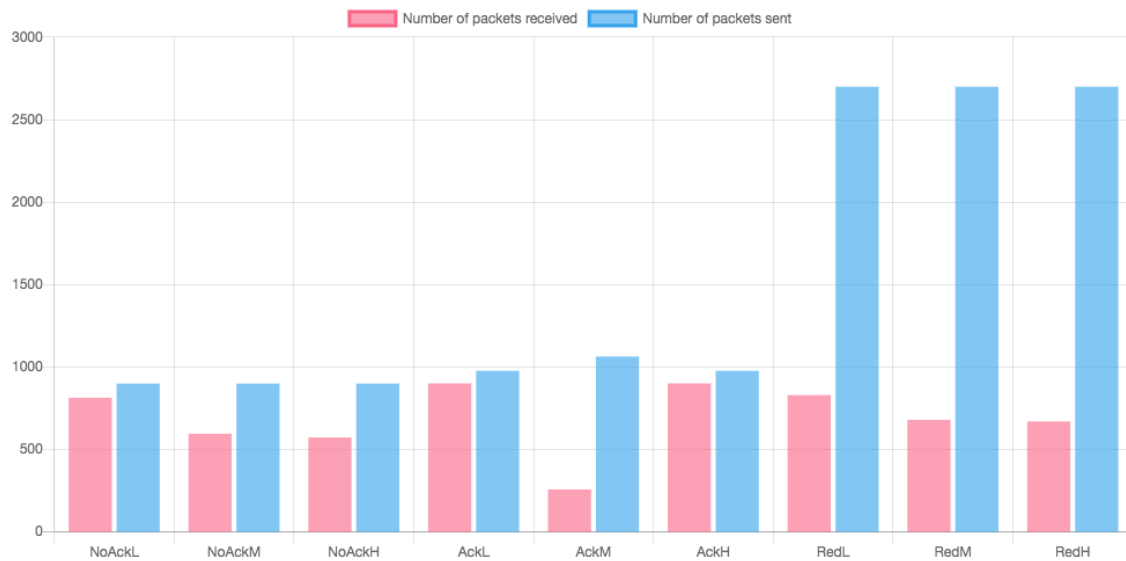


Figure 9 - Graphe représentant le nombre de paquets reçus face au nombre de paquet effectivement transmis.

En faisant les proportions entre les paquets reçus et le nombre de paquets effectivement transmis les résultats obtenus se révèlent satisfaisants.

Méthodes	NoAckL	NoAckM	NoAckH	AckL	AckM	AckH	RedL	RedM	RedH
Nb de paquets reçus	814	596	573	900	258	240	830	680	670
Nb de paquets transmis	900	900	900	977	1200	2160	900 (3 fois) soit 1200	900 (3 fois) soit 1200	900 (3 fois) soit 1200
Rapport	0.904	0.662	0.636	0.921	0.215	0.111	0.92	0.75	0.74
Pourcentage	90.4	66.3	63.6	92.1	21.5	11.1	92	75	74

Tableau 5 – Résultats 2

En regardant bien ce tableau, la conclusion qu'on peut en tirer devient frappante. Pour chaque étude de cas une méthode semble prendre le dessus. Ainsi on peut conclure ce qui suit :

Quand la charge dans le réseau est faible (soit approximativement 50 devices) la méthode d'Accusé est la meilleure méthode à choisir. Tous les paquets arriveront à destination grâce à la retransmission de ceux qui sont perdus. Cette retransmission n'étant pas coûteuse en énergie car les paquets qui ont eu besoin d'être retransmis sont minimes et le rendement final est prometteur. En effet, notre but était de transmettre 900 paquets, ce qui a été fait en 977 paquets transmis au total.

Quand la charge dans le réseau est moyenne (soit approximativement 100 devices) la méthode sans Accusé paraît le meilleur choix. Son rapport étant plus grand que celui

de la méthode d'Acquittement et son cout est plus faible que celui de la méthode de la redondance. En effet, la méthode de la redondance transmet en tout 1200 paquets et 680 des 900 paquets vissés arrivent à destination, une consommation plutôt grande comparer à la méthode NoAckM ou 596 paquets arrivent après 900 paquets transmis.

