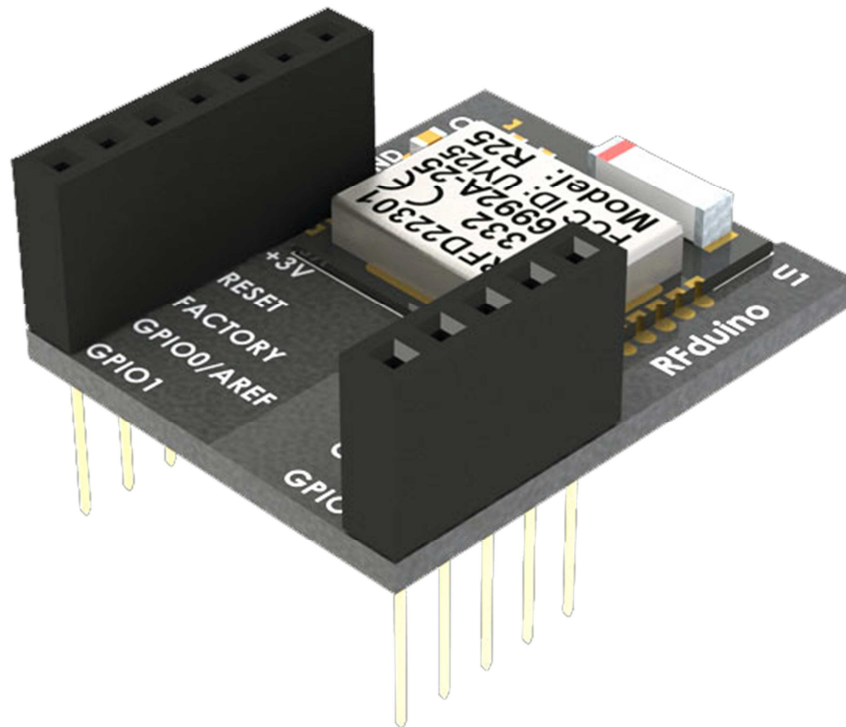


## Projet P32

# Récupération d'énergie pour balise BLE



Elève : Quentin Sultana

Encadrants : Frédéric Giraud / Alexandre Boé / Thomas Vantroys

## Table des matières

I.	Introduction .....	3
II.	Contexte du projet.....	4
1)	Organisation générale .....	4
2)	Chaine de l'énergie.....	4
a)	La récupération de l'énergie dans l'environnement .....	5
b)	Le stockage de l'énergie.....	5
c)	Le management/mise en forme de l'énergie .....	5
d)	L'utilisation de l'énergie mise en forme.....	5
III.	Objectif du projet.....	6
IV.	Cahier des charges.....	7
1)	Contrôleur.....	7
2)	Capteur .....	7
3)	Mémoire.....	7
4)	Protocole de communication.....	8
V.	Travail effectué de septembre à décembre.....	9
VI.	Planning prévisionnel pour janvier-février .....	14
VII.	Conclusion .....	15
	Bibliographie.....	16

## I. Introduction

Le projet de cinquième année d'école d'ingénieur est l'occasion de travailler sur un projet ambitieux permettant à l'étudiant d'acquérir et/ou perfectionner des méthodes de gestion de projet, communication et organisationnelles, mais aussi d'approfondir ses connaissances sur un sujet précis. La recherche de solutions aux problématiques de l'énergie m'intéresse fortement et constitue un des axes de mon projet professionnel. Ce rapport de mi- projet sur la récupération d'énergie pour balise BLE reprendra le contexte du projet, les objectifs, l'établissement du cahier des charges, le travail effectué de septembre à décembre et enfin le planning prévisionnel de janvier à février

## II. Contexte du projet

Le projet consiste à réaliser un système capable de communiquer à un utilisateur des informations venant de capteurs et de récupérer l'énergie de son fonctionnement dans l'environnement.

### 1) Organisation générale

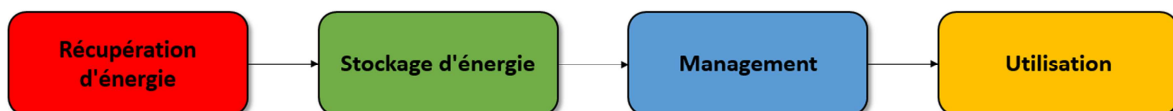
Le système est organisé autour d'une source d'énergie, d'un contrôleur, de capteurs, de mémoire et d'un protocole de communication. On cherche à minimiser l'énergie consommée par l'ensemble du système.



