



BLIN Sébastien  
ESIR 1 - Informatique  
2014-2015

ENGEL Jean-Christophe  
Maître de conférences à l'ESIR



Télécom Bretagne  
2 Rue de la Châtaigneraie,  
35510 Cesson-Sévigné  
+33 2 99 12 70 00

TOUTAIN Laurent  
Maître de conférences  
Département RSM

---

## Rapport de stage

Télécom Bretagne - Projet LoRa FABian

---

Année universitaire 2014-2015



## **Remerciements**

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce rapport.

Tout d'abord, je tiens à remercier mon maître de stage Mr Laurent TOUTAIN - Maître de conférences à Télécom Bretagne et Mr Alexander PELOV - Maître de conférences dans le département RSM (Réseaux, Sécurité, Multimédia) de Télécom Bretagne pour m'avoir accueilli en stage et leur partage d'expertise ainsi que pour les missions intéressantes que j'ai eu la possibilité de réaliser.

Je remercie aussi le département RSM de Télécom Bretagne et plus particulièrement Mathieu GOESSENS, Tanguy KEDONCUFF, Renzo NAVAS et Sarah TARRAPEY pour leur temps donné, leur confiance et leurs explications qui m'ont été d'une grande aide tout au long de la durée de mon stage.

Enfin, je remercie Marie-Pierre YVENAT pour le suivi administratif fourni.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
1.1	Télécom Bretagne . . . . .	1
1.2	Objectifs personnels . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Mission au sein de Télécom Bretagne</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Travail effectué</b>	<b>2</b>
3.1	Découverte des outils . . . . .	2
3.2	Architecture du projet . . . . .	3
3.3	Mission principale . . . . .	3
3.4	Missions annexes . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Bilan du stage</b>	<b>5</b>
<b>A</b>	<b>Conférence : Portes Ouvertes Ou Pas</b>	<b>6</b>
<b>B</b>	<b>Conférence : Les matinales de Rennes Atalante</b>	<b>6</b>
<b>C</b>	<b>Travail réalisé</b>	<b>6</b>

## Table des figures

1	Programmation d'une prise sous Contiki OS . . . . .	2
2	Architecture du réseau LoRa Fabian . . . . .	3
3	Une antenne et des noeuds F . . . . .	4

# 1 Introduction

## 1.1 Télécom Bretagne

Télécom Bretagne est une école d'ingénieurs généraliste et un centre de recherche international en sciences et technologies de l'information et membre fondateur de l'université européenne de Bretagne. L'école fait aussi parti de l'Institut Mines-Télécom. La structure fut créée en 1977 et possède aujourd'hui des campus à Brest, Rennes, Toulouse. L'école compte 70% d'élèves Ingénieurs et 30% d'élèves en 3e cycle (dont 200 doctorants).

Télécom Bretagne est actif dans quatre pôles de compétitivité (Images et Réseaux, Mer Bretagne, ID4Car et Valorial). Les projets de recherche sont répartis dans quatre différents laboratoires, dont deux au CNRS (Labstic et Irisa), un à l'Inserm et un laboratoire Marsouin. Cette recherche est centrée sur les STIC dans différents champs d'application (Santé, Mer, Défense, Finances, Banques, Transports, etc).

Plus précisément, le département « Réseaux, Sécurité et Multimédia » (RSM) dans lequel ce stage c'est déroulé est composé de 60 personnes (17 permanents, des CDD, des thésards et des stagiaires). Ce département voit son activité accès autour de la recherche sur les réseaux, (IPv6, réseaux mobiles, sécurité des réseaux ou Internet des Objets). Mon stage c'est déroulé dans l'équipe OCIF (Objets communicants pour l'Internet du Futur) qui a pour but de définir, d'évaluer et de valider les architectures protocolaires liées à l'Internet des Objets.