Quand la charge dans le réseau est grande (soit approximativement 1000 devices) la méthode de la redondance est certes la meilleure. Ayant un cout de transmission supérieure aux autres, mais ce cout on est prêt à le payer pour avoir des résultats et un meilleur rendement. En effet, l'acquittement ne fait pas le poids avec ces nombreuses retransmissions qui ont de graves répercussions sur le temps et sur le rendement. Le risque de collision étant grand le nombre de paquets qui ont besoin d'être retransmis augmente et en comptant 8 retransmissions pour au moins la moitié des paquets les mesures dureront des heures sans pour autant avoir de bons résultats.

8 Impact de la Solution

L'Internet des objets pourraient bien être le futur : contrôlé tout à distance et via l'Internet. L'amélioration de la fiabilité dans le protocole LoRa utilisé dans l'IoT étendra l'utilisation de l'IoT dans les applications critiques, là où le moindre paquet est important. LoRa devenant fiable, ce sont les trains et les industries, même celles munies d'un système d'alarmes, qui opteraient pour ce nouveau concept. Tout sera régit par LoRa qui, devenu fiable, augmentera les chances de ne pas être vouée à l'échec mais pourra être implémentée dans n'importe quel système.

De plus, nos résultats permettent à l'utilisateur de savoir quelle méthode adopte selon le cas qu'il choisit d'implémenter. En faisant une étude sur le nombre d'end-devices qu'il souhaite mettre, il pourra choisir la méthode propice, et même suivre chaque mesure a part.

9 Conclusion

En conclusion, le défi qui a été fixé pour ce projet a été relevé. Il est sûr que le protocole LoRa n'est pas vraiment fiable mais il a été prouvé que diverses méthodes pourraient remédier à cette faille. En tant qu'étude, nos recherches ont dépassé ce qui a été fait dans le milieu jusqu'à présent. On savait que le nombre d'équipements terminaux affecte ce protocole mais on ne savait pas vraiment comment, à présent nous le savons. Nous savons également que la méthode d'acquittement est celle qu'utilise LoRaWAN de nos jours, mais après cette étude on voit les choses sous un angle différent. On peut même s'aventurer à dire : gardons l'accès par contention d'ALOHA mais changeons dynamiquement de méthode. Ce que nous avons établi sont certes des réponses à des questions qu'on se pose dans le monde de la recherche, mais nos résultats sont surtout des questions qui ont émergés. Jusqu'où le changement dans le mode d'accès peut-il aller ? Doit-on entreprendre d'essayer un accès en utilisant la méthode CSMA/CA ou bien même un accès par réservation ? Certes des réponses intuitives peuvent émanées de ces questions mais jusqu'où seront-elles vraiment le reflet de la réalité. Dans un futur proche, LoRa pourrait parvenir à être plus fiable et ainsi à être utilisée partout autour de nous. Si jamais ce jour viendra, on pense qu'on regardera autour de nous et qu'on se dira que nous avons peut-être contribué à ce monde dans lequel on vivra.

10 Bibliographies

- [1] Moodle, Projet multidisciplinaire, Minutes of Meeting.
- [2] The Things Netwrok: https://oreme.org/app/uploads/Oreme_AT15_C.Goby_.pdf
- [3] IoT Connectivity – Comparing NB-IoT, LTE-M, LoRa, SigFox, and other LPWAN Technologies:
<https://www.iotforall.com/iot-connectivity-comparison-lora-sigfox-rpma-lpwan-technologies/>
- [4] F. Van den Abeele, J. Haxhibeqiri, I. Moerman, and J. Hoebeke, “Scalability Analysis of Large-Scale LoRaWAN Networks in ns-3”, IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, 2017
- [5] F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. Melià-Seguí, T. Watteyne, “Understanding the Limits of LoRaWAN”, IEEE Communications Magazine, 2017
- [6] B. Reynders, Q. Wang, P. Tuset-Peiro, X. Vilajosana, S. Pollin, “Improving Reliability and Scalability of LoRaWANs Through Lightweight Scheduling”, IEEE Internet of Things Journal, 2018
- [7] IBM Long Range Signaling and Control, Imic documentation.
- [8] N. Sornin (Semtech), M. Luis (Semtech), T. Eirich (IBM), T. Kramp (IBM), O. Hersent (Actility), “LoRa Alliance, LoRaWAN Specification”, January 2015
- [9] Emekcan Aras, Nicolas Small, Gowri Sankar Ramachandran, Stéphane Delbruel, Wouter Joosen and Danny Hughes, “Selective Jamming of LoRaWAN using Commodity Hardware”, 2017
- [10] Andrzej Duda, “Design Issues of Energy-Efficient Access Methods for Cellular IoT Networks”, Warsaw, Poland.