

## Conception d'un protocole adapté aux transmissions entre objets connectés dans un environnement dense.

Les réseaux sans fil sont une infrastructure incontournable de notre vie numérique. Intéressé par ce domaine et l'élaboration des objets connectés, j'ai été convaincu que la conception d'un protocole adapté à ces appareils dans l'environnement citadin était un sujet de recherche adapté et en accord avec certaines de mes compétences.

Les foyers font face à une nouvelle révolution numérique : l'Internet des Objets. Les objets connectés, particulièrement sans-fil, se multiplient au sein du logis et en conséquence, ces objets constituent au sein des villes des réseaux denses et sujets aux interférences. Ces défis nous amènent à repenser nos protocoles.

### Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- *INFORMATIQUE (Informatique pratique)*
- *INFORMATIQUE (Technologies informatiques)*

### Mots-clés (ÉTAPE 1) :

| Mots-clés (en français)                        | Mots-clés (en anglais)                    |
|--|---|
| <i>Réseaux sans-fil</i>                        | <i>Wireless Networks</i>                  |
| <i>Conception de protocole</i>                 | <i>Protocol design</i>                    |
| <i>Internet des Objets</i>                     | <i>Internet of Things (IoT)</i>           |
| <i>Interférences dans les réseaux sans-fil</i> | <i>Interferences in Wireless networks</i> |
| <i>Systèmes embarqués</i>                      | <i>Embedded systems</i>                   |

### Bibliographie commentée

Avec le développement des appareils mobiles, téléphones et ordinateurs portables en particulier, se sont également développés les protocoles de réseau sans-fil comme le Bluetooth et le Wi-Fi. Néanmoins, ces protocoles sont peu adaptés à des objets connectés qui peuvent parfois être réduits à de simple capteur sur batterie et où la durée entre deux charges est un critère crucial. D'autres protocoles plus légers et adaptés à des transmissions faibles en intervalle et en données se sont alors développés en conséquence, comme le protocole LoRa[1], que nous utiliserons dans l'ensemble de ce TIPE.

Néanmoins, les spécifications des protocoles Wi-Fi et Bluetooth implémentent différentes techniques pour limiter l'usage spectral et les besoins énergétiques de leurs transmissions[4] qui peuvent nous inspirer comme l'agrégation de paquets, l'utilisation de *Target Wake Time* (TWT), ou encore le *Spatial Multiplexing Power Save* (SMPS), avec des succès mitigés[7].

De son côté, LoRa n'implémente pas directement de telles techniques, qui sont laissées au soin de LoRaWAN, réseau en étoile basé sur LoRa où l'on retrouve des optimisations similaires dont

des fonctionnalités d'hibernation, l'utilisation de Beacon et l'implémentation d'un *Adaptive Transmit Power Control* (ATPC)[3].

Nous devons noter que pour la création d'un ATPC, une technique active qui peut se révéler intéressante[5], le protocole LoRa nous offre quelques libertés. Il est, par exemple, possible de modifier directement les paramètres du protocole LoRa comme le *Spreading Factor* et le *Coding Rate*[2]. Ces deux paramètres peuvent alors permettre d'émettre virtuellement plus fort quand seule la durée de transmission est en réalité modifiée.

Plus généralement, nous nous aiderons de la thèse[6] présente en référence qui aborde le sujet de manière théorique, sans s'intéresser à un protocole existant particulier. Parmi les deux modèles proposés, deux techniques sont mises en place : un système de relais de message et un ATPC particulier qui cherche à maximiser le débit des liens. En effet, plus les débits des liens sont élevés, plus en théorie la durée de transmission est courte et de même, plus la consommation électrique liée à la transmission est faible. Cependant, dans notre cas, le débit est déjà limité à 250 kbps en raison des caractéristiques techniques du protocole LoRa. Ainsi, de tels coefficients puissance-débit pourraient ne pas être intéressants dans notre étude. Néanmoins, couplés avec la modification du *Spreading Factor* ou du *Coding Rate*, on pourrait obtenir des résultats intéressants.

Également proposées, l'utilisation de relais[6] et la création d'un réseau coopératif[9] sont deux moyens efficaces pour proposer un réseau résistant à la panne et faible en puissance d'émission. Néanmoins, ce genre de technique nécessite soit des nœuds écoutant constamment le réseau (empêchant les cycles de sommeil) ou une certaine coordination de réseau. Pour des raisons techniques et afin de ne pas s'égarer, nous n'étudierons pas la seconde piste. La première technique ne nous paraît pas non plus convaincante, mettant même en danger les économies d'énergie que l'on pourrait faire en raison de la nécessité d'une écoute active du réseau. Par conséquent, nous étudierons plutôt la pertinence d'offrir un tel système de relais pour les messages à haute latence, consistant à diffuser un message à la grappe d'appareils en pair à pair. Suite aux précédentes observations, nous tenterons de concevoir et produire notre propre protocole implémentant certaines de ces techniques ainsi que certaines de nos propres propositions. On se propose ainsi d'implémenter les méthodes passives suivantes : l'agrégation de paquets, l'utilisation de messages groupés et les accusés de réception par blocs (*Block Acknowledgment*) mais également des méthodes actives telles que l'utilisation d'un ATPC dont l'efficacité peut varier selon l'application. Parmi eux, l'agrégation et l'utilisation d'un ATPC sont des méthodes connues et depuis longtemps déployées[8] : il ne serait pas raisonnable de s'en passer dans notre proposition.