## 1.2 Objectifs personnels

Ce stage était pour moi une occasion de découvrir en quoi consistait le travail sur un projet en tant qu'Ingénieur de Recherche dans un laboratoire. De plus, j'ai pu découvrir quelques problématiques d'un projet d'entreprise dans l'open-source (notamment la question de la licence de publication des morceaux de codes et les choix technologiques) et de découvrir le monde du travail dans le domaine de l'embarqué (hésitant actuellement entre une professionnalisation dans l'embarqué ou dans l'apprentissage automatique (Machine Learning) en dernière année).

# 2 Mission au sein de Télécom Bretagne

Le projet LoRa FABian est un projet visant à offrir des technologies libres et standardisées pour les besoins des objets communicants (IoT - Internet of Things). Construit autour de protocoles longue portée LoRa de Semtech<sup>1</sup> et CoAP<sup>2</sup>, celui-ci prototype rapidement des services utilisant cette radio. Bien que 6LoWPAN<sup>3</sup> réduit l'impact du protocole IPv6 et associés, les contraintes de la radio poussent à utiliser directement le protocole CoAP sur LoRa avec un tramage compatible avec la norme IEEE 802.15.4. Le plan de signalisation (messages beacon<sup>4</sup>, enregistrement des noeuds) repose également sur ce protocole. À l'inverse d'autres solutions utilisant LoRa, L'approche de Télécom Bretagne repose sur des technologies ouvertes, standardisées et ambitionne d'être lui-même standardisé auprès de l'IETF<sup>5</sup>. Techniquement LoRa FABian repose sur une architecture multi-tiers, inspirée des réseaux 3G et 4G. Les objets connectés (aussi appelés noeuds F) communiquent via ondes radio à des fréquences en dessous du Ghz, sur de longues portées (plusieurs kilomètres), auprès d'antennes (noeuds R). Ces noeuds R sont

---

1. <http://www.semtech.com/wireless-rf/loral.html>

2. version simplifiée d'HTTP, initialement prévue pour fonctionner au-dessus d'UDP - The Constrained Application Protocol - <https://tools.ietf.org/html/rfc7252>

3. [https://www.ti.com/lspds/ti/wireless\\_connectivity/6lowpan/overview.page](https://www.ti.com/lspds/ti/wireless_connectivity/6lowpan/overview.page)

4. de signalisation

5. Internet Engineering Task Force, le groupe de standardisation produisant les RFC

eux-mêmes reliés à des noeuds G (concentrateurs/gateway) fournissant des services (comme l'authentification) auprès de noeuds dédiés (noeuds S/AAA). La communication entre les noeuds G et S se fait via HTTPS.

L'objectif de ce stage consiste à améliorer les implémentations existantes des noeuds F, construites autour d'Arduino et de shields produits par la société Wi6labs, dans le but de proposer une implémentation ouverte, documentée, facile à prendre en main. Le stage commencera par une découverte des protocoles impliqués, de l'architecture globale, des implémentations utilisées telles que l'OS Contiki et l'environnement Arduino. Il s'agira ensuite de développer les bibliothèques nécessaires à la communication entre les cartes Arduino et Wi6Labs et les utiliser.

Le projet LoRa FABian est conduit en partenariat entre plusieurs entités : Télécom Bretagne pour la conception protocolaire, Wi6labs pour la réalisation des shields, Kerlink pour la réalisation des antennes et l'AFNIC comme expert technique pour les problématiques liées au nommage et à la sécurité (DNS, DNSSEC...).

Dans ce rapport, nous allons tout d'abord voir quels ont été les outils pris en main, puis comment est architecturé le projet LoRa FABian et enfin le déroulement de ma mission principale et les missions annexes.

