

# Filière Systèmes industriels

Orientation Infotronics

## Projet de semestre 2016

*César Papilloud*


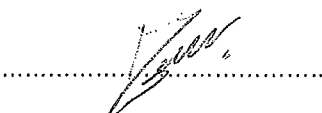
*Monitoring pour pompiers*

- Professeur  
P.A. Mudry
- Date de la remise du rapport  
09.05.2016

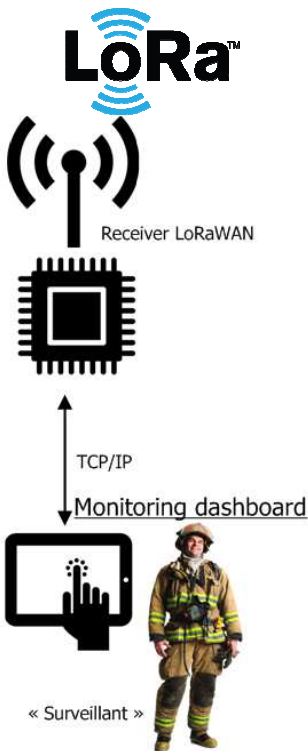
SYND	ETE	TEVI
X	X	X

Filière / Studiengang <b>SYND</b>	Année académique / Studienjahr <b>2015/16</b>	No TD / Nr. DA <b>it/2016/53</b>
Mandant / Auftraggeber <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i>	Etudiant / Student <b>César Papilloud</b>  Professeur / Dozent <b>Pierre-André Mudry</b>	Lieu d'exécution / Ausführungsort <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i>
Travail confidentiel / vertrauliche Arbeit <input type="checkbox"/> oui / ja <sup>1</sup> <input checked="" type="checkbox"/> non / nein	Expert / Experte (données complètes) <b>Dr Julien Pilet</b> Rue Neuve 6a   1020 Renens	

Titre / Titel  <b>Systeme de monitoring distribué pour pompiers</b>
Description et Objectifs / Beschreibung und Ziele  Lors d'un incendie, les fumées sont souvent très opaques. Afin d'améliorer la sécurité des pompiers, l'équipe intervenant dans un bâtiment est aidée par un pompier « surveillant » qui reste à l'extérieur pour assurer la liaison et la sécurité de son équipe. Durant toute l'intervention, le surveillant demande des contrôles des pressions des bonbonnes d'air aux pompiers qui sont à l'intérieur et les inscrit sur papier afin de s'assurer que les réserves d'air sont suffisantes. Relever la pression à travers le masque est peu pratique pour les pompiers et à chaque contrôle ils perdent quelques minutes. Afin de simplifier cette manœuvre, ce projet propose d'automatiser à l'aide d'un système embarqué le relevé de pression ainsi que la transmission des informations. De plus, les informations sur le mouvement et les pulsations cardiaques du pompier seront également transmises au « surveillant » sur une tablette regroupant les données de tous les intervenants.  Objectifs / Ziele Faisant suite à l'étude réalisée durant le travail de semestre, ce travail de diplôme vise à : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Implémenter les solutions analysées pour mesurer les paramètres physiologiques des pompiers durant une intervention</li> <li>– Réaliser la communication de ces données via les protocoles sans fils choisis</li> <li>– Afficher ces informations sur une tablette</li> <li>– Documenter les réalisations effectuées.</li> </ul>

Signature ou visa / Unterschrift oder Visum  Responsable de l'orientation / filière <i>Leiter der Vertiefungsrichtung / Studiengang:</i>   <sup>1</sup> Etudiant / Student : 	Délais / Termine  Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags: <b>17.05.2016</b>  Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts: <b>15.07.2016, 12:00</b>  Expositions / Ausstellungen der Diplomarbeiten: <b>31.08 – 01.09 – 02.09.2016</b>  Défense orale / Mündliche Verfechtung: <b>Semaine / Woche 36</b>
--	---

<sup>1</sup> Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement la directive DI.1.2.02.07 liée au travail de diplôme.  
Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der/die Student/in, sich an die Richtlinie DI.1.2.02.07 der Diplomarbeit zu halten.



## Monitoring pour pompier

Diplômant/e César Papilloud

### Objectif du projet

L'objectif de ce projet est de réaliser l'étude et un prototype pour un système de monitoring pour pompiers en intervention basé sur une communication sans fil LoRa.

### Méthodes | Expériences | Résultats

Dans l'exercice de leur métier, les pompiers et les services de secours sont amenés à se déplacer dans des environnements hostiles et dangereux. Dans ces conditions, un suivi par un pompier nommé « surveillant » est indispensable afin de garantir la sécurité des intervenants. De nos jours, ce suivi est réalisé à l'aide d'une radio. Les pompiers qui interviennent sont équipés d'un appareil respiratoire isolant (ARI) et transmettent par radio les quantités d'air restantes dans les bouteilles. Le « surveillant » prend note de ces informations sur une feuille de papier.

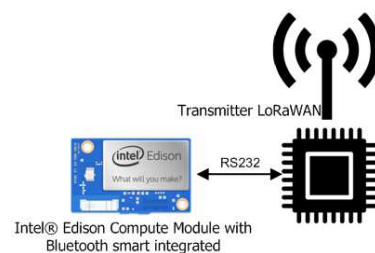
Ce projet propose de monitorer en temps réel à l'aide des paramètres d'un body area network sans fil déployé sur les pompiers. Ce réseau de capteurs permettra de monitorer les paramètres physiologiques et environnementaux de chaque pompier avec des informations sur le pouls, la température, le niveau d'air du système respiratoire ou en encore la présence de danger spécifiques comme des gaz toxiques. Ces informations seront ensuite rapatriées via la transmission LoRa sur une tablette dans le poste de commandement.

Travail de diplôme  
| édition 2016 |

Filière  
*Systèmes industriels*

Domaine d'application  
*Infotonics*

Professeur responsable  
*Pierre-André Mudry*  
*pierre-andre.mudry@hevs.ch*



<b>MONITORING POUR POMPIER .....</b>	<b>3</b>
1 Introduction.....	3
2 But.....	4
2.1 Assurer une transmission robuste .....	5
2.2 Réaliser un body area network .....	5
2.3 Réaliser un moniteur.....	6
3 Structure du rapport.....	6
4 Etude .....	6
4.1 Etat de l'art.....	7
5 Spécification du systeme .....	12
5.1 Body Area Network .....	13
5.2 Carte électronique.....	14
5.3 Gateway LoRa-WiFi.....	15
5.4 Moniteur .....	15
6 Choix des composants.....	15
6.1 Intel Edison .....	15
6.2 Fréquence cardiaque et activité.....	17
6.3 Pression .....	17
6.4 Gateway LoRa .....	19
6.5 Serveur.....	20
7 Développement en details .....	23
7.1 Body Area Network .....	25
7.2 Concentrateur LoRaWAN.....	27
7.3 Serveur.....	27
8 Tests.....	32
8.1 LoRaWAN.....	32
9 Résultats.....	36
9.1 Body Area Network .....	36
9.2 LoRaWAN .....	38
9.3 Application web.....	38
9.4 Prototype actuel.....	39
10 Conclusion.....	40
10.1 Remerciements.....	40
11 Bibliographie et références .....	41
12 Annexes.....	42

12.1	<i>Installation Ubinlinux sur Intel Edison</i> .....	42
12.2	<i>Application nRF Master Control</i> .....	43

# MONITORING POUR POMPIER

## 1 INTRODUCTION

Les pompiers en intervention utilisent un appareil respiratoire isolant (ARI) qui leur permet de survivre dans une atmosphère toxique. Cet appareil comprend une bouteille d'air comprimé (300bar), un support de fixation de la bouteille sur le dos et un masque qui s'adapte avec le casque du pompier. Durant les interventions, il y a plusieurs équipes qui travaillent en même temps avec l'ARI. Un pompier, nommé surveillant, reste à l'extérieur du sinistre pour assurer la liaison entre les équipes et la sécurité. Ils sont tous en communication radio. Le surveillant prend note de toutes les conversations radio et demande à intervalles réguliers les pressions minimums des bouteilles de chaque équipe pour évaluer la quantité d'air restante.

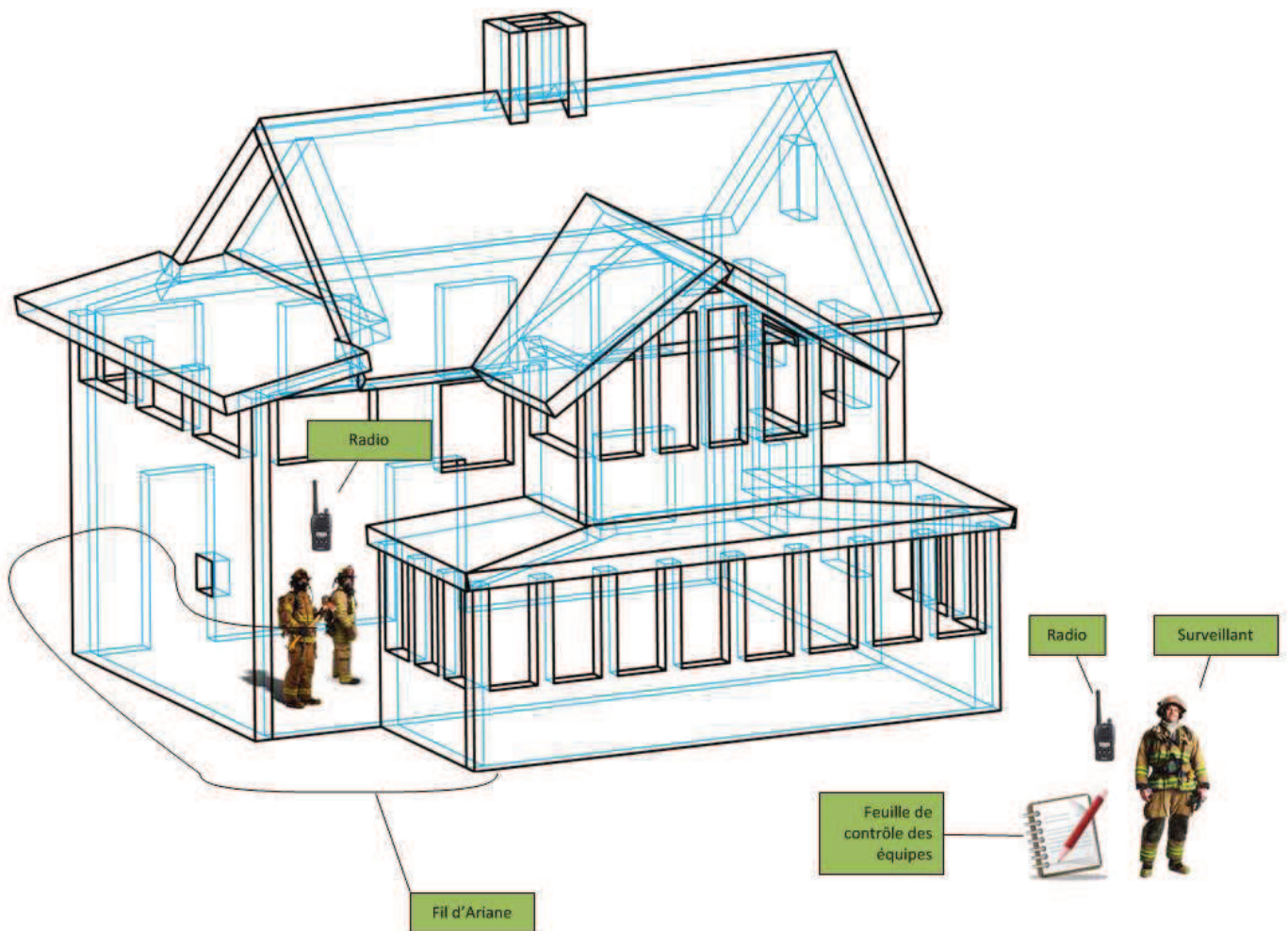


Figure 1 - Fonctionnement des pompiers actuellement

Durant ces opérations, il y a des problèmes qui apparaissent en pratique.

- Premièrement, dans certains bâtiments la liaison radio peut être difficile voire impossible en raison des armatures métalliques et d'autres éléments d'infrastructure bloquant la transmission directe des ondes radio. La compréhension devient alors compliquée amenant à devoir répéter de multiples fois les informations. Or, relever la pression à travers le masque est peu pratique et chaque contrôle fait perdre quelques minutes. La durée d'intervention du pompier est restreinte par la quantité d'air des bouteilles. Une bouteille dure en moyenne entre 30 et 45 min.
- Deuxièmement, dans le cadre d'un incendie par exemple, les fumées sont souvent opaques et toxiques. L'équipe d'intervention est aidée par un pompier « surveillant » dont le rôle est de s'assurer de la liaison et la sécurité de l'équipe. Durant toute la durée de l'intervention, le surveillant demande des contrôles des pressions des bonbonnes d'air aux pompiers et prend des notes sur papier afin de s'assurer que les réserves d'air sont suffisantes. Cet exemple montre que l'automatisation de cette surveillance permettrait d'augmenter l'efficacité et la sécurité durant les interventions

Un système de monitoring de la pression de tous les pompiers en intervention permettrait de pallier à ces différents problèmes. De plus, un body area network sera déployé sur le pompier, ce qui va permettre de mesurer la pression d'air des bouteilles, mais également de mesurer le pouls et l'activité du pompier. Une réception des constantes vitales par le surveillant permet de monitorer en temps réel l'état des équipes et augmente la rapidité d'intervention d'une équipe de secours en cas de problèmes.