Figure 1. Organisation générale

### 2) Chaîne de l'énergie

On peut diviser le système par sa chaîne d'énergie. Ce découpage permet de choisir les solutions technologiques à étudier.



### **a) La récupération de l'énergie dans l'environnement**

Il existe de nombreux moyens pour récupérer de l'énergie dans l'environnement. L'objectif est de trouver les sources les plus adaptées à l'environnement pour l'application.

On peut citer :

- La récupération de l'énergie par différence de température
- Les panneaux photovoltaïques
- La récupération de l'énergie des ondes radio
- La piézoélectricité

Dans ce projet nous utiliserons la piézoélectricité, le module de récupération ayant déjà fait partie d'une étude de IRCICA précédent le projet.

### **b) Le stockage de l'énergie**

Le choix du système de stockage de l'énergie constitue une partie importante de la réalisation du système. La problématique sera de déterminer quel type de stockage nous utiliserons : batterie, super-capacité ou un hybride et de les dimensionner. Il faudra tenir compte des problèmes de décharge partielle influent sur la durée de vie du stockage.

### **c) Le management/mise en forme de l'énergie**

J'étudierai la nécessité de la mise en place d'une régulation tout en préservant des contraintes de consommation très faibles.

### **d) L'utilisation de l'énergie mise en forme**

On cherche à minimiser l'énergie consommée par l'ensemble du système. Les solutions sont multiples, optimisation matérielle ou logicielle.

### III. Objectif du projet

Mon projet consiste à réaliser un système électronique autonome, composé de différents capteurs et capable de recueillir et de transmettre les données mémorisées vers un système centralisé. Cette étude devra mettre en évidence les résultats des moyens matériels et logiciels pour l'optimisation du système.

## IV. Cahier des charges

Le cahier de charges va permettre de choisir quel type de solution est la plus adaptée dans le cadre de notre projet.

### 1) Contrôleur

Le microcontrôleur : il existe différents types de microprocesseurs. L'objectif est de choisir un support capable de consommer un minimum d'énergie tout en conservant une taille minimale. Nous avons déjà utilisé dans d'autres projets des microcontrôleurs de type Arduino et Raspberry pi. Ceux-ci ont pour avantage d'être prêts à l'emploi et faciles de prise en main. On peut s'orienter également vers un contrôleur ultra low power comme le STM32L ou le modèle proposé RFduino module optimisé pour le BLE.

	Consommation	Facilité de développement	Miniaturisation
Arduino	faible à très faible	bonne	faible
Raspberry pi	importante	très bonne	très faible
Ultra low power	très, très faible	difficile	forte

Après avoir réalisé des recherches sur les consommations, nous convenons lors des réunions de projet de choisir la solution RFduino. Celle-ci constitue le meilleur compromis entre facilité de développement et consommation.

### 2) Capteur

On peut imaginer différents types de capteurs :

- Accéléromètre
- Gyroscope
- Pression atmosphérique et altitude
- Température
- GPS

On s'intéressera à la consommation de chaque capteur et leur fréquence d'échantillonnage nécessaire pour obtenir une mesure exploitable. Dans la première partie de notre projet, nous nous limiterons au seul capteur de température.

### 3) Mémoire

Le système doit être autonome et donc conserver un minimum de mesures pour les cas où la connexion est impossible. La mémoire doit être dimensionnée en fonction du nombre de capteurs, l'intervalle d'acquisition et le temps maximum avant connexion au système centralisé. Dans un premier temps avec un seul capteur de

température et une fréquence échantillonnage faible, on pourra se contenter dans notre projet de la mémoire du microcontrôleur RFduino.

#### **4) Protocole de communication**

Nous nous concentrons sur le protocole BLE (Bluetooth Low Energie). Celui-ci étant standardisé, il nous permettra de recueillir de la documentation et réaliser des tests de consommation rapides.



## V. Travail effectué de septembre à décembre

La première étape du projet a été de réaliser le cahier des charges. Pour ce faire j'ai réalisé une recherche documentaire, tout d'abord sur l'ensemble des solutions matérielles possibles. Chaque choix de composant est conditionné par sa consommation d'énergie et sa facilité d'implémentation.