## 3 Travail effectué

### 3.1 Découverte des outils

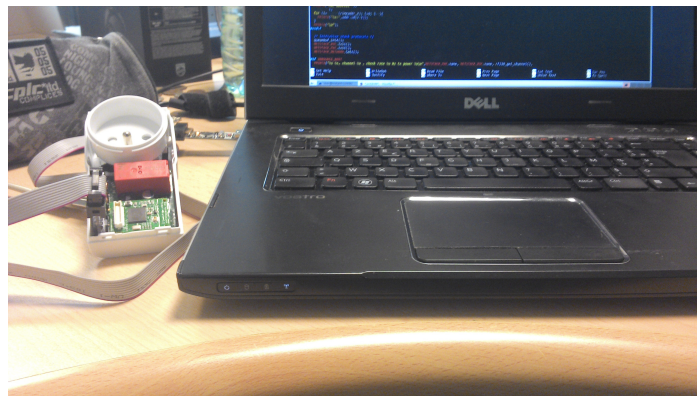


FIGURE 1 – Programmation d'une prise sous Contiki OS

La première partie du stage consistait à la prise en main des différents outils qui ont été utilisés par la suite.

Concrètement, cette découverte fut réalisée en aidant à la réalisation de deux différents TP (cf annexe C) pour un cours d'été.

Le premier TP consistait à contrôler des prises électriques contrôlables par radio grâce à une puce sous le système d'exploitation Contiki via l'envoi de requêtes CoAP (envoyés via un script ou l'extension Firefox Copper<sup>6</sup>). J'ai donc été amené à flasher les cartes des prises électriques

---

6. <https://addons.mozilla.org/en-US/firefox/addon/copper-270430/>

[Figure : 1] afin de les configurer, prendre en main la machine virtuelle fournie pour développer sur Contiki<sup>7</sup> (à l'aide d'Instant Contiki) qui est une machine Ubuntu Linux avec les outils spécifiques à Contiki (Pour lister les appareils, les flasher, etc.) et réaliser un script Python pour obtenir l'état d'une lampe et allumer une autre lampe.

Le second TP consistait à prendre en main le shield Arduino de la société Wi6labs fonctionnant aussi à l'aide d'un environnement Contiki. J'ai donc du rendre le code Arduino plus lisible. J'ai aussi complété le code actuel pour pouvoir afficher une petite page web, allumer une led, etc. La configuration de la carte se faisait en modifiant la configuration de la partie Contiki et en flashant la carte à l'aide d'un stm32 qui sert aussi au debugging [Figure : ??].

Durant cette phase de découverte, la seule difficulté que j'ai pu rencontrer était le manque ou l'inexactitude de la documentation sur des parties complètes du projet (le projet étant à la fois en développement et en phase de réflexion, la documentation n'est pas complète ou obsolète car la technologie a été modifiée).

### 3.2 Architecture du projet

Le projet LoRa Fabian consiste au développement d'une plateforme dans le but de pouvoir standardiser des protocoles ouverts à destination de l'Internet des objets.

Le réseau est composé de 4 entités, le noeud F(ar) est l'objet, qui communique via radio longue portée (*Long Range Radio*) à une antenne R(adio). Cette radio communique à la G(ateway) via un tunnel JSON sur UDP qui communique au noeud S(ervice) via HTTPS qui sert de noeud d'entrée au réseau via Internet. [Figure : 2]

Pour une description plus complète du projet, se référer aux slides de la conférence donnée lors du *Toulouse HackerSpace Factory*<sup>8</sup>.

La mission proposée lors de ce stage se concentre sur le noeud F.

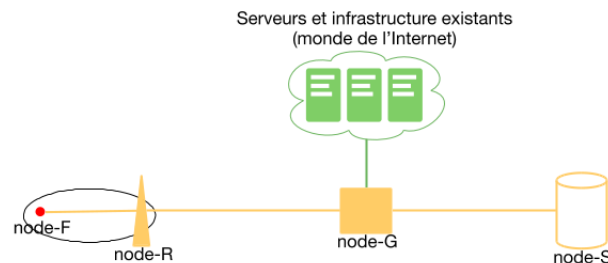


FIGURE 2 – Architecture du réseau LoRa Fabian

### 3.3 Mission principale

La principale tâche réalisée lors de ce stage fut l'amélioration du shield Arduino de la société Wi6labs. Dans un premier temps, j'ai dû nettoyer le code de l'ancienne bibliothèque et dû prendre en main toute la partie contiki relative au shield.

Puis j'ai dû enlever toute la partie gestion de la MAC et du protocole IEEE 802.15.4 qui était

---

7. <http://contiki-os.org/>

8. <https://vimeo.com/128974653>

gérée par la carte Arduino pour la programmer à l'intérieur du shield (côté Contiki). J'ai ensuite modifié la partie nommage, c'est-à-dire de pouvoir modifier l'url permettant d'accéder au shield (qui était écrite dans la partie Contiki) depuis internet pour pouvoir le modifier depuis la carte Arduino (en faisant : `lora.begin("url.s.ackl.io")`).

J'ai ensuite amélioré la gestion du beacon. En effet, l'antenne radio envoie des beacon à la carte Arduino pour lui demander de s'enregistrer. Le problème étant que la carte Arduino ne devait pas recevoir le beacon qui devait être traité seulement dans la partie Contiki.

Ce dernier point a mis en valeur la nécessité d'un mode debug sur la carte Arduino pour pouvoir recevoir les beacons sur la partie Arduino ainsi que la création de méthodes pour pouvoir changer la configuration de la radio (fréquence, coderate, spreading factor, bande passante, etc.), pour plus de flexibilité côté Arduino (et pour éviter de devoir flasher à chaque fois le shield).

Finalement, pour rendre le code côté contiki plus propre, j'ai dû modifier le driver radio en place pour pouvoir utiliser la network stack standard<sup>9</sup> qui n'était pas utilisée.



FIGURE 3 – Une antenne et des noeuds F

Lors du dernier mois de mon stage, on m'a fait passé sur le code JAVA qui gérait le node G, c'est-à-dire au niveau de la gateway (sur les projets `loraFabian.core` et `loraFabian.nodeG`). Mon but était de mettre en place la partie persistance<sup>10</sup> (sur un environnement MySQL et H2<sup>11</sup>) ainsi que de revoir un peu l'architecture du code et de le documenter. J'ai donc dû prendre en

9. [http://anrg.usc.edu/contiki/index.php/Network\\_Stack](http://anrg.usc.edu/contiki/index.php/Network_Stack)

10. c'est-à-dire de réaliser un mapping objet-relationnel (ORM), réaliser, ce qui donne un effet de base de données orientée objet (les informations sont stockées sous forme de collections d'objets.)

11. Une base de donnée SQL en JAVA - <http://www.h2database.com/html/main.html>

main MAVEN<sup>12</sup>, la JPA<sup>13</sup>, eclipselink<sup>14</sup> ainsi que H2. La principale difficulté de cette partie était de travailler avec la version sur le dépôt git, celle du précédent stagiaire qui n'était pas à jour et la mienne.

### 3.4 Missions annexes

J'ai été amené, durant la durée de ce stage a réalisé des missions annexes au projet. Le Week-end du 13 & 14 Juin, j'ai notamment été co-intervenant devant un public d'une trentaine de personnes lors de la conférence *LoRa Fabian : projet visant à fournir des protocoles ouverts et standardisés pour les besoins de communication des objets communiquant (IoT)* avec Mathieu GOESSENS durant l'évènement *Portes Ouvertes Ou Pas* à Paris (Voir annexe A). Le Mercredi 8 Juillet, j'ai aidé à mettre en place la démonstration du projet LoRa FABian lors des Matinales de Rennes Atalante à l'INRIA de Rennes (Voir annexe B). La démonstration consistait à afficher sur une page web (envoyée par la carte Arduino via radio) la valeur d'un capteur de température ou de pouvoir contrôler une led.

## 4 Bilan du stage

Ces trois mois de stage m'ont permis d'acquérir une vision concrète du travail d'Ingénieur de recherche au sein d'un laboratoire public. Ce stage m'a permis de développer plusieurs compétences.

Au niveau technique, j'ai pu découvrir quelques protocoles (notamment IEEE 802.15.4 ou CoAP) ainsi que l'environnement Contiki qui m'était totalement inconnu et le shield LoRa de la société Wi6Labs. J'ai pu améliorer mes connaissances en C et python avec le code réalisé durant ces 3 mois et dans l'environnement Arduino.

J'ai eu l'occasion au fil des missions annexes et de la mission principale de travailler en autonomie sur ma mission et de travailler en équipe (notamment pour les missions annexes ou pour les tests). Je me suis aussi trouvé en parfaite autonomie au niveau de mes horaires. En effet, aucun horaire n'était fixé. Lorsque je le pouvais, je commençais tôt le matin avec une veille informationnelle. Ensuite, je programmais ce dont j'avais besoin le matin. L'après-midi étant souvent composée d'une phase de test + debug du code. Enfin je finissais ma journée par de la lecture de documentation et en préparant une TODO list pour les jours suivants.

Les missions annexes m'ont aussi permis de développer des compétences. En effet, j'ai pu contribuer à l'organisation de TPs pour des cours d'été (relecture du sujet, programmation des bibliothèques, préparation des cartes, tests en salle) ainsi qu'à la réalisation d'une conférence (modification du diaporama déjà existant, répartition du temps de parole, préparation du texte, présentation devant un public puis réponses à ses questions).

Ce stage m'a permis de me donner une idée de ce qu'était le travail en laboratoire et dans l'embarqué. Lors de mon prochain stage, je pense que je souhaite découvrir le travail dans le Machine Learning et de pouvoir me donner une idée de ce qu'est le travail dans une grande entreprise.

---

12. automatiser de l'installation des dépendances, de la compilation, de la construction de la documentation - <https://maven.apache.org/>

13. JAVA Persistence API - <http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/tech/persistence-jsp-140049.html>

14. <https://www.eclipse.org/eclipselink/>



## A Conférence : Portes Ouvertes Ou Pas

L'évènement *Portes Ouvertes Ou Pas* s'est déroulé à Paris (20 rue de Reuilly) le 13 & 14 Juin 2015.

Cet évènement est un festival regroupant les collectifs du LOOP (<https://wiki.leloop.org/index.php/Wiki.leloop.org>), de la GareXP (<http://garexp.org/>) et du jardin d'alice (<http://www.lejardinalalice.org/>).

Texte de présentation de la conférence :

### **Lora Fabian**

Lora Fabian, projet visant à fournir des protocoles ouverts et standardisés pour les besoins de communication des objets communiquant<sup>15</sup> (IoT). On aime ou on aime pas l'IoT, mais si il doit arriver dans nos vies, et vue la durée de vie des objets, autant que ce soit avec des protocoles, implémentations, ouverts, libres, standardisées, sécurisées.

Plus concrètement, le projet lora Fabian vise à offrir une stack réseau complète basée sur Lora (radio longue portée ; très bas débit ; avec pertes) pour exposer des objets vers/depuis internet et masquer toute la complexité de la gestion de réseau. Les objets (typiquement des arduino) parlent en CoAP et sont exposés sur internet en HTTP.

Le programme complet est disponible sur le site de l'évènement <http://poop.leloop.org/>.

Les slides et la vidéo ne sont pas encore disponibles.

## B Conférence : Les matinales de Rennes Atalante

Le 8 Juillet 2015, une Matinale Rennes Atalante sur les Smart Cities a eu lieu à l'INRIA de Rennes.

Dans le cadre de cette matinale, nous avons réalisé une démonstration du projet LoRa Fabian. La démonstration consistait à répondre à des requêtes CoAP avec des pages web. Par exemple une requête GET sur "beta.s.ackl.io/light" renvoyait une page web montrant la valeur d'un capteur de lumière ainsi qu'une image et un CSS différent en fonction de cette valeur (par exemple, une valeur faible affichait une image de lune sur fond noir).

Annonce de l'évènement : <http://www.rennes-atalante.fr/actualites-technopole/agenda-technopole/evenement/prochaine-matinale-smart-city-opportunités-pour-les-entreprises-et-le-territoire.html>

## C Travail réalisé

Une partie du travail a été réalisée sur un dépôt git privé.

Une partie du code a été réalisée sur le git de la société Wi6Labs <https://github.com/Wi6labs/lorafabian>.

Enfin, voici un des TP réalisé :

---

15. Un objet qui communique des informations à un autre objet.

# Lora Fabian Introduction Workshop

## Purpose of this document.

This document aims at giving reader(s) a progressive way to enter into the Lora Fabian Stack.

## About Lora Fabian

Lora Fabian is a Network Protocols Stack for the Internet of Things needs. Although being mostly designed for Lora(tm) and the associated constraints (low bandwidth..) it can be reused on top of every Layer-1 technology.

Lora Fabian uses CoAP for signaling (node registration etc...) and offer nodes a CoAP channel that can be mapped to HTTP(s) using a simple one to one translation mechanism. That way, objects can be accessed using classical Internet protocols, with their own DNS name. It aims at abstracting IoT network complexity while providing a complete Web-like REST schemantic. Simple HTTP(s) URLs can be used to interact with the nodes, like <http://myobject.example.org/helloworld>.

## Part I: Discovering Lora Fabian

### A) Node Side

Download the files available in <http://lora-serv.fablabnet.fr/tp/> and open them with the Arduino Editor.

Take a few 5,10, 15 minutes to read the code and understand:

- What this code do.
- The role of the different files.
- The process and the messages flow.

What is this code doing ?

.....  
.....  
.....

What are the role of the different files ?

LoraTP1.ino: .....  
.....  
.....

loraShield.cpp : .....  
.....  
.....  
.....

Coap.c : .....  
.....  
.....

Endpoints.h: .....  
.....  
.....

What are the process and message flow:

When receiving a message ?

.....  
.....  
.....  
.....

When seeding a message ?

.....  
.....  
.....  
.....

## ***B) Internet Side***

Try to use the unix command “dig AAAA +short nodeName.s.ackl.io”.

What do you see ?

.....  
.....  
.....

What does that mean ?

.....  
.....  
.....

Try to use the same unix command to find the IPv6 address of another node

What do you see ?

.....  
.....  
.....

What does that mean ?

.....  
.....

Try to access <http://nodeName.s.ackl.io/helloWorld>

What do you see ?

What does that mean ?

Describe the flow followed by your HTTP request and the response you received:

## Part II: Going Further into Lora Fabian

Internet of Things can have better purpose than sending hello worlds :)

### ***A) Simple LED Application***

If you give a detailed look on the files you can see some code definition for a LED.

By putting “digitalWrite(led, HIGH);” or “digitalWrite(led, LOW);” you can power on/off a LED.

Try to do it and to have the led blinking at a regular interval using the loop(){}

How does the code looks like:

We have some code to make a LED to blinks and some code to control Arduino using CoAP and a simple HTTP translation. We will now make them working together:

In the endpoint.c file:

- Add an handler `handle_get_led_on()` make it power on the LED and return a simple CoAP response.
- Same for a `handle_get_led_off()`.
- Do not forget to add them in the `endPoints` list
- Try to launch your code using Try to access
  - <http://nodeName.s.ackl.io/ledon>
  - <http://nodeName.s.ackl.io/ledoff>

How does the code looks like:

[illegible]

### ***B) A bit more of engineering of this LED Application.***

The simple CoAP-controlled LED application we wrote do not really follow the REST Schemantic. It can be interesting to have a real and properly engineered application.

Step 1) Add a context (boolean), reflecting the state of the LED into the application and update the context in the led\_on/led\_off handler

Step 2): Add a new led/ handler that once receiving a GET request ouputs the state of the LED.

Step 3) Remove the `digitalWrite` from the `ledon` `ledoff` handlers and find a good place to move them

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the page.

How does the code looks like:

[illegible]

Now that we have a real RESTfull CoAP application we can control it using common internet protocols.

## Part IV (optional): Let's communicate

Now that you got your hand on a stable and simple implementation on the node side and on the client side you can make objects communicate with each others. Mix with one other group, define scenarios where you not only control one object but consider the state of the other one, and implement them.