## **Problématique retenue**

Notre étude portera sur la création d'un protocole de télécommunication sans-fil adapté aux caractéristiques des objets connectés et en particulier visant à réduire les besoins énergétiques de nos transmissions. Nous nous restreindrons, plus particulièrement, à la conception d'un protocole basé sur un réseau ad-hoc LoRa, protocole populaire en IoT.

## **Objectifs du TIPE du candidat**

Notre intervention poursuivra les buts suivants :

- Étudier les techniques déjà proposées dans la littérature et éventuellement déployées à grande ampleur afin de concevoir notre propre protocole.
- Concevoir, en tout ou partie, un protocole de télécommunication cherchant la minimisation des interférences et de la consommation énergétique, c'est-à-dire minimiser l'encombrement des radiofréquences et choisir des paramètres de transmission adaptés à la diversité des caractéristiques des objets connectés.
- Implémenter ce dit-protocole sur des cartes programmables et en mesurer l'efficacité si possible en situation réelle.
- Discuter de la pertinence de l'usage de ces techniques.

## Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] E BÄUMKER, A MIGUEL GARCIA ET P WOIAS : Minimizing power consumption of LoRa® and LoRaWAN for low-power wireless sensor nodes : *Journal of Physics: Conference Series* 1407 012092, 2019, URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1407/1/012092>, p1-5
- [2] MARTIN BOR ET UTZ ROEDIG : LoRa Transmission Parameter Selection : *13th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, 2017, Ottawa (Canada), URL: <https://doi.org/10.1109/DCOSS.2017.10>, p. 27-34
- [3] MOCHAMMAD HALDI WIDIANTO ET AL. : Energy saving on IoT using LoRa: a systematic literature review : *International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems (IJRES)*, vol. 11, mars 2022, URL: <https://doi.org/10.11591/ijres.v11.i1.pp25-33>, p. 25-33
- [4] IEEE : IEEE Standard for Information Technology–Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks–Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications : *IEEE Std 802.11-2020 (Revision of IEEE Std 802.11-2016) (2021)*, 2021, URL: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2021.9363693>, p. 1985-1995;2078-2125;2739-2747
- [5] SHAN LIN ET AL. : ATPC: Adaptive Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks : 2006, URL: <https://www.cs.virginia.edu/~stankovic/psfiles/ATPC.pdf>, p1-14
- [6] HICHAM SLIMANI : Protocoles coopératifs pour réseaux sans fil : 2013, URL: <https://oatao.univ-toulouse.fr/10309/>, p. 10;15-120
- [7] MARKUS TAUBER ET SALEEM N. BHATTI : The Effect of the 802.11 Power Save Mechanism (PSM) on Energy Efficiency and Performance during System Activity : *2012 IEEE International Conference on Green Computing and Communications*, 2012, Besançon (France), URL: <https://doi.org/10.1109/GreenCom.2012.81>, p. 573-580
- [8] FELICIA ENGMANN ET AL. : Prolonging the Lifetime of Wireless Sensor Networks: A Review of Current Techniques : *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018, ISSN: 1530-8669, URL: <https://doi.org/10.1155/2018/8035065>, p. 13-17
- [9] NIKOLAOS PAPPAS, IOANNIS DIMITRIOU ET ZHENG CHEN : On the Benefits of Network-level Cooperation in IoT Networks with Aggregators : 2019, URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1806.10200>, p. 1-5;20-25

## **DOT**

- [1]** : Avril 2022: *Étude des techniques existantes ou proposés dans la littérature scientifique. Détermination de la faisabilité du projet et des premières étapes pour le réaliser.*
- [2]** : Mai 2022: *Prise de décision sur les composants à utiliser, essentiels à notre futur implémentation. Prise en main de la bibliothèque esp-rs . Choix des techniques à implémenter et de la structure du projet.*
- [3]** : Juin/Juillet 2022: *Réception des différents modules, phase de soudure et des premiers tests de faisabilités.*
- [4]** : Septembre 2022: *Début de l'écriture de la bibliothèque qui implémente notre protocole et notamment conception de sa structure (Trame, Payload, API, etc..)*
- [5]** : Novembre 2022: *Implémentation d'une première version simplifiée de notre protocole (sans les techniques actives) et d'un premier jeu de tests. Tentative d'implémentation du protocole dans le simulateur ns3 découragée par le manque de documentation.*
- [6]** : Janvier 2023: *Débogage du protocole simplifié : réussite d'une première transmission et accusé de réception. Début des recherches autour des moyens de mesurer les capacités de notre protocole.*
- [7]** : Mars 2023: *Implémentation achevée des techniques dites actives. Phase d'expérimentation et de Prises de mesures.*
- [8]** : Mai 2023: *Finalisation de la documentation, des livrables et de la présentation. Quelques ajouts et corrections mineurs.*