La deuxième étape consiste à la réalisation du code de l'application. J'ai pu lors de cette phase réduire la consommation du système par :

- La mise en sommeil de l'application
- La désactivation des convertisseurs analogiques numériques pendant la phase de sommeil
- La réduction de la puissance de la balise BLE

A la troisième étape, j'étudie la norme BLE nécessaire à la compréhension du fonctionnement du protocole de communication et ainsi mieux interpréter les résultats.

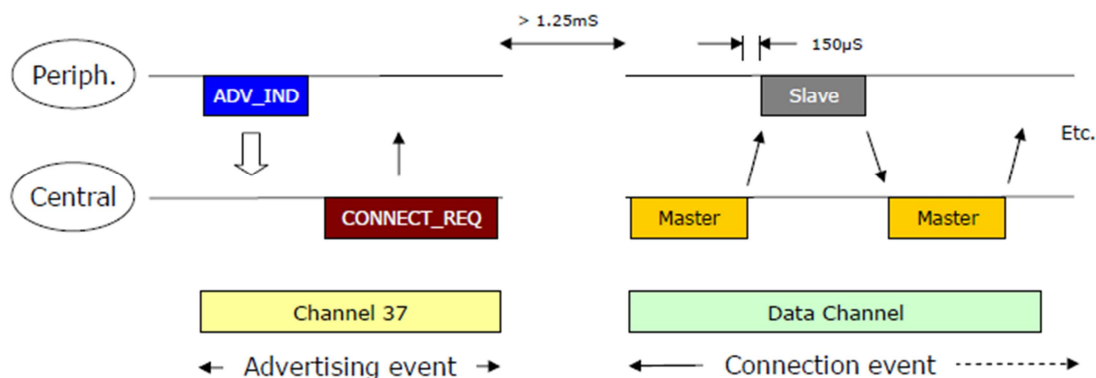


Figure 2. Principe de fonctionnement du protocole BLE

Le BLE permet la communication entre deux appareils. Le périphérique dans notre cas est le système RFduino et le central est une tablette android utilisant l'application BLE. Le protocole peut être séparé en deux phases :

- L'advertising
- La connexion

Dans un premier temps, le système RFduino avertit le central potentiel de sa présence par l'émission du signal advertising. Une fois capté le central envoie une requête de connexion, à l'issue de cette requête le périphérique envoie une réponse au central. A la réception du signal la connexion s'établit. La fréquence de l'advertising est réglable, moins celle-ci est élevée, moins la consommation d'énergie sera grande mais plus long sera le temps de connexion.

La quatrième étape est une phase de test. Celle-ci permet de quantifier l'énergie consommée par le système lors de ces différentes phases de fonctionnement. J'ai relevé la consommation du module RFDunio muni d'un capteur de température. J'ai utilisé deux méthodes de tests :

- Mesure avec une résistance de visualisation
- Mesure avec une sonde de courant

L'insertion d'une résistance en série de 10 Ohms avec l'alimentation provoque des variations de tension d'alimentation, mais c'est la méthode qui a donné les meilleurs résultats, ou du moins les plus exploitables.

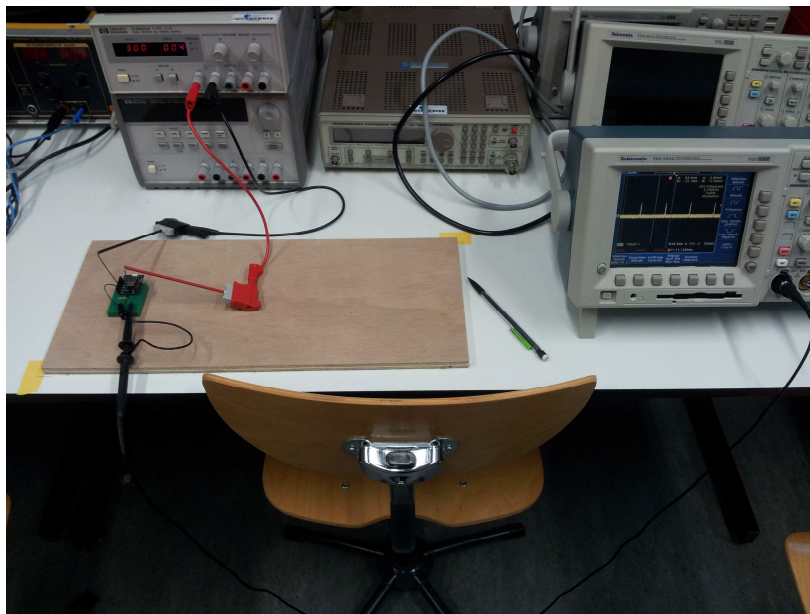


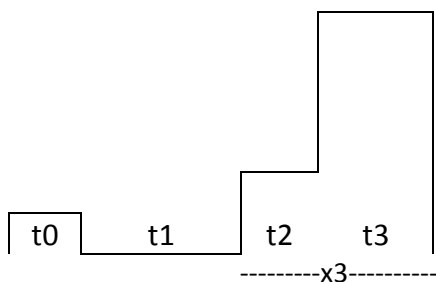
Figure 3. Banc de test

Lors des séances de tests nous avons relevé les profils suivants :

### Trame 1

La Trame 1 correspond à la phase d'advertising c'est-à-dire l'état où le système signale sa présence à un utilisateur potentiel.

Forme d'onde de la phase 1



Energie de la phase 1 :  $[i_0*t_0 + (i_1*t_1 + i_2*t_2 + i_3*t_3)*3]*V$

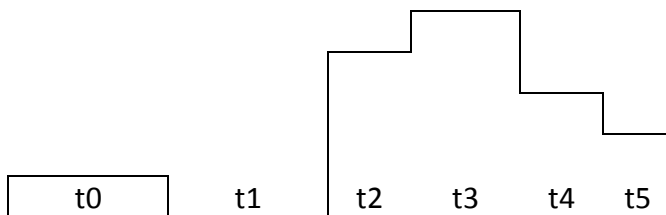
t0	t1	t2	t3
968μs	390μs	600μs	152μs

i0	i1	i2	i3
17mA	5mA	13mA	94mA

### Trame 2

La trame 2 correspond au mode apparié pendant lequel s'effectue l'envoi de données. Cette trame varie en fonction du nombre d'octets transmis jusqu'à un maximum de 8 octets, auquel cas une autre trame est envoyée.

Forme d'onde de la phase 2



Energie de la phase 2 :  $[i_0*t_0 + i_1*t_1 + i_2*t_2 + i_3*t_3 + i_4*t_4 + i_5*t_5]*V$

### Pour 1 octet

t0	t1	t2	t3	t4	t5
250μs	810μs	70μs	150μs	230μs	390μs

i0	i1	i2	i3	i4	i5
27mA	5mA	57mA	76mA	60mA	33mA

### Pour 2 octets

t0	t1	t2	t3	t4	t5
250μs	810μs	80μs	150μs	230μs	390μs

i0	i1	i2	i3	i4	i5
27mA	15mA	57mA	76mA	60mA	33mA

**Pour 4 octets**

t0	t1	t2	t3	t4	t5
250µs	810µS	90µs	150µs	230µs	390µs

i0	i1	i2	i3	i4	i5
27mA	40mA	57mA	76mA	60mA	33mA

**Pour 8 octets**

t0	t1	t2	t3	t4	t5
250µs	810µS	100µs	150µs	230µs	390µs

i0	i1	i2	i3	i4	i5
27mA	50mA	57mA	76mA	60mA	33mA

On constate que la majorité de la trame reste la même : il y a un changement d'intensité au temps t1 et une modification du temps t2.

**Intensité consommée par le processeur : 60 µA**

**Intensité consommée par le convertisseur CAN : 5 mA**

Pour caractériser une transmission, nous avons choisi de travailler sur deux profils, transmission continue et ponctuelle.