## 2 BUT

Le but principal de ce projet sera ainsi de développer un prototype composé d'un body area network qui sera déployé sur le pompier, réaliser une communication robuste pour la transmission des données pour le monitoring technique et physiologique des pompiers, et un affichage des valeurs mesurées sur le pompier sur un moniteur tel qu'un ordinateur ou une tablette du marché. On peut donc séparer le travail en trois étapes illustrées par la figure 2 et présentées ci-dessous.

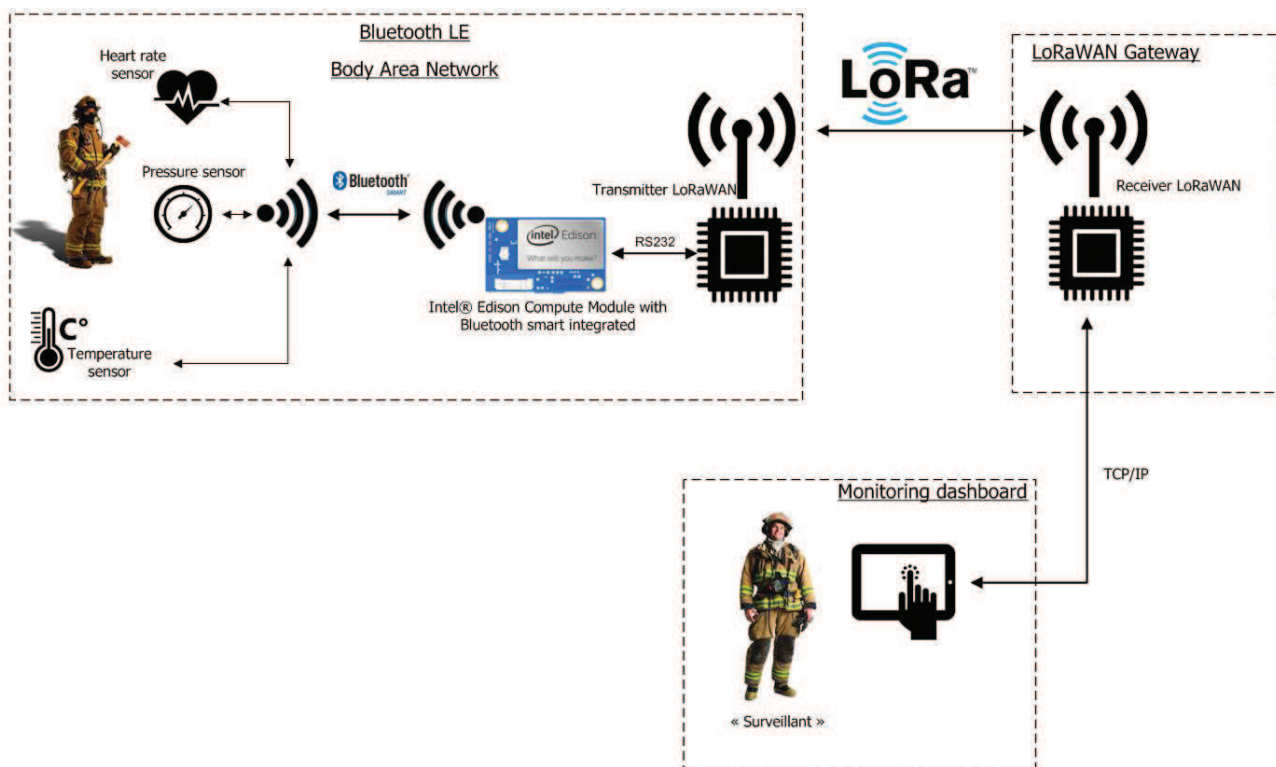


Figure 2 - Schéma de principe du système

## 2.1 Assurer une transmission robuste

Afin d'assurer la transmission de ces données physiologiques et environnementales, la fiabilité de la liaison radio doit être garantie quel que soit l'environnement. En effet, dans les interventions, les pompiers sont confrontés aux feux, qui produisent beaucoup de particules lourdes qui empêchent les ondes radio de se déplacer convenablement. Les bâtiments sont souvent grands et entourés de structures métalliques qui composent les murs et les fondations. Les feux peuvent se déclarer dans n'importe quel endroit d'un bâtiment. Que ce soit au dernier niveau d'un parking ou le sommet d'un immeuble. La communication des mesures doit être assurée.

## 2.2 Réaliser un body area network

Pour garantir la sécurité des pompiers et simplifier un peu leur tâche, nous déploierons sur les pompiers eux-mêmes un réseau corporel de capteurs (*body area network*) consistant en trois capteurs au minimum. Il y aura un capteur de pression pour les bouteilles d'air comprimé permettant de déterminer le niveau de la réserve d'air, un capteur de pulsations permettant de surveiller le rythme cardiaque du pompier ainsi qu'un thermomètre permettant de surveiller la température. Pour réaliser cet objectif, il s'agira ici d'utiliser des capteurs Bluetooth LE existants dans le commerce et de les faire communiquer avec un système embarqué. Ce système embarqué pourra alors transférer les informations du body area network vers le surveillant grâce au réseau robuste.



L'objectif de cette partie est clairement de pouvoir mesurer des paramètres importants sans gêner le pompier (poids, encombrement).

## **2.3 Réaliser un moniteur**

Durant l'intervention, un pompier nommé « surveillant » surveille les équipes travaillant dans le bâtiment. A la place d'un papier, il sera équipé d'un moniteur temps réel de tous les pompiers. Ce moniteur sera sous la forme d'une tablette tactile du commerce ou bien d'un ordinateur installé dans un véhicule. Cet affichage doit pouvoir afficher différentes équipes d'intervention. Le surveillant peut à tout moment modifier la composition des équipes. Le moniteur affiche clairement les données acquises des pompiers et émet une alarme sonore et visuelle en cas de problème avec un intervenant. Un suivi en temps-réel des modifications sous forme de graphique peut être sélectionné pour permettre au surveillant de comprendre la difficulté de l'intervention, ce qui lui permet de demander un appui des équipes en attente.

## **3 STRUCTURE DU RAPPORT**

Ce rapport explique les différentes étapes de la recherche liée au monitoring pour pompier, et la réalisation du prototype. On trouve

- Un cahier des charges pour centrer les buts du projet.
- Les différentes problématiques du choix des composants comprenant une description des choix et une partie implémentation du système.
- Une description des résultats obtenus, des problèmes rencontrés durant la conception du prototype et des tests effectués.
- Des propositions de résolution pour l'avenir du projet, et une conclusion sur son ensemble.

## **4 ETUDE**

Durant ce travail de diplôme, différents domaines de l'informatique et de l'électronique vont se côtoyer. Le temps à disposition est restreint et les défis sont conséquents. Le projet va se dérouler en différentes parties qui vont pouvoir être mises en commun à la fin du projet. Il va y avoir plusieurs étapes de réalisation importante. Ces étapes comprennent :

- Un body area network sur le pompier.
- Une réception des mesures directement sur le pompier.
- L'envoi des mesures via une transmission robuste.
- Réception des données sur un affichage.

Pendant le 6<sup>ème</sup> semestre d'étude, un module se nomme projet de semestre et permet de commencer les recherches liées au futur travail de diplôme. Durant ce module, j'ai pu travailler sur les différents composants relatifs au système de prototype. J'ai donc pu m'appuyer sur ces recherches pour commencer ce travail. C'est dans cette période que j'ai commandé les différents composants du système détaillés dans un chapitre prochain. Les buts étaient centrés sur la prise en main du projet et les recherches sur les possibilités de développement.

## 4.1 Etat de l'art

Le domaine des secours commence progressivement à intégrer des outils technologiques afin de simplifier le travail des intervenants. Par exemple, l'entreprise Tyco a présenté en avril dernier un masque de protection<sup>1</sup> pour les pompiers intégrant une caméra thermique et un système de visualisation intégré (cf Figure 3).



Figure 3 - Thermal intelligence system mask, source Tyco (ref note bas de page)

De la même manière, des applications sur tablette, spécifiquement développée pour les secours, sont également disponibles depuis peu (voir ainsi par exemple <http://www.publiceyes.com/>). Cette tendance semble ainsi s'inscrire dans la durée et est un bon indicateur que le projet proposé est dans une tendance actuelle en adéquation avec la réalité du terrain.

Dans le domaine de la surveillance des pompiers, relativement peu de travaux ont été réalisés et nous présentons ici les trois plus pertinents dans le cadre de ce projet.

Le projet le plus innovant est un système mis au point en 2011 par le département de la sécurité intérieure aux Etats-Unis afin de diminuer les risques de décès des pompiers. En effet, en raison de l'effort physique et du stress mis en œuvre durant une intervention, les accidents vasculaires comptent pour 45 % des décès durant les interventions et les risques sont augmentés d'un facteur 10 pour cette population. Le système mis au point, nommé PHASER [PHA], est un prototype permettant d'enregistrer les paramètres physiologiques du pompier (température du corps, paramètres de la circulation sanguine comme le pouls et le taux d'oxygène).

---

<sup>1</sup> <http://www.scottssafetynation.com/scott-safety-latest-product-launches-demonstrate-commitment-to-innovation/>,  
accédé le 15.5.2016



Figure 4 - PHASER prototype, source [PHA]

Une fois le pompier revenu de l'intervention, les données sont analysées et couplées à des questionnaires afin de pouvoir détecter les situations à risques. Dans ce système les données ne sont pas transmises. A notre connaissance, le système est resté à l'état de prototype et n'a pas donné lieu à un déploiement à large échelle.

Dans le domaine de la localisation, un système de mapping indoor spécifique aux pompiers a été présenté dans [GLA]. Ce projet s'est principalement intéressé à la localisation des pompiers en intérieur et propose des solutions innovantes dans le domaine. En raison de sa complexité, cette thématique ne sera pas abordée ici.

Finalement, une patente déposée en 1997 [STU] propose un système d'alerte à porter qui détecte les mouvements du pompier et la température du corps. Si la température s'élève et que pendant une certaine période aucun mouvement n'est détecté, le système déclenche une alarme visuelle et sonore. Ce système n'est pas connecté mais met en avant la thématique des *body area network*, des réseaux de capteurs se trouvant directement sur le corps.

De manière générale, ceux-ci sont aujourd'hui très en vogue, notamment dans le domaine sportif et de la santé digitale (pour le suivi d'activité par exemple). Cette vague résulte d'un grand nombre de travaux de recherches (par exemple [MON]) qui ont débouché sur une bonne disponibilité commerciale de périphériques à bas coût. Ces développements sont rendus possibles par le développement de standards pour la communication de ces capteurs (notamment grâce aux profils Bluetooth LE) et par la prévalence des smartphones qui permettent facilement de rajouter de la puissance de calcul et de la communication. Nous profiterons de ces avancées dans le projet en utilisant de tels capteurs.

#### 4.1.1 Communication robuste

L'internet des objets (IoT) est annoncé comme le moteur de la prochaine évolution de l'informatique après le Web 2.0. Après l'interconnexion quasi totale des ordinateurs sur le web, l'IoT consiste en la création d'un réseau d'objets physiques de toute nature. Incluant autant des véhicules, des bâtiments en passant par les objets du quotidien comme un frigo par exemple, ces objets connectés incluent des systèmes embarqués afin de mesurer et collecter des données.

L'un des principaux challenges de cette révolution est de rassembler, visualiser et analyser les données de ces multiples objets afin de leur donner un sens. Les éléments

nécessaires à cette révolution sont doubles : d'une part il faut que des solutions hardware a un coût raisonnable existent et, d'autre part, il faut que ces éléments puissent communiquer. Dans le contexte des objets connectés, il est nécessaire de prendre en compte le fait que les objets puissent se déplacer, ce qui induit une connexion sans fil et longue portée, et qu'ils soient autonomes du point de vue énergétique, ce qui implique un design peu gourmand en énergie afin d'assurer une autonomie correcte. Ce nouveau type de réseau, nommé *Low-Power Wide-Area Network* (LPWA), est couvert par quelques protocoles très récents qui ont vu le jour afin de combler ces défis de communication sans fil, comme mis en avant sur la figure suivante :

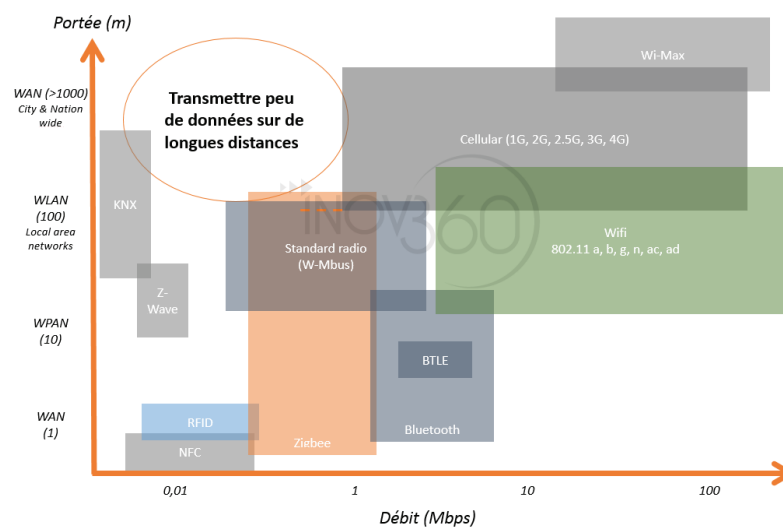


Figure 5 - Réseaux M2M actuels et futurs : <http://www.inov360.com/blog/wp-content/uploads/2014/01/>

Aujourd'hui dans le domaine liant longue distance / basse consommation et bas débit, deux acteurs principaux offrent des solutions disponibles commercialement :

1. *Sigfox*<sup>2</sup>, un réseau développé par une entreprise française qui propose une infrastructure utilisant des antennes et des stations centralisées. Utilisant la bande de fréquence des 868 MHz en Europe, ce réseau utilise une modulation à bande étroite et nécessite le déploiement d'une infrastructure de support (antennes) qui aujourd'hui peine encore à être déployée en dehors de quelques sites pilotes. La bande passante est extrêmement faible, à savoir 13 kiBytes par jour. La consommation électrique est par contre très réduite.

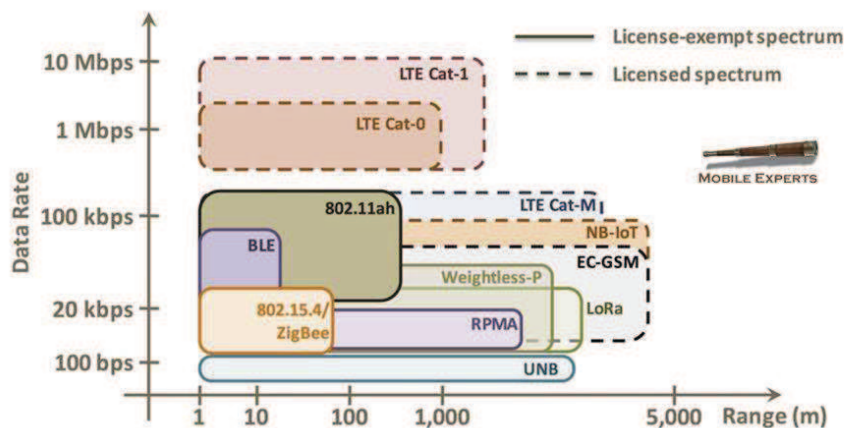
2. *LoRa* est une technologie de réseau *machine to machine* (M2M) promu par une alliance et utilisant une technologie développée par Semtech<sup>3</sup>. Cette technologie est également basée sur une radio à 868 MHz mais utilise une modulation *chirp spread*

<sup>2</sup> <http://www.sigfox.com>

<sup>3</sup> <http://www.semtech.com>

*spectrum* (voir [PIN]) qui permet d'augmenter considérablement la distance de transmission. Ainsi, il est possible avec une telle modulation et des kits du commerce d'atteindre des distances aux alentours des 10 – 13 km en champ libre, ceci à un débit de l'ordre de 30 kBits par seconde. L'un des grands avantages de cette technologie est qu'il est possible – mais non requis - d'utiliser des antennes relais pour réaliser un réseau à plus longue portée. De plus, l'adoption par de grands noms des semiconducteurs de la technologie (*Microchip*, un grand fabricant de puces électroniques, venant par exemple d'annoncer une première gamme de produits<sup>4</sup>) montre sa pertinence économique.

D'ici à quelques années (les prévisions optimistes misant sur 2018), les technologies LTE telles que Cat-M1 ou NB-IoT, basées sur les réseaux cellulaires, viendront compléter cette offre (voir Figure 6).



Les études de normalisation et les experts [LIOT] font clairement état de débit plus élevé mais avec des consommations plus grandes et des coûts plus élevés également. Toutefois, à ce jour ces technologies ne sont pas encore déployées et il est clairement trop tôt pour pouvoir accéder à des outils de développement

#### 4.1.2 LoRaWAN

Dans ce contexte, l'usage de LoRa est intéressant car d'une part c'est la technologie de communication donnant la plus longue distance sur une plage de fréquence libre d'emploi. Qui plus est – et c'est là l'un des grands avantages de cette technologie – LoRa est prévu dès le départ pour être déployé sur le terrain. En effet, sur la couche physique LoRa est défini un protocole de communication nommé LoRaWAN. Ce protocole permet grâce à des gateways (des antennes disposées stratégiquement dans les villes par exemple) d'offrir un niveau de couverture très grand avec peu de ressources. De plus, l'architecture du protocole lui permet de garantir notamment la sécurité des données (qui sont cryptées) et la qualité du service. Ce protocole permet ainsi de faire un pont entre les réseaux LoRa et le monde IP de manière très transparente et cryptée.

<sup>4</sup> <http://www.microchip.com/design-centers/wireless-connectivity/embedded-wireless/lora-technology>

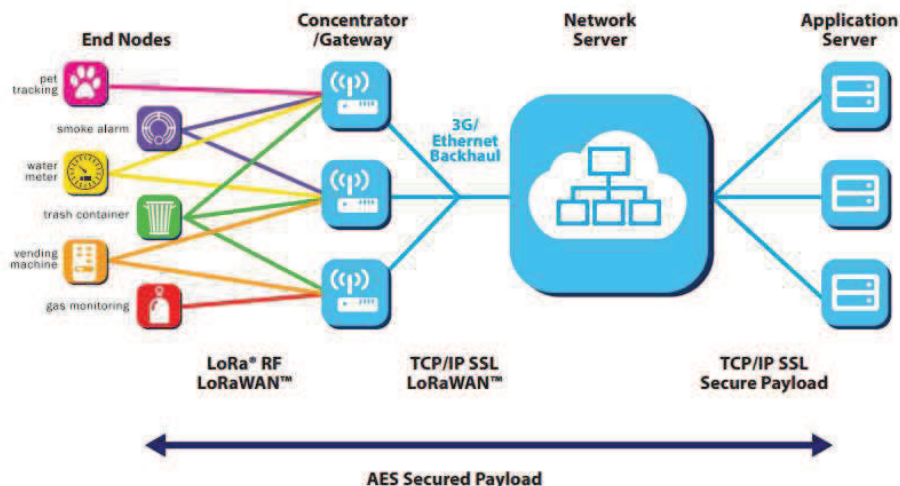


Figure 7 - Topologie de réseau LoRaWAN [TOV, p. 8]

Au niveau des connections, l'architecture du réseau permet que les nœuds terminaux soient connectés à un ou plusieurs gateways qui se chargent ensuite de faire la conversion des messages. Il s'agit là donc d'un réseau en étoile dans lesquels les nœuds envoient leurs informations à un ou plusieurs gateways qui les transmettent, via un réseau IP standard, vers un serveur centralisé dans lequel l'ordonnancement des messages est effectué et les doublons éliminés. Le serveur effectue également les contrôles de sécurité nécessaires pour garantir l'authenticité des messages. En repoussant les opérations complexes vers un serveur centralisé, le protocole des nœuds demeure simple et permet d'économiser de l'énergie.

Il est intéressant de constater que si LoRa permet de connecter deux nœuds très simplement, LoRaWAN permet d'augmenter la couverture globale du réseau. Ainsi, quelques gateways suffisent à couvrir une ville. En Suisse, Swisscom a d'ores et déjà installé sur certaines de ses antennes à Zürich et Genève de tels gateways LoRa (qui est nommé LPN dans leur terminologie) et vendent toute un service pour rapatrier facilement des données (la partie bleue de la Figure 7). Cette approche fonctionne visiblement bien pour eux, Swisscom ayant récemment diffusé une information (mars) explicitant son intention de couvrir plus de 75 % de toute la Suisse avec du LoRa et ceci pour fin 2016 (voir <http://lpn.swisscom.ch/F/>). Cet exemple n'est pas spécifique à la Suisse et d'autres pays suivent la tendance (15 à ce jour, plus de 100 villes<sup>5</sup>).

LoRaWAN permet une communication longue distance **en extérieur** et est supporté par des grands noms de la communication. En proposant un protocole de communication et une couche physique efficace, nous avons les éléments de base pour réaliser une partie importante du projet qui est de garantir une longue distance de communication **en intérieur**.

<sup>5</sup> Information tirée du site Web de LoRa alliance, <https://www.lora-alliance.org/What-Is-LoRa/LoRaWAN-Videos>, accédé le 20.6.2016



### 4.1.3 Bluetooth smart 4.0

Le bluetooth low energy aussi appelé bluetooth smart ou bluetooth 4.0 est une amélioration du bluetooth traditionnel. Il a été développé spécialement pour l'internet des objets. Il permet une connexion bas débit pour réduire considérablement la consommation en énergie. Il est le protocole de plus en plus répandu pour les systèmes embarqués grâce à ses fonctionnalités :

- Consommation extra basse en mode normale et inactif. Digikey a réalisé des tests de consommation et arrive à 0.15mW<sup>6</sup> avec un courant de 61uA.
- Habilité à fonctionner plusieurs années avec des batteries standards de type CR2032
- Interopérable avec de multiples vendeurs.

Le bluetooth low energy convient très bien au body area network. Cette technologie de communication de par ses avantages est adaptée aux circonstances. Le bluetooth est largement utilisé dans le domaine de la mesure et le suivi des sportifs. On peut acheter sur le marché différents bracelet et capteurs qui implémentent cette technologie. On peut donc compter sur plusieurs années de recherche et de tests

## 5 SPÉCIFICATION DU SYSTEME

Dans ce chapitre, il est expliqué les différents besoins du système et ses spécifications techniques. Pour introduire les spécifications, une explication sur la température des feux permet de comprendre que le système futur devra résister à de forte contrainte.

Un feu domestique typique peut couver pendant plusieurs heures avant de se déclarer. Lorsque la température en haut d'une pièce atteint plusieurs centaines de degrés, la température des autres surfaces de la pièce commence à augmenter également. La propagation du feu s'accélère à partir de 400 °C. À 500–600 °C, toutes les surfaces combustibles d'une pièce s'enflamment sous l'effet d'un embrasement instantané. Dans les appartements modernes, la durée entre le début de l'incendie et l'embrasement instantané est généralement de 3–5 minutes. Après un embrasement instantané dans un feu complètement développé, la température peut atteindre 1000–1200 °C (sources<sup>7</sup>).

On comprend donc que tous les capteurs ou électroniques sur le pompier devront être protégés par un boîtier ou autre.

---

<sup>6</sup> Digikey power consumption report : <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2011/aug/comparing-low-power-wireless-technologies>

<sup>7</sup> Explication prise sur site web : [http://www.paroc.be/savoir-faire/securete-en-cas-dincendie/informations-generales-concernant-les-incendies?sc\\_lang=fr-FR](http://www.paroc.be/savoir-faire/securete-en-cas-dincendie/informations-generales-concernant-les-incendies?sc_lang=fr-FR)

## 5.1 Body Area Network

Chaque pompier sera équipé de différents capteurs qui permettront de suivre en temps réel les données physiologiques et environnementales. Un capteur de pression va mesurer la quantité d'air restante dans les bouteilles. Un bracelet de type fitness va mesurer le pouls du pompier et l'activité de celui-ci. Les deux capteurs vont transmettre leurs mesures via le protocole Bluetooth smart. L'utilisation de ce protocole réduit la consommation d'énergie des capteurs ce qui leur permet d'être alimentés seulement par une pile ou une batterie. Cette technique évite un système de câblage qui pourrait gêner le travail du pompier. Ce protocole est de nos jours devenu très populaire par sa facilité de mise en œuvre et par le support disponible. Par ailleurs, beaucoup de carte de développement disponible sur le marché implémente déjà des puces BLE (Bluetooth Low Energy).



Figure 8 – Body Area Network



### 5.1.1 Pression

Le capteur de pression est installé sur le cacolet où est fixée la bouteille d'air comprimé. Il va mesurer la pression restante dans la bouteille pour donner une information de consommation dans le temps et connaître le temps restant avant de devoir sortir de l'intervention.

- Pression de mesure : 350 bars
- Autonomie: min. 24 h
- BLE si possible

### 5.1.2 Bracelet

Un bracelet équipera un poignet du pompier. Ce bracelet mesure la fréquence cardiaque en temps réel. Il mesure également l'activité avec l'aide d'accéléromètres. La fréquence cardiaque va donner une information capitale pour le surveillant. Il pourra juger de la difficulté de la mission des pompiers qui travaillent et prévoir un tournus plus conséquent. L'activité du pompier est également intéressante. En effet si un problème survient, une alarme sera envoyée au surveillant qui va pouvoir s'acquiescer de l'état du pompier par radio et éventuellement envoyer une équipe de secours.

- Mesure de la fréquence cardiaque
- Mesure de l'activité
- Autonomie : min. 24 h
- BLE

## 5.2 Carte électronique

Pour centraliser les données avant de les envoyer au surveillant, une carte électronique sera présente sur le porteur d'appareils. Cette carte va réceptionner les mesures des capteurs et les transmettre au surveillant via une transmission sécurisée et robuste. Cette carte va fonctionner comme forwarder pour les mesures.

- USB ou RS232 (interface avec carte semtech)
- BLE
- Autonomie : min. 24h

## 5.3 Gateway LoRa-WiFi

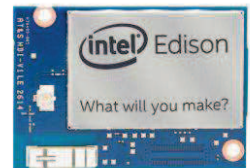
Le gateway va faire le lien entre tous les pompiers, respectivement toutes les cartes électroniques. C'est elle qui va recevoir les données et les transmettre sur un réseau WiFi de plus petite portée. Le récepteur et transmetteur utilisera la technologie LoRa. Cette technologie permet de réaliser un réseau propriétaire d'internet des objets (IoT) de longue distance et de pouvoir gérer une grande quantité d'objet comme la carte de mesure des pompiers.

- Nombres de device LoRa à supporter : min. 50

## 5.4 Moniteur

Le moniteur de type ordinateur ou tablette tactile du marché utilisera le réseau TCP/IP pour la réception des mesures du body area network. Elles sont ensuite visualisées via une application dédiée. Cette application va montrer les différents groupes de travail avec les noms des personnes dans chaque groupe, la consommation instantanée, le temps restant avant repli, la réserve vitale et signalera les problèmes d'inconscience.

# 6 CHOIX DES COMPOSANTS



## 6.1 Intel Edison

Intel propose un micro ordinateur spécialement développé pour le système embarqué et l'internet des objets. Cette petite carte a reçu un processeur Intel® Atom™ @ 500MHz et 1GB de RAM LPDDR3 @ 400MHz. Il intègre également de base un dongle bluetooth 4.0 et un dongle WiFi.

Compatible avec les cartes de développement Arduino, ce micro-ordinateur est l'outil idéal pour commencer le développement d'un prototype. Il est potentiellement intégrable directement sur ce projet, car avec son rack GPIO, nous pourrions directement fabriquer une carte avec une puce LoRa de Semtech.

Site internet Emutex Lab's : <http://www.emutexlabs.com/ubilinux>



Durant ce projet le développement se fait sur une distribution Ubilinux de chez emutex labs. Cette distribution est un linux embarqué basé sur Debian « Wheezy ». Spécialement développé pour les systèmes embarqués qui ont des capacités de stockage et de mémoires limitées. Intel propose d'utiliser la distribution « Yocto ». Elle n'a pas été retenue dans ce projet car elle ne dispose pas de gestionnaire de paquet « apt-get », ce qui aurait ralenti fortement le développement.

Ce système embarqué est le centre névralgique du body area network. Il interface tous les capteurs BLE avec le monde extérieur qui est connecté via une carte de développement LoRa.

### 6.1.1 Carte de développement LoRa

Pour un précédent projet, l'HES-So avait commandé une plateforme de développement nommé « Longe Range Radio Starter Kit» produit par la firme IMST GmbH<sup>8</sup>. Cette entreprise est spécialisée depuis 1999 dans la communication radio dans différentes bandes de fréquence. Elle propose des kits de développement spécialement dédié et certifié LoRa par la LoRa Alliance. C'est ce kit qui va être utilisé dans ce projet.



Figure 9 - IM880A et la carte de démonstration

Ce kit comprend deux cartes électroniques (cf. figure 9) intégrant un cortex- M3 et une puce SX1272 de chez Semtech pour communiquer en LoRaWan. Ces boards propose également un port USB pour le paramétrage de l'antenne LoRa et la commande de cette dernière. Sur le site internet de IMST GmbH, on trouve une partie téléchargement qui propose un programme de test des boards. On trouve de même un code d'exemple en C/C++ adapté utilisant les bibliothèques QT. Les datasheets sont également disponibles pour étudier le fonctionnement de ces cartes.

Grâce à ce kit, nous avons pu mettre en place un programme de test d'envoi de trame LoRaWan. Avec une adaptation adéquate (expliqué dans le chapitre de développement), il a été possible de compiler ce code sur la board Intel Edison et se connecter sur la carte IM880A.

<sup>8</sup> Information tirée du site web IMST GmbH <http://www.wireless-solutions.de/>

## 6.2 Fréquence cardiaque et activité

Pour acquérir la fréquence cardiaque et l'activité du pompier durant l'intervention, nous utilisons un bracelet de type fitness. Le marché actuel propose une multitude d'appareil prêt à l'emploi. Le choix s'est révélé difficile. Après plusieurs recherches, le choix s'est porté sur la marque M1 Angel Sensor qui propose différents bracelets capteurs. La première idée a été de pouvoir utiliser le kit de développement openSource que propose cette marque d'appareil. Leur site met en avant la recherche et le développement d'application dédiée à la médecine.



[Site internet Angel Sensor](http://angelsensor.com/) : <http://angelsensor.com/>

Ce bracelet est fabriqué pour les développeurs. Le prix est également moins cher que la concurrence, car ils ne fournissent pas d'application fiable mais une application de test qui se trouve encore en développement open source.

Prix : 100\$

Après réception du bracelet, le choix s'est révélé médiocre. En effet, la qualité du hardware n'est pas au rendez-vous. La mesure principale étant le rythme cardiaque, une précision de mesure doit pouvoir être obtenue, cependant, après quelque test, les résultats ne sont pas convaincants. Les résultats sont expliqués dans un prochain chapitre.

La mesure du pouls est mise uniquement en notification. C'est-à-dire, un mode de transmissions des valeurs seulement quand la mesure est effectuée. Il n'est donc pas possible de lire la valeur du pouls à un moment voulu. Il est nécessaire d'attendre la notification qui n'est pas envoyée à intervalle régulier.

On remarque également en testant ce bracelet avec l'application par défaut qu'il est difficile d'avoir les valeurs correctement, le bouton principal ne fonctionne pas à tous les coups. Dans l'ensemble, ce bracelet ne fonctionne pas bien. Le choix de ce capteur n'est donc pas optimal.

## 6.3 Pression

Le capteur de pression doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Pression de mesure : 350 bars
- Basse consommation d'énergie
- Communication bluetooth low energy
- Fonctionnant sur batteries



SERIES: TDWLB

Le seul capteur sur le marché qui propose toutes ces caractéristiques est le capteur de pression de chez Transducers direct. Une entreprise située aux États-Unis.

Site internet Transducers Direct: <http://www.transducersdirect.com/wireless-bluetooth-pressure-transducers-tdwlb>

Ce fabricant fournit une base de données qui permet de développer sa propre application après avoir signé un NDA. Après négociation avec le fabricant, il nous a été possible d'utiliser leurs informations de connexion sur le capteur.

Une erreur d'interprétation a été commise. La gamme de mesure doit pouvoir atteindre au maximum 350 bars. La gamme commandée autorise la mesure jusqu'à 25 bar. L'erreur provient d'une mauvaise recherche de départ. En premier lieu, nous comptions mesurer la pression dans le circuit du deuxième étage de décompression du système respiratoire. Hélas, cette pression ne permet pas de calculer la quantité d'air contenue dans la bouteille.

Pour pouvoir respirer l'air des bouteilles à 300 bars, les pompiers utilisent deux détendeurs. Le premier abaisse la pression de la bouteille à une valeur constante d'environ 15 bars. Cette pression ne change pas. La deuxième étape abaisse à son tour la pression à environ 1 bar qui est la pression atmosphérique.

Des discussions avec monsieur Vlad Hasmatuchi m'a permis de comprendre qu'en mécanique des fluides, la pression en amont d'un détendeur ne peut pas être mesurée à partir de son aval. Le système de détente du gaz est fait avec un détendeur à piston compensé<sup>9</sup>. Il est donc pas possible de mesurer la pression de la bouteille avec le capteur commandé.

La commande est donc erronée. Cependant, la gamme du capteur ne change pas la technique de communication en BLE. Il est donc possible de réaliser le prototype. La différence étant que le capteur ne pourra pas être installé sur un cacolet de pompier, mais seulement sur une pression de test ne dépassant pas les 25 bars. Il suffira lors de test sur le terrain, de commander un nouveau capteur avec cette fois-ci la bonne gamme de mesure. Une simple modification d'adressage suffira à connecter ce dernier.

---

<sup>9</sup> Explication détendeur à piston compensé : <http://slideplayer.fr/slide/1302101/>

## 6.4 Gateway LoRa

Pour la réception des données LoRa, il est nécessaire d'avoir un concentrateur. L'entreprise IMST GmbH a conçu un concentrateur (iC880A - LoRaWAN Concentrator 868MHz<sup>10</sup>). Cette carte permet de recevoir des paquets de différents terminaux qui envoient leurs paquets avec différents paramètres SF et sur plusieurs plages de fréquences. Elle peut travailler sur huit canaux en parallèles.

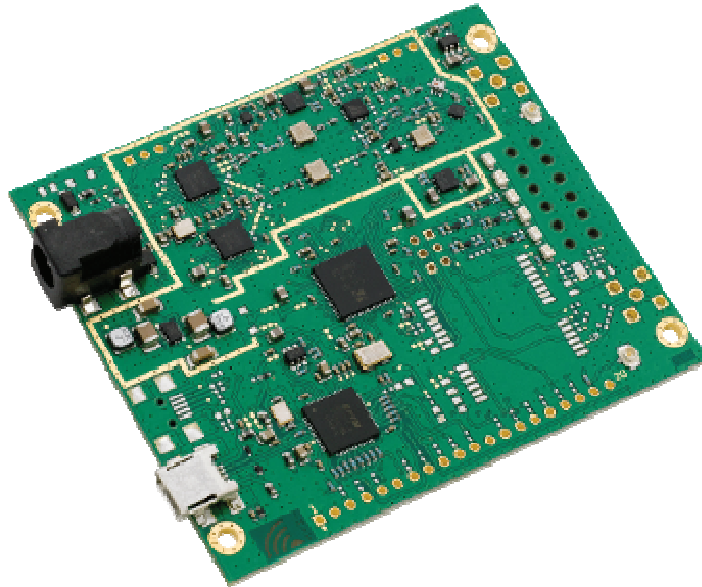


Figure 10 - iC880A - LoRaWAN Concentrator 868MHz

En combinaison avec un système embarqué basé linux comme un Raspberry Pi, un gateway LoRaWAN™ peut être mis en place facilement. La marche à suivre pour la mise en place de ce concentrateur est disponible sur GitHub<sup>11</sup>.

Lorsque le système est en place, on obtient une topologie comme montré dans la figure

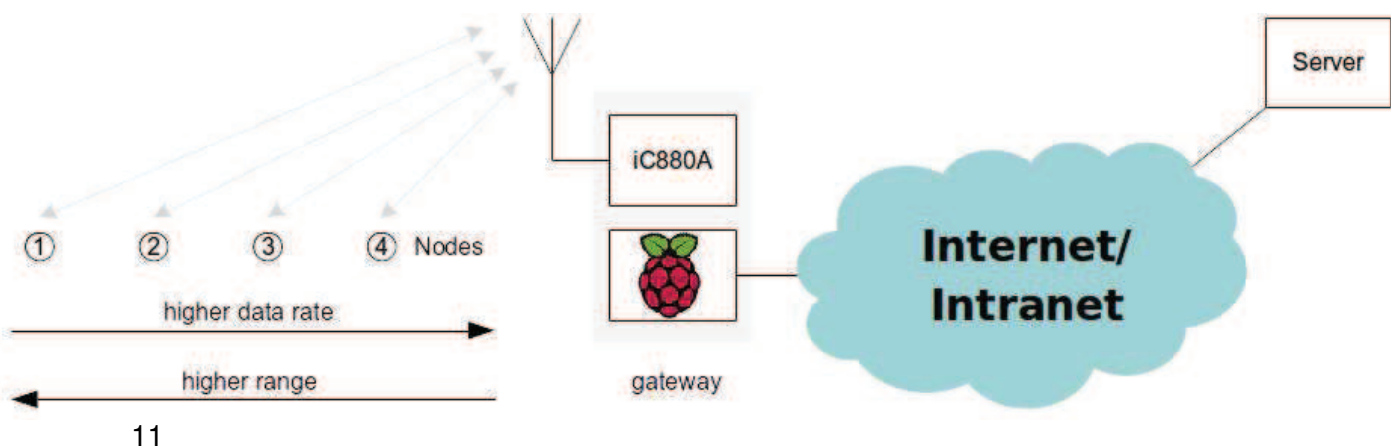


Figure 11 - Topologie du réseau avec concentrateur LoRaWAN<sup>12</sup>

<sup>10</sup> iC880A - LoRaWAN Concentrator 868MHz : <http://www.wireless-solutions.de/products/radiomodules/ic880a.html>

<sup>11</sup> GitHub du concentrateur LoRaWAN : <https://github.com/Lora-net>

Dans la figure 11, on retrouve la carte iC880A et le raspberry pi. IMST GmbH met à disposition un service « paquet-forwarder » qui transmet les trames Lora reçues en trame UDP sur le réseau ethernet préalablement configuré. La mise en place du concentrateur est détaillée dans le chapitre développement.

Swisscom prévoit l'installation de concentrateur LoRa, cependant, le réseau n'est pas encore disponible. C'est pourquoi un concentrateur tel que montré nous permet de réaliser un réseau LoRaWAN propriétaire utilisable dans notre prototype.

## 6.5 Serveur

Un serveur de données doit être conçu pour la réception de toutes les valeurs des pompiers. Le concentrateur LoRaWAN transmet ces différentes mesures sur le réseau ethernet en UDP. Dans un but de prototypage, la réception des trames UDP va être réalisée sur une machine Windows Seven.

Un script python (annexe 2) fait office de serveur et affiche en mode console les différentes trames. Les données sont enregistrées dans un format JSON. Ce format structure les données pour une lecture future simplifiée.

### 6.5.1 Application Web

Les techniques de conceptions de site web sont facilement trouvables sur le net. C'est pourquoi, nous avons décidé de réaliser une application de visualisation des données utilisant ces techniques. Les valeurs vont donc être visualisées sur un navigateur internet présent sur toutes les machines modernes. Le but ici est la visualisation et non le design. Ce tableau de bord dynamique montre les différentes équipes en cours de travail dans l'intervention. Les mesures de pression, pouls et température doivent pouvoir être lues facilement par le « surveillant ».

---

<sup>12</sup> <http://www.wireless-solutions.de/products/radiomodules/ic880a.html>

La figure 12 montre un exemple de visualisation.