1<sup>ère</sup> hypothèse de transfert de données (Max 8 octets sinon on ajoute une trame 2 par tranche de 8 octets):

- 2 Trame 1
- 1 Trame 2
- Temps de latence

2<sup>ème</sup> hypothèse

- Trame 1
- Trame 2/nombre de transmissions

A l'aide de nos relevés et de ces profils, nous avons pu obtenir les comparatifs suivants :

Comparatif de l'énergie consommée par le processeur et l'énergie consommée par la communication en fonction du temps "d'Advertising" (Trame1)

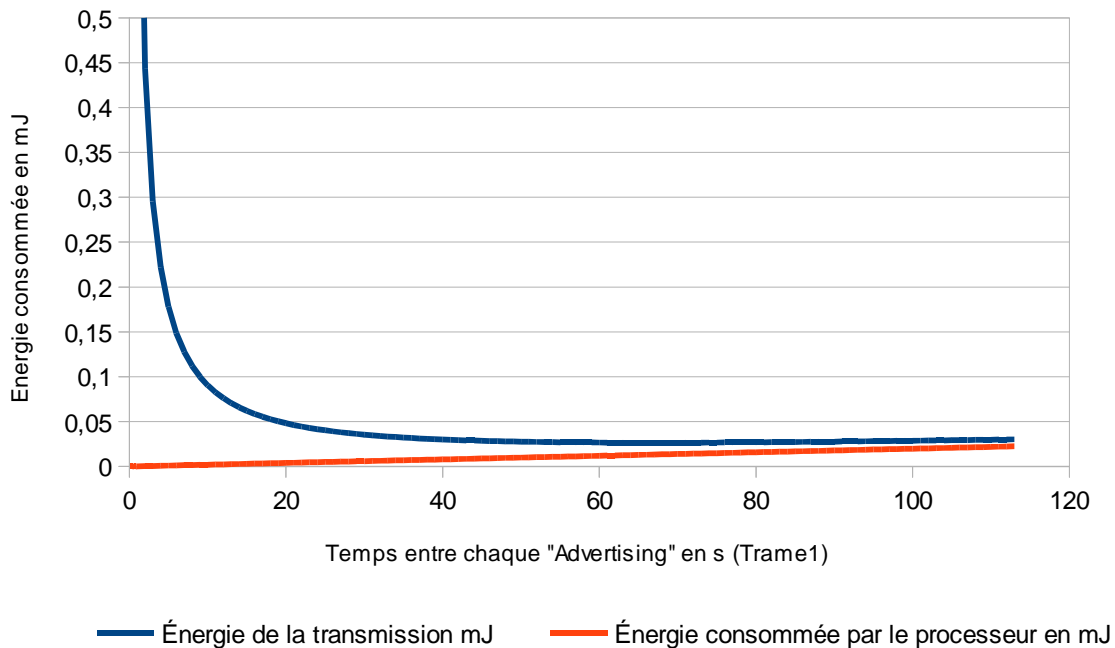
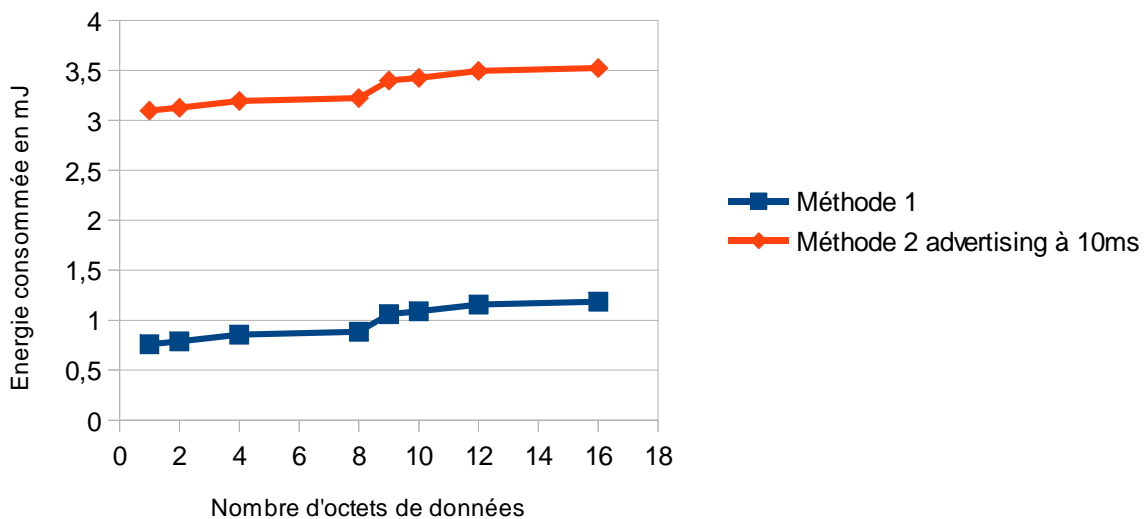


Figure 4. Courbe d'optimisation du temps d'advertising

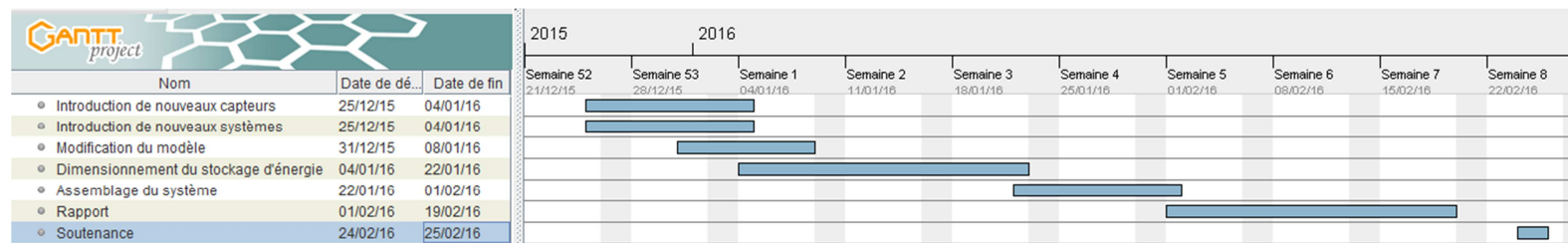
On peut conclure sur ce graphique qu'à partir de 100s entre chaque trame d'advertising l'énergie consommée par la transmission est quasiment confondue avec l'énergie consommée par le processeur. Comme le temps entre chaque advertising conditionne le temps de réponse du système, on peut estimer que 100s est un bon compromis entre consommation énergétique et service client.

Comparaison des modes de transmission



## VI. Planning prévisionnel pour janvier-février

L'objectif de la période de janvier-février est de complexifier notre modèle de façon à introduire d'autres capteurs et observer l'influence de l'introduction de plusieurs systèmes. Nous pourrons d'ores et déjà comparer l'énergie consommée avec l'énergie du système de récupération. Une fois le modèle complexifié nous pourrons dimensionner le système de stockage.



## VII. Conclusion

Lors de ce projet de recherche j'ai pu réaliser des recherches documentaires qui m'ont permis d'établir un cahier des charges ainsi qu'un planning prévisionnel. A la suite de différents essais, j'ai pu obtenir un modèle simplifié de la consommation d'énergie du système. Ce modèle bien qu'incomplet à ce jour nous permettra d'établir des conclusions quant à la faisabilité du système. Dans la suite du projet nous améliorons ce modèle pour nous permettre de présenter un prototype fonctionnel.

## Bibliographie

Consommation du STM32L4 Series :

<http://www.st.com/web/en/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1580?sc=stm32l4>

Réduction de la consommation de l'Arduino :

<http://www.home-automation-community.com/arduino-low-power-how-to-run-atmega328p-for-a-year-on-coin-cell-battery/>

Consommation Raspberry :

<https://www.raspberrypi.org/help/faqs/>

Module BLE :

<http://redbearlab.com/blemini/>

Accéléromètre :

<http://fr.farnell.com/analog-devices/adxl345bccz/accelerometre-3-axes-14lga/dp/1853935>

Capteur température :

<http://fr.farnell.com/stmicroelectronics/stlm20w87f/capteur-de-temperature-analog/dp/1391131>

Accéléromètre + Gyroscope :

<http://fr.farnell.com/invensense/mpu-6050/gyroscope-accelerometer-6-axes-i2c/dp/1864742>

Altimètre :

<http://fr.farnell.com/freescale-semiconductor/mp13115a2/pressure-sensor-20-110kpa-8lga/dp/2009084?ost=MPL3115A2&categoryId=700000004367>

Explications norme BLE :

[chapters.comsoc.org/vancouver/BTLER3.pdf](http://chapters.comsoc.org/vancouver/BTLER3.pdf)

<http://www.argenox.com/bluetooth-low-energy-ble-v4-0-development/library/a-ble-advertising-primer/>