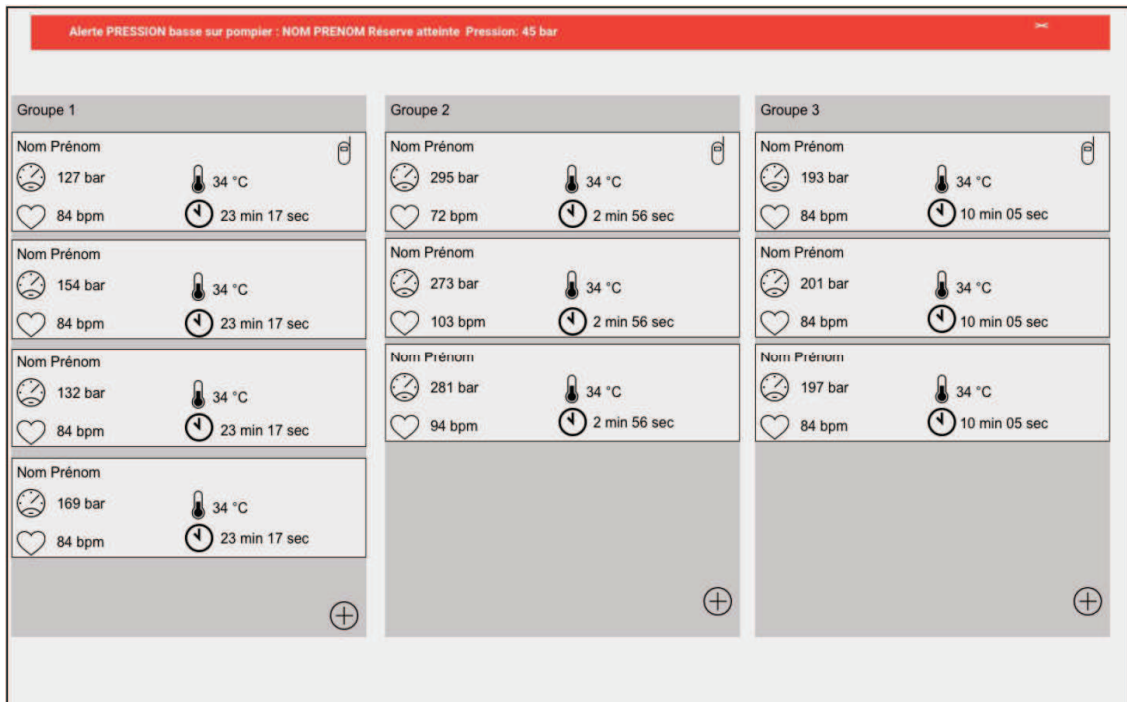


Figure 12 - Fenêtre principale du moniteur

Le bandeau rouge alertera d'un problème de pression ou d'activité sur le pompier. Ce qui permettra au « surveillant » d'agir en conséquence ou d'informer l'équipe en question d'un repli nécessaire.

Des courbes de suivi dans le temps des pompiers seraient disponible en cliquant sur un nom. La figure 13 montre un exemple.



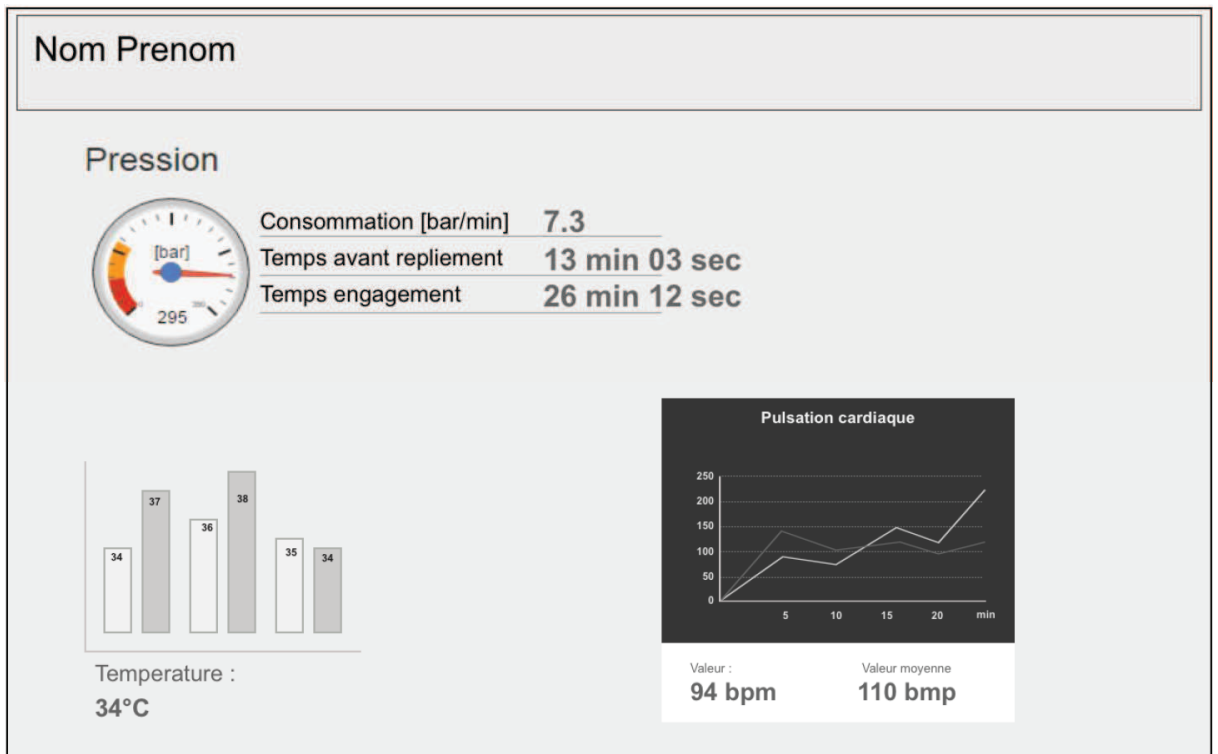


Figure 13 - Détails d'un pompier

On peut voir les valeurs instantanées de la bouteille du pompier, de la température du corps et le pouls. Mais également, on peut prendre connaissance de la consommation d'air, le temps avant le repli et le temps pendant lequel le pompier a été engagé dans l'intervention. Concernent le pouls, un graphe de suivis dans le temps peut renseigner sur la difficulté. Les valeurs de température dans le temps sont aussi représentées.

## **7 DÉVELOPPEMENT EN DETAILS**

Dans ce chapitre, il est expliqué les différentes marches à suivre pour concevoir le prototype construit pendant ce projet. Le prototype est construit sur la logique présentée sur la figure 14.



Figure 14 – Diagramme de séquence

Dans ce diagramme de séquence, on peut suivre la valeur depuis sa mesure jusqu'à son affichage sur le dashboard (tableau de bord). Les communications sans fil sont représentées en rouge tandis qu'en bleu on voit le programme ou bien le fichier où est enregistrée la valeur en transit. C'est un diagramme représentatif de la situation et non précis, plusieurs traitements d'information ont été enlevés pour simplifier la compréhension générale.

## **7.1 Body Area Network**

### **7.1.1 TDWLB (Mesure de pression)**

L'entreprise Transducers-direct protège ses différents capteurs en n'utilisant pas les standards du bluetooth low energy. Après signature d'un NDA, ils nous ont transmis les différents UUID des services BLE pour recevoir les valeurs de pression. En annexe, on trouve le fichier des différents services bluetooth du capteur.

Ce fichier montre que la valeur de pression est transmise en mode « Advertising » c'est-à-dire en mode broadcast chaque n millisecondes. Pour utiliser ce service, il n'y a pas besoin de se connecter au capteur, mais il faut recevoir les trames d'advertising comme si on recherche un nouveau device. C'est-à-dire en mode scan. Le capteur transmet son nom suivi des informations de pression, de température et du niveau restant de sa batterie interne. Les détails sont signalés dans le fichier en annexe 8.

### **7.1.2 Angel Sensor (Mesure de pouls et température)**

Le bracelet Angel Sensor utilise les standards des bracelets type fitness. C'est-à-dire que les services, les différents UUID et la composition des messages bluetooth sont normés par le label Bluetooth.

En utilisant une application android ou IOS, nous pouvons directement communiquer avec le bracelet. Cette démarche est expliquée dans le chapitre « application nRF Master Control ».

Dans ce projet, nous allons utiliser seulement la température et le rythme cardiaque, respectivement « Temperature measurement » et « Heart rate ».

N.B Il est important d'activer la mesure du rythme cardiaque, sinon aucune valeur n'est notifiée. Pour ce faire, il faut laisser appuyer le bouton central du bracelet jusqu'à deux vibrations.

### 7.1.3 Intel Edison

Une stack bluetooth est déjà présente sur la board, la version 5.3 de blueZ. Cette stack va permettre d'utiliser le dongle bluetooth présent sur l'Edison.

Tapez la commande : « gatttool », si rien ne se passe, cela veut dire qu'il manque le lien direct entre le programme disponible dans le dossier de la stack et le système. Etablissez un lien direct avec gatttool et les commandes dans le dossier « sbin ».

La commande gatttool est très importante, car elle est utilisée dans le programme Qt de ce projet.

Lorsque l'Intel Edison est installé (explication dans le chapitre « Installation Ubilinux sur Intel Edison »), il est possible de compiler des programmes codés en Qt. Le programme écrit dans les registres du bracelet fitness en utilisant la commande « Gatttool ». La commande d'écriture est présentée sous cette forme :

```
1 gatttool -b "MAC-ADDRESS" --char-write -a "HANDLE" -n "VALUE"
```

Le bracelet est construit sur la norme bluetooth, il est donc possible de savoir les valeurs à utiliser sur le site de développement<sup>13</sup>.

Les notifications sont activées avec la valeur « 01 ».

Les indications sont activées avec la valeur « 02 ».

On peut connaître le « HANDLE » en utilisant la commande « Gatttool » dans le bash de l'Intel Edison. Il existe des paramètres de recherche de services et de caractéristiques.

QProcess, un objet disponible dans Qt, permet de lancer un programme externe depuis le code C++. Cet objet appelle la commande « Gatttool » dans un « Bash ». Après avoir exécuté cette commande, il est possible d'écouter le retour des informations, normalement écrites dans la console utilisateur, et de les enregistrer dans un tableau. Lorsque les informations de retour telles que des notifications ou des indications sont réceptionnées, il suffit de les transmettre plus loin pour les envoyer en LoRaWAN depuis la carte de développement.

Cette partie est réalisée avec la librairie disponible sur le site internet de IMST GmbH. Cette librairie permet d'envoyer des commandes depuis le bus USB sur la carte de développement. Les commandes sont les modifications des paramètres d'envoi, mais également le payload à envoyer.

Les différents codes sont disponibles en version informatique dans l'annexe.

---

<sup>13</sup> Site de développement Bluetooth : <https://developer.bluetooth.org/gatt/profiles/Pages/ProfilesHome.aspx>  
HES-SO // Valais – Wallis V3.0  
César Papilloud  
15.07.2016

## 7.2 Concentrateur LoRaWAN

Pour le concentrateur, nous avons mis en place un raspberry pi muni d'une carte iC880A. IMST GmbH met en ligne ses solutions qui permettent de réaliser ce concentrateur sur GitHub<sup>14</sup>.

On peut constater qu'un gateway LoRa peut être réalisé avec un Raspberry Pi disponible aisément sur le marché. Les possibilités de ce genre de micro-ordinateur sont grandes. Il serait donc possible de réaliser directement un serveur comprenant une base de données qui servirait de stockage des valeurs mesurées sur le body area network de tous les pompiers de l'intervention. C'est dans un premier temps une solution envisageable. Car le réseau swisscom n'a pas encore été mis en place ce qui demande des solutions intermédiaires.

Dans ce prototype, le raspberry pi convient parfaitement. En effet, seulement les mesures d'un pompier sont actuellement l'objectif, ce qui limite grandement le nombre de trames émises sur notre réseau LoRaWan.

## 7.3 Serveur

Le serveur va réaliser deux tâches distinctes qui vont être développées séparément. La première tâche reçoit les trames UDP envoyées depuis le concentrateur LoRaWAN. La deuxième tâche affiche les différentes valeurs reçues sur un site web.

### 7.3.1 Réception des trames UDP

La réception des trames UDP est réalisée en Python. Ce langage script permet rapidement de recevoir et de travailler avec les datas. Pour recevoir les trames UDP, il faut importer les différentes librairies utiles :

```
import socket
import json
from pprint import pprint
import binascii
import base64
```

La trame UDP est dans une structure JSON. On y trouve les différents paramètres du nœud LoRaWAN et le payload du message montré sur la figure 15.

---

<sup>14</sup> GitHub du concentrateur LoRaWAN : <https://github.com/Lora-net>

```

----- Wait for a new message -----
Received message from ('192.168.0.103', 40973)
Data : @As -UZ @@("rxpk":{"tmst":139348964,"time":"2016-04-18T14:22:34.617594Z","chan":5,"rfch":1,"freq":869.525000,"stat":1,"modu":"
LORA","datr":"SF11BW125","codr":"4/6","lsnr":14.2,"rssi":-31,"size":28,"data":"ABA0EhA0EmEAAQIDBAUGBwgJCgsMDQ4PEBESew=="},{"tmst":1393489
90,"time":"2016-04-18T14:22:34.617594Z","chan":4,"rfch":1,"freq":869.050000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF11BW125","codr":"4/6","lsnr"
:-12.0,"rssi":-83,"size":28,"data":"ABA0EhA0EmEAAQIDBAUGBwgJCgsMDQ4PEBESew=="}]}
Ack sent: 01b57304
Alive message
Token: b573
MAC address: aa555a0000000101
-----
Freq : 869.525
Datr : SF11BW125
Codr : 4/6
Inst : 139348964
-----
MHDR: 00
AppEUI: 1034121034126100
DevEUI: 0102030405060708
DevNonce: 090a
MIC: 0b0c0d
-----

```

Figure 15 – Format de réception des paquets LoRa sur serveur

Un affichage des paquets reçus est utilisé pour le débogage. Après réception d'une trame, un contrôle de la trame est effectué. D'abord, les trames de moins de 12 bytes sont rejetées car ce sont des trames de type « Alive » qui signale la présence d'un nœud sur la fréquence du gateway.

Le payload est composé du préfix « Temp » pour la température et « Pulse » pour la pulsation cardiaque. Avec une expression régulière, on peut séparer les deux types de valeurs.

Une fois séparée, les valeurs sont écrites dans un fichier JSON. La structure de ce type de fichier permet une lecture simplifiée des données pour son affichage.

### 7.3.2 Affichage des mesures

Les mesures sont affichées sur un tableau de bord réalisé grâce aux technologies du web. Pour apprendre ces différentes technologies, je me suis appuyé sur les cours proposés sur le site internet <https://openclassrooms.com>. Ce site propose des cours complets avec différents exemples.

Cette application web est construite sur différents frameworks existants sur la toile présentée ici :



**Node.js**<sup>15</sup> est un environnement côté serveur. Il permet d'utiliser le langage Javascript pour la manipulation de page web. Ce n'est pas un framework, mais un environnement très bas niveau. Il est basé sur les évènements comme le JavaScript.



**Angular.js**<sup>16</sup> est un framework basé sur différents concepts tels qu'une architecture MVC (Modèle-Vue-Contrôleur), le data binding, les injections de dépendances et la manipulation du DOM<sup>17</sup> au moyen de directives.

<sup>15</sup> Information sur Node.js sur le site web <https://nodejs.org/en/>

<sup>16</sup> Information sur Angular.js sur le site web <https://angularjs.org/>

Pour travailler, il est possible d'installer Yeoman qui facilite grandement la mise en place de la structure de l'application. Yeoman<sup>18</sup> contient trois outils :

**Yo** permet de mettre en place le projet.

**Bower** est un gestionnaire de paquet.

**Grunt** permet de tester l'application.

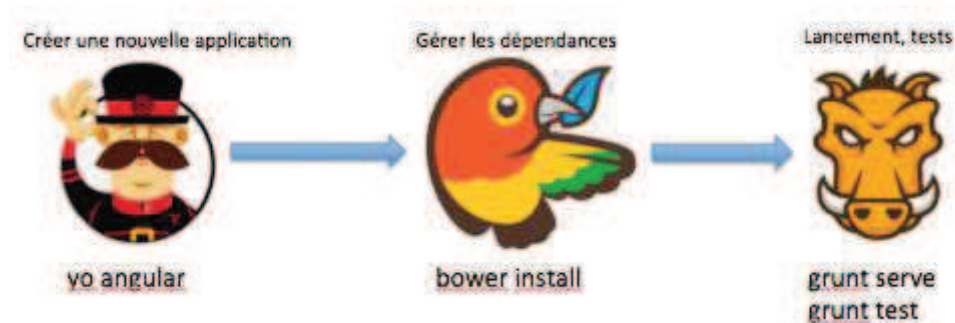


Figure 16 - Schéma récapitulatif<sup>19</sup>

Une fois ces différents outils installés, il faut utiliser la commande « yo angular » qui va initialiser une structure complète de projet d'application web. Il faut répondre à différentes questions avant que la création de structure démarre. Cette commande met en place un projet fonctionnel. Pour tester la première page de l'application, il faut entrer une seconde commande qui elle va lancer un serveur en mode local (localhost) et ouvrir une page web avec le navigateur par défaut.

Maintenant le projet ouvert, on peut modifier la page web qui s'intitule « index.html ». L'affichage est écrit en HTML5 et le design est effectué avec du CSS comme un site web standard. Cependant, dans les différents dossiers du projet, il y a des fichiers comportant l'extension « \*.js » qui permettent de rendre dynamique les pages.

Dans notre projet, les valeurs sont inventoriées dans un fichier JSON. Il faut mettre en place un moyen de récupérer ces valeurs. Un service va réaliser cette tâche (getPressure.js).

Pour la dynamisation de la page, il faut modifier le fichier app.js qui lui est le « controller » de la page index. Dans ce script, un polling des valeurs permet d'actualiser des tableaux internes au script avec les valeurs du fichier JSON.

<sup>17</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Document\\_Object\\_Model](https://fr.wikipedia.org/wiki/Document_Object_Model)

<sup>18</sup> <http://yeoman.io/>

<sup>19</sup> <https://openclassrooms.com/courses/developpez-vos-applications-web-avec-angularjs/installez-votre-environnement>



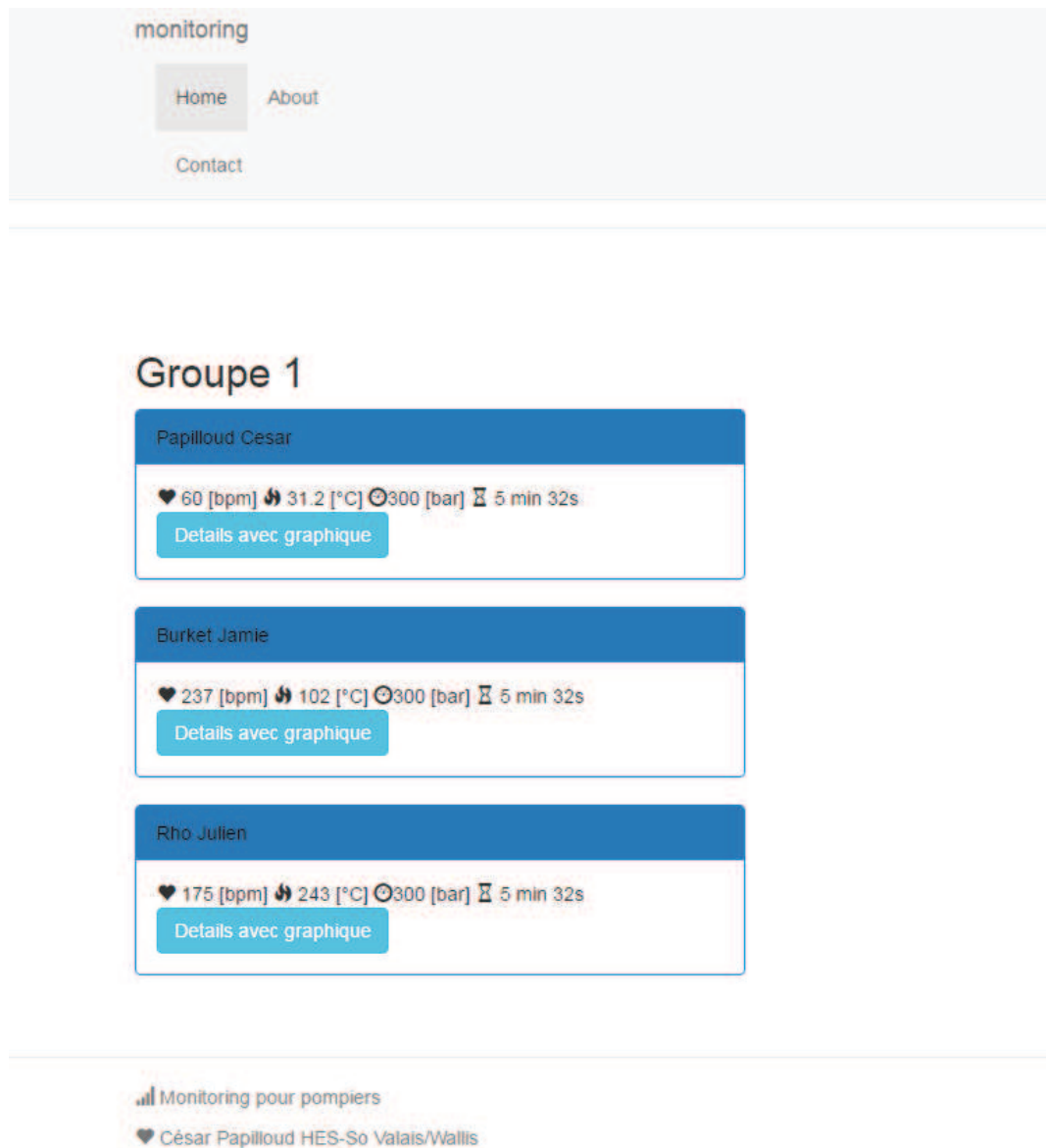


Figure 17 - Page web actuelle

La figure 17 montre l'interface actuelle réalisée sur une page web dynamique. En cliquant sur le bouton bleu « Details avec graphique » on trouve un manomètre et un graphe représentant le pouls du pompier.

# Groupe 1

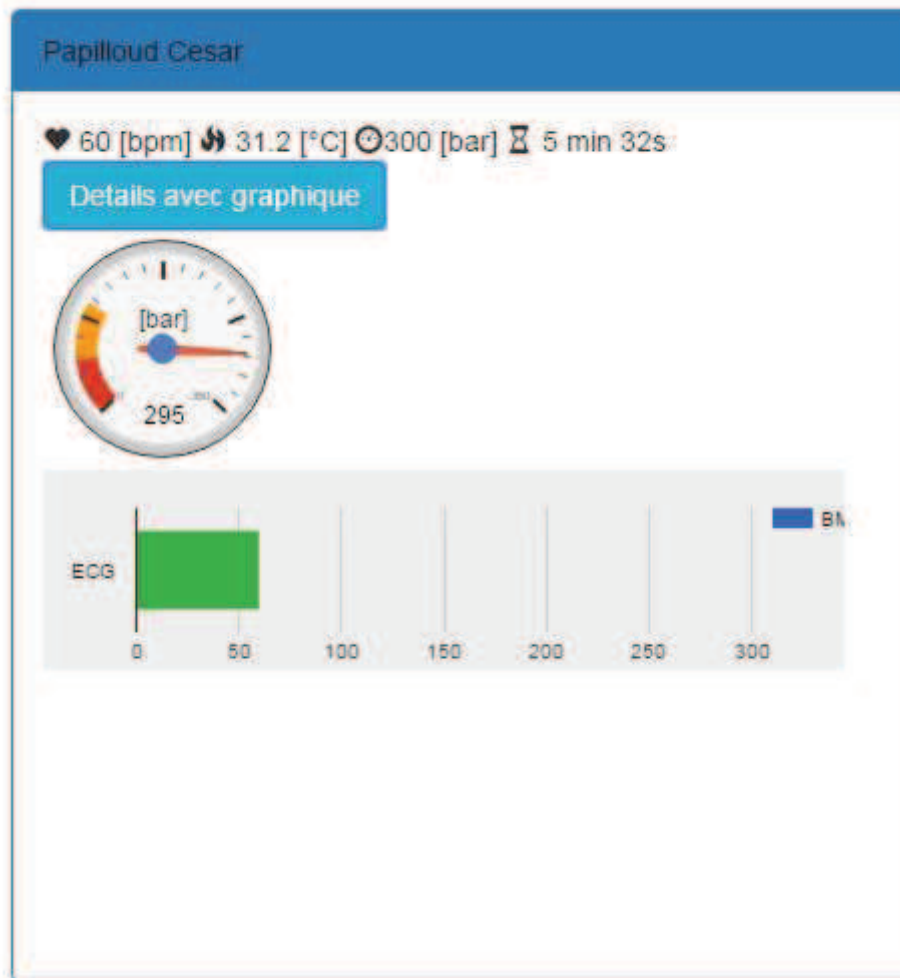


Figure 18 – Détails du pompier



En utilisant ces différentes technologies, il est possible une fois l'application terminée, de la transformer en application hybrid pour mobile. Pour ce faire, il existe le framework Cordova<sup>20</sup> qui permet de faire le lien entre les différentes API de l'appareil mobile et l'application. Des tests ont été réalisés avec une application vierge par défaut. Cependant, durant ce projet, ce framework n'a pas été utilisé pour convertir l'application web en application hybrid pour mobile car le système fonctionne avec des scripts python fonctionnant sur une machine windows. Il faudrait réaliser un serveur distant pour pouvoir recevoir les valeurs sur le téléphone. Cela n'a pas été fait pour des raisons de temps.

<sup>20</sup> <https://cordova.apache.org/>

## 8 TESTS

Durant l'étude de ce projet, nous avons réalisé des tests de notre système. Le LoRaWAN est un point important, c'est grâce à cette technologie que les différentes mesures sont transmises. Les tests effectués sont indicatifs et non très précis. Nous ne disposons pas d'assez de temps pour faire des tests précis, mais ils permettent de se faire une idée sur le comportement du système.

### 8.1 LoRaWAN

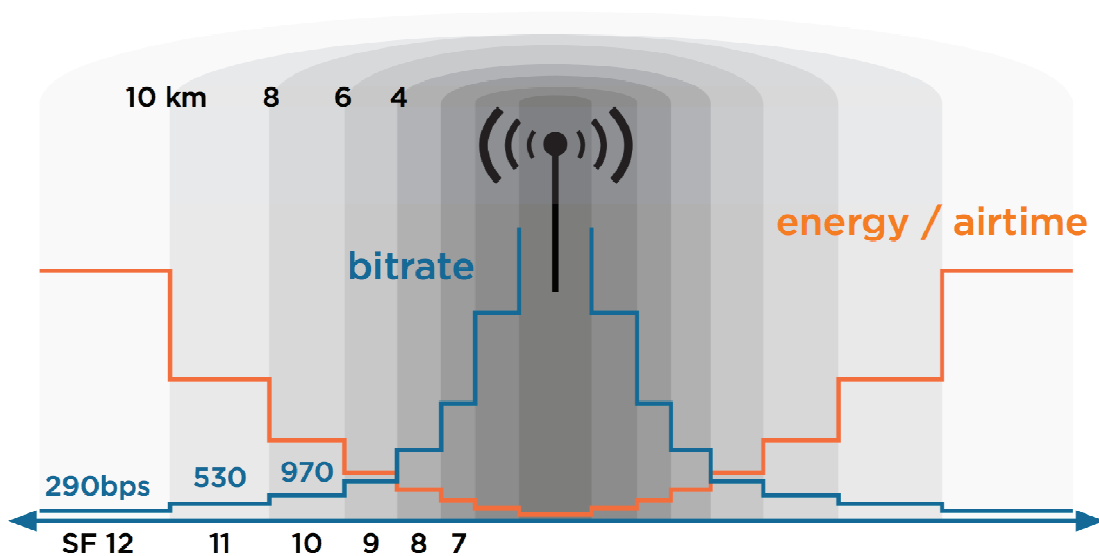


Figure 19 - Portée par rapport au Spread Factor(SF) et l'énergie d'émission (Ref bas de page <sup>21</sup>)

La figure 19 montre un exemple de portée de communication en fonction du débit. On peut constater la différence de débit en fonction du paramètre SF. Le Spread Factor modifie le débit de communication. Sur la figure 19 on peut voir que plus la distance est longue plus le débit se réduit et que l'énergie demandée pour la transmission est augmentée. Le premier test est donc centré sur les paramètres du transmetteur LoRa.

Semtech propose un guide<sup>22</sup> pour les différents calculs et paramètres utilisés dans la technologie LoRa.

<sup>21</sup> Image du site web : <https://blog.surf.nl/en/lora-the-internet-of-things/>, consulté le 01.07.2015

<sup>22</sup> Lora modem Designer's guide : [http://www.semtech.com/images/datasheet/LoraDesignGuide\\_STD.pdf](http://www.semtech.com/images/datasheet/LoraDesignGuide_STD.pdf)

### 8.1.1 Test sur longue distance

IMST GmbH a réalisé des tests. Ils sont expliqués dans le document « iM880A\_AN011\_RangeTest\_V1\_0<sup>23</sup> ». Dans ce document, on peut voir que deux tests sont réalisés, un premier sur une distance de 7,7 KM et un second sur un distance de 12 KM.

Voici le relevé de dénivelé du test de IMST GmbH sur 12 KM :

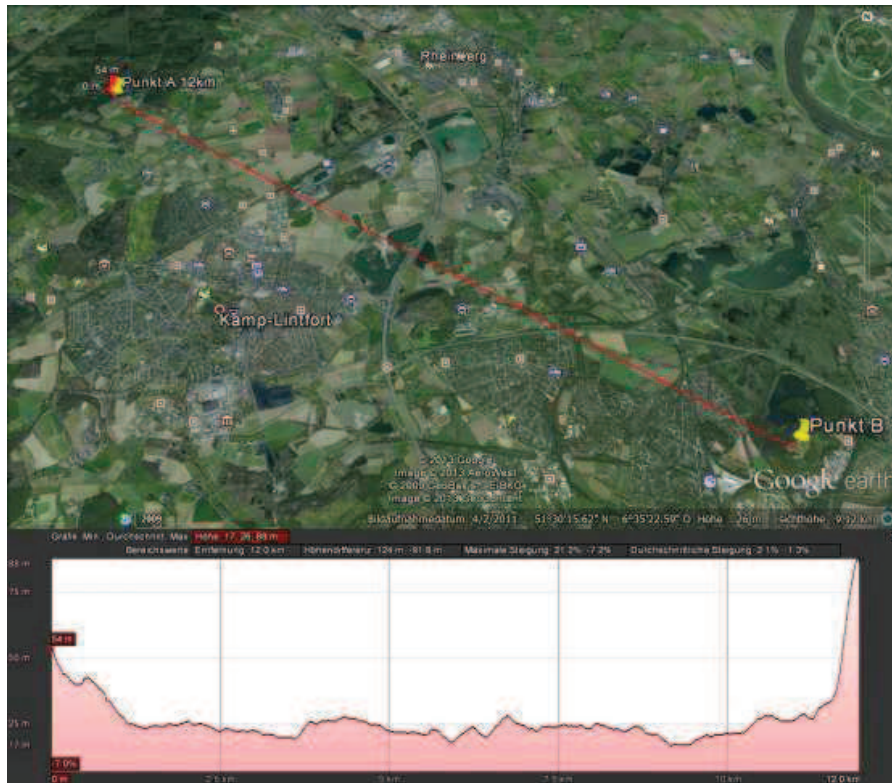


Figure 20 - Distance and elevation profile between point A and B from Google Earth.

Avec comme résultat la figure suivante :

RF Power	Cyclic Coding Rate	Spreading Factor	PER [%]
+20 dBm	4/8	12	0.00
+20 dBm	4/8	11	0.36
+20 dBm	4/8	10	0.65
+20 dBm	4/8	9	1.05
+20 dBm	4/8	8	4.67

2-3: Results PER of the Range Test 12000 m with +20 dBm

<sup>23</sup> [http://www.wireless-solutions.de/images/stories/downloads/Radio%20Modules/iM880A/General\\_Information/iM880A\\_AN011\\_RangeTest\\_V1\\_0.pdf](http://www.wireless-solutions.de/images/stories/downloads/Radio%20Modules/iM880A/General_Information/iM880A_AN011_RangeTest_V1_0.pdf)

On remarque que le taux d'erreur des paquets (PER, Packet Error Rate) n'est pas très élevé sur une grosse distance de 12 KM. Ce test est réalisé entre deux antennes iM880A. Dans notre projet, nous utilisons un concentrateur différent du transmetteur, c'est pourquoi il est utile de faire un test avec ces deux appareils. Pour ce premier test, nous nous sommes déplacés sur le versant opposé de la HEVS pour être en ligne droite et que la transmission ne soit pas dérangée par un obstacle.

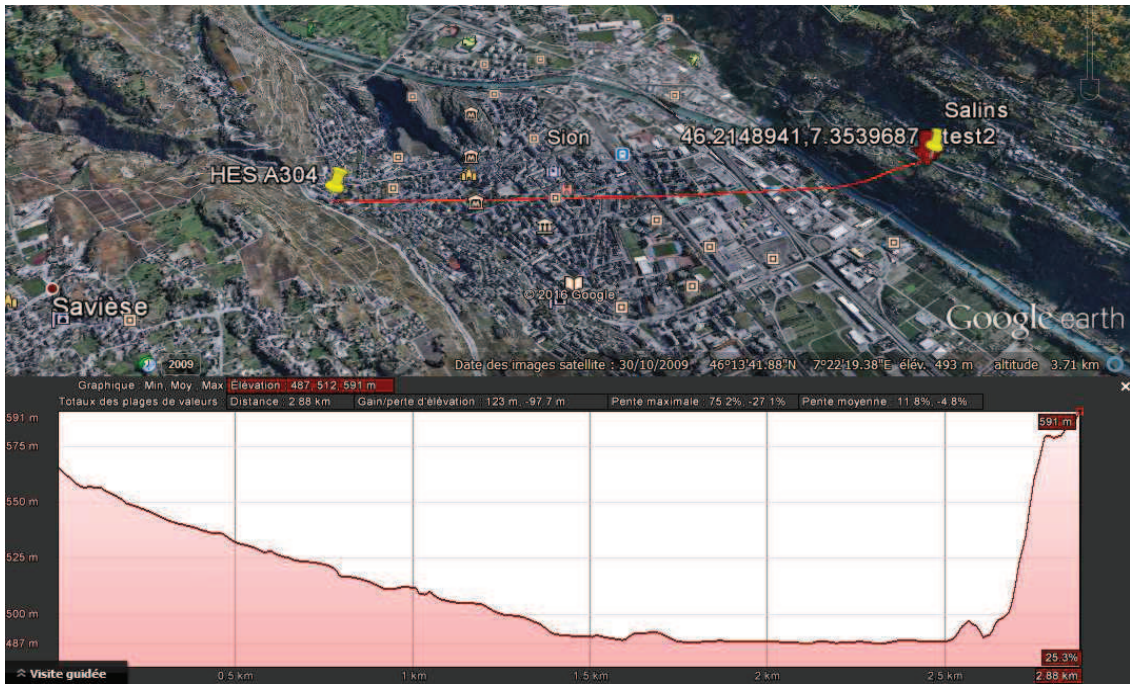


Figure 21 - Relevé de dénivelé HEVs-Salins avec Google Earth

Paramètre du test :

Point HES A304 : iC880A

Point Salins : iM880A

Bande passante : 125 KHz

Spreading Factor	TX Power	PER [%]
SF7	10 dBm	100
SF7	20 dBm	70
SF10	20 dBm	20
SF12	20 dBm	0

Figure 22 : Résultat test HES-Salins

On modifie le paramètre SF et l'énergie du signal envoyé pour vérifier la communication entre l'antenne iM880a et le concentrateur iC880a. On remarque directement qu'à cette distance, tous les paquets ne sont pas réceptionnés. Pour le test, nous avons décidé d'envoyer 20 paquets de suite et de calculer le nombre de paquet reçu. Il suffit ensuite de calculer le pourcentage de perte « PER » (Paquet Error Rate).

La figure 22 présente les résultats de ce premier test. On remarque immédiatement que la réception des paquets est mauvaise. Cependant, il y a un taux de perte de 0% sur les paramètres SF12 et 20dBm.

### **8.1.2 Test dans bâtiment**

Dans notre projet, la transmission par LoRaWAN va être essentiellement utilisée en intérieur. Un test en bâtiment est difficile pour plusieurs raisons. Premièrement, il est difficile de connaître la structure interne du bâtiment qui pourrait gêner la communication. Deuxièmement, on ne peut pas situer précisément les deux points qui communiquent.

Cependant, nous avons réalisé un test dans le bâtiment de la HEVs à Sion. Le concentrateur iC880A est situé au 3<sup>ème</sup> étage du bâtiment A.

Le transmetteur iM880A relié avec un ordinateur portable nous permet de nous déplacer dans l'école et de découvrir à quel endroit la communication s'interrompt. Le signal est perdu au rez-de-chaussée du bâtiment B, collé au bâtiment A.

Ce test permet de comprendre que la transmission LoRa est difficile en intérieur. En effet, le « surveillant » situé à l'extérieur de l'école et les pompiers au 3<sup>ème</sup> étage, un problème de liaison surviendrait avec certitude. C'est un problème traité plus loin dans le rapport, avec une proposition de résolution.

## 9 RÉSULTATS

Ce projet est à son commencement, En effet, durant cette phase d'étude et d'élaboration d'un premier prototype, il est clair que beaucoup de problèmes sont survenus. Dans ce chapitre, nous allons traiter des résultats obtenues, des différents problèmes rencontrés, des possibilités d'amélioration et le futur du projet.

### 9.1 Body Area Network

La partie capteur sur le pompier a été réalisée sur le protocole de communication bluetooth low energy. Ce protocole est, je pense, une bonne solution. Durant l'élaboration du body area network, nous avons rencontré quelques problèmes, notamment :

#### 9.1.1 Bluetooth sur Edison

##### **Problème lié aux capteurs :**

Le bracelet fitness Angel Sensor présente quelques problèmes. La mesure de température de la peau fonctionne correctement. Les valeurs de mesures sont envoyées en mode « INDICATION » ce qui permet une réception des données périodiquement. La mesure du rythme cardiaque est en mode « NOTIFICATION ». Ce mode envoie les données seulement après avoir réussi à calculer le pouls. Les valeurs sont donc reçues très aléatoirement puisque qu'elles sont dépendantes de la mesure. La mesure n'est pas très fiable ce qui provoque une attente de plusieurs minutes.

Un changement de bracelet ou de méthode de mesure pallierait à ce problème.

Le capteur de pression TDWLB de Transducers Direct envoie ses mesures via « ADVERTISING ». Cette méthode est de type broadcast et ne nécessite pas de pairing. Cette méthode utilisée seule ne pose pas de problème, cependant, le bracelet a besoin d'une connexion et il n'est pas possible de voir les trames en « ADVERTISING » en étant connecté. L'utilisation des deux capteurs ensemble n'est donc pas possible.

##### ***Proposition de résolution :***

- Réaliser une connexion sur le bracelet, attendre les mesures, puis se déconnecter pour recevoir les mesures du capteur de pression. Cette technique pourrait fonctionner si les mesures du bracelet étaient prévisibles, mais la mesure du pouls étant instable, il serait difficile d'avoir correctement toutes les mesures.
- Ajouter un module bluetooth sous forme de stick USB sur la plateforme Intel Edison. Cette technique permettrait de recevoir sur un module les informations du bracelet et sur l'autre les mesures du capteur de pression. Nous avons essayé de mettre en place ce système, mais après différentes recherches il s'est révélé impossible d'ajouter un module USB bluetooth car il manque le module « BtUSB » dans les modules du kernel installé sur la plateforme. Pour ajouter ce module, il faut ajouter le module au kernel et ensuite compiler une image debian avec le nouveau kernel. Démarche longue et compliquée qui pourrait être envisageable pour la suite du projet.



## **Réception data bluetooth**

On utilise les commandes « Gatttool » de la stack BlueZ pour envoyer des données en bluetooth. Les réponses sont écrites sur la sortie standard du bash. La lecture de la sortie standard permet de travailler avec les données des capteurs. Cette méthode fonctionne pour un prototype, mais n'est pas viable pour une implémentation longue durée. Les bibliothèques de la board iM880A sont écrites en C en implémentant des bibliothèques Qt. Le lancement de programme tiers depuis Qt est faisable c'est pourquoi pour le prototype, tout le programme est fait à l'aide de Qt.

### ***Proposition de résolution :***

- Il existe très peu d'implémentation de programme qui utilise la stack bluetooth BlueZ disponible sur les systèmes linux. Des développements ont été réalisés sur le langage Python disponible sur GitHub comme par exemple PyBlueZ<sup>24</sup> ou Adafruit\_Python\_BluefruitLE<sup>25</sup>. Ce type de bibliothèques pourrait remplacer la lecture de la sortie standard. Mais il faudrait traduire les bibliothèques existantes de iM880A pour utiliser en même temps les commandes LoRa.
- Pour un programme fiable, il serait possible de modifier directement la stack BlueZ en intégrant à celle-ci les bibliothèques LoRa. Ce type de solution demanderait un développement complet. Envisageable si le projet continue.

Au début du travail, les communications en bluetooth LE ont été testées avec un framework fonctionnant sur le langage JAVA développé par Eclipse<sup>26</sup>. Ce framework s'appelle Kura et est développé pour l'IoT.

### **Eclipse Kura<sup>27</sup>**

Eclipse Kura est un framework spécialement développé pour l'IoT. Ce framework est un conteneur d'application intelligent qui permet la gestion à distance des gateway et offre une large gamme d'API pour permettre d'écrire et de déployer ses propres applications. Kura tourne au-dessus de la machine virtuelle java (JVM) et exploite OSGI, un système dynamique de composant pour java, afin de simplifier le processus d'écriture de blocs réutilisables pour la construction de logiciels. Kura API offrent un accès facile au matériel sous-jacent, y compris les ports série, GPS, chien de garde, USB, GPIO, I2C, etc. Il offre également OSGI bundle pour simplifier la gestion des configurations de réseau, la communication avec les serveurs IoT, et la gestion à distance des gateway.

Cependant, les différents tests réalisés ont montré que le framework est en cours de développement et les API pour la gestion du bluetooth ne sont que très peu avancé. Il faut donc attendre que ce framework devienne plus stable pour imaginer travailler avec. Il serait très utile dans la gestion de tous les body area network, puisque si le projet continue, le but final serait d'équiper tous les pompiers porteurs d'appareil avec un système comme présenté dans ce rapport. Il est donc préférable d'avoir un système de gestion déporté pour travailler sur les applications et les gérer à distance.

---

<sup>24</sup> <https://github.com/karulis/pybluez>

<sup>25</sup> [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_Python\\_BluefruitLE](https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_BluefruitLE)

<sup>26</sup> <https://eclipse.org/>

<sup>27</sup> <http://www.eclipse.org/kura/>



## 9.2 LoRaWAN

L'étude et la réalisation de la communication LoRaWAN a démontré quelques problèmes dans le concept du projet. En effet, avec les résultats des tests effectués, la distance de communication longue distance est supportée, mais au sein de l'HEVs, on a pu remarquer que la communication devient difficile dans le bâtiment. L'élément certain de ce projet doit être la fiabilité de la communication en intérieur. Il en va de la sécurité des intervenants.

### **Proposition de résolution :**

Si LoRa permet d'atteindre des communications sur des distances de l'ordre de la dizaine de kilomètres en champ libre (théorique puisque nos propres tests ne le confirment pas encore), cette distance chute très rapidement en intérieur.

Dans le contexte de ce projet, nous pourrions améliorer significativement cette portée en réalisant un réseau mesh sur LoRa. Dans un tel réseau, chaque nœud individuel relaie les informations des autres nœuds afin d'augmenter la distance de communication. Une telle manière de procéder à un coût en termes d'énergie et de complexité, chaque nœud devant également relayer la communication de ses voisins. Cela va clairement à l'encontre de la philosophie LoRa dans laquelle chaque nœud demeure le plus simple possible pour conserver de l'énergie et envoie des informations uniquement à un ou plusieurs gateways. Toutefois, dans le contexte de ce projet nous visons des durées de vie pour les batteries de l'ordre de la journée et non pas de plusieurs années comme dans le standard de l'IoT.

L'approche novatrice de cette solution consiste en la réalisation de balises-relais radio, étanches et ignifugées, que les intervenants peuvent disséminer dans le bâtiment pour réaliser un réseau de communication *mesh*. Un tel réseau sera tolérant aux pannes, autorisant par exemple une communication après la défaillance de plusieurs nœuds de communication.

Au sujet des réseaux mesh, de nombreux travaux ont été réalisés durant les dix dernières années [PAT]. Les caractéristiques d'un tel réseau mesh [FAR] sont qu'il est robuste, offre de la redondance et permet de se former automatiquement. De multiples implémentations concrètes existent aujourd'hui sur différentes technologies sans fil (802.11 [RAN, AGA] ou sur du 802.15 par exemple). Par contre, à notre connaissance aucun produit n'existe avec comme base la communication LoRa. Nous pourrions ainsi compter sur un grand nombre d'algorithmes existants et les utiliser comme base pour une implémentation sur cette couche radio.

## 9.3 Application web

Le système d'application web fonctionne dans ce prototype. L'utilisation de ces technologies est prometteur car elles permettent de concevoir une application pour de multiples supports tels qu'ordinateur, tablette ou smartphone.

Dans la même optique, Qt offre des possibilités dans le domaine d'application de visualisation. Cette technologie permet également de distribuer relativement facilement la même application sur différents support. En effet, Qt propose de développer dans leur format une application mêlant JavaScript et C++. La compilation de cette dernière sera

différente suivant le type d'environnement. Les tests effectués ont été réalisés pour un smartphone Android. Il en résulte donc une possibilité de changement au niveau de l'interface.

Pour l'instant, l'application web dispose des atouts nécessaires dans le prototype. Mais dans un souci de perfectionnement et de sécurité du projet, il est bon de savoir que d'autres technologies existent.

## 9.4 Prototype actuel

Le bracelet et le capteur de pression fonctionnent, mais séparément. Dans ce prototype, il a été intégré seulement le bracelet dans les mesures effectuées au sein du body area network. La liaison Intel Edison, bracelet Angel Sensor fonctionne. Les valeurs sont reçues correctement et envoyées via la carte de développement LoRaWAN iM880A.

La communication LoRaWAN fonctionne depuis l'Intel Edison en passant par la carte de développement connecté et le gateway mis en place sur le raspberry pi. Pour résumer ce qui est fonctionnel sur ce prototype voici un schéma :

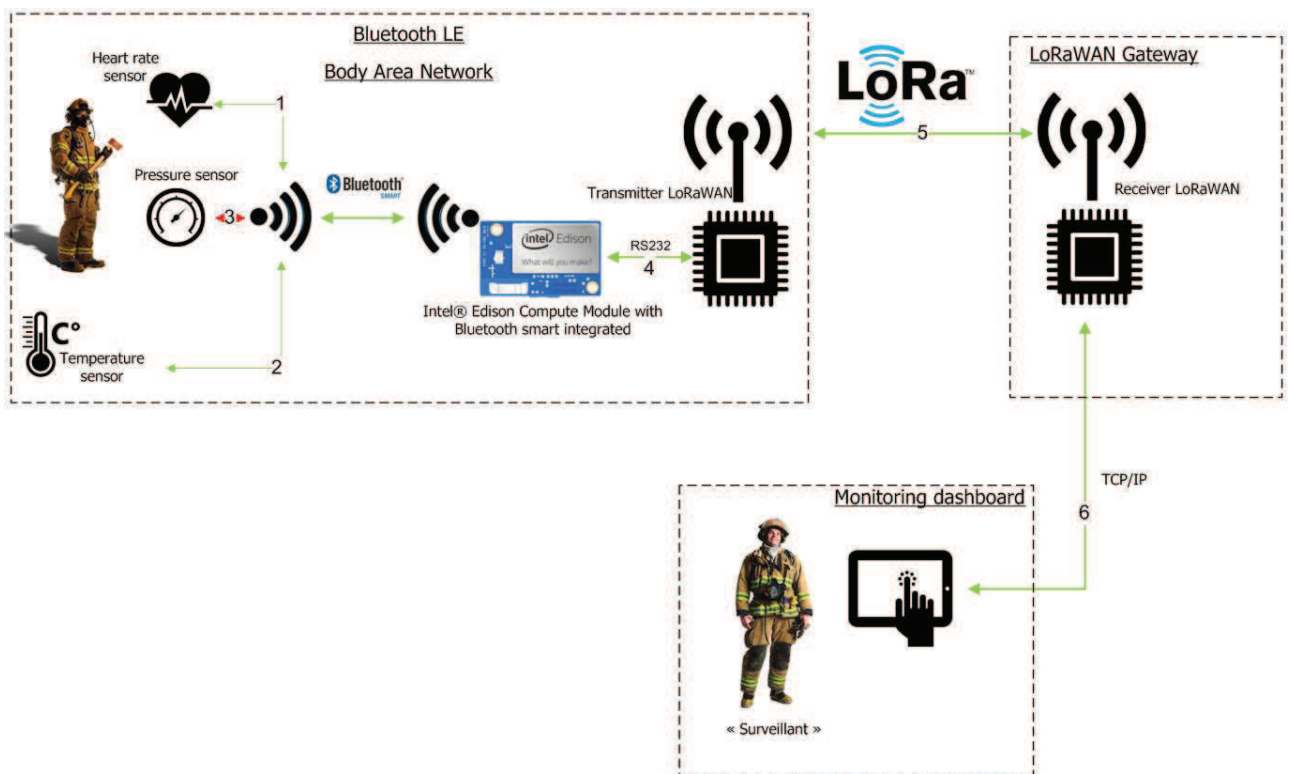


Figure 23 - Schéma du prototype fonctionnel

Sur la figure 23 on trouve des numéros sur les lignes de communications :

1. Le rythme cardiaque est mesuré, puis transmis en bluetooth LE.
2. La température est mesurée, puis transmis en bluetooth LE.
3. La pression est mesurée, mais elle n'est pas envoyée sur le prototype. Seulement des tests en console ont été effectués. Problème expliqué plus haut dans ce chapitre.
4. La carte de développement est connectée à la board Intel Edison. Les trames LoRa sont envoyées correctement.
5. Les trames LoRa sont reçues par le gateway composé du Raspberry pi et de la carte de développement iC880A.
6. Les trames LoRa sont convertie en trame UDP correctement et envoyée sur le réseau.

La partie serveur reçoit les valeurs des trames UDP et les écrits dans un fichier JSON. L'application web recherche ces valeurs et les affiche correctement sur l'interface présentée dans la figure 17.

L'avertissement de l'inconscience du pompier n'est pas implémenté dans ce prototype.

## 10 CONCLUSION

Les buts du projet sont atteints. Un prototype fonctionnel a été réalisé en suivant l'optique désirée dans le cahier des charges. Des impondérables ont permis de mettre le doigt sur les améliorations nécessaires. On remarque que les choix de départ ne sont pas optimaux pour un prototype final, cependant des mesures sur un body area network sont faites, la liaison en LoRa est établie et la visualisation fourni un aperçu des différentes mesures. Les solutions proposées dans le chapitre précédent permettraient de rendre ce prototype plus robuste et de réaliser des tests lors d'un exercice d'intervention de pompier.

Les pompiers manquent de systèmes électroniques d'aide et ce projet montre des avantages certains dans l'exécution d'une intervention. On peut imaginer étendre ce projet pour les secours en générale et interconnecter tous les intervenant pour un suivit d'intervention par le chef munis d'un centre de contrôle. Une vision d'ensemble coordonne les secours pour un gain d'efficacité et de sécurité. Ce secteur demande qu'à évoluer vers la technologie, c'est pourquoi j'ai proposé et initié ce projet. J'ai la chance d'être pompier, ce qui m'a permis rapidement de centrer les priorités.

### 10.1 Remerciements

Dans ces quelques lignes, je tiens à remercier, Pierre-André Mudry qui m'a permis de réaliser ce travail en devenant mon responsable de diplôme, mais également pour son suivit et ses conseils durant cette période. Marc Pignat et Mikael Follonier pour leurs aides techniques. Vlad Hasmatuchi pour ses conseils en mécanique des fluides, et le corps de sapeurs-pompiers de la Lizerne pour le prêt de matériels.

## 11 BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES

[FAR] Farina, J., et al. "Automated and comprehensive link engineering supporting branched, ring, and mesh network topologies." SPIE OPTO. International Society for Optics and Photonics, 2016.

[GLA] W. Hawkinson et al., "GLANSER: Geospatial location, accountability, and Navigation System for Emergency Responders - system concept and performance assessment" Position Location and Navigation Symposium (PLANS), pp. 98-105, Myrtle Beach, 2012.

[STU] Stumberg, L.H. and Fulton, J.A., "Integrated firefighter safety monitoring and alarm system", US Patent 5,689,234, 1997

[PAT] P. H. Pathak and R. Dutta, "A Survey of Network Design Problems and Joint Design Approaches in Wireless Mesh Networks," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, 13(3), pp. 396-428, 2011.

[PHA] Departement of Homeland Security, "Physiological Health Assessment System for Emergency Responders », Precision Indoor Personnel Location & Tracking Annual International Technology Workshop, 2012.  
[https://www.wpi.edu/Images/CMS/ECE/PHASER\\_Presentation\\_-\\_2012.pdf](https://www.wpi.edu/Images/CMS/ECE/PHASER_Presentation_-_2012.pdf)

[PIN] Pinkney, John. "Low complexity indoor wireless data links using chirp spread spectrum". University of Calgary, 2004.

[LIOT] The Mobile experts white paper, « Where does LoRa fit in the big picture », [https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/20160404JG\\_Mobile\\_Experts\\_Whitepaper\\_LoRa\\_Alliance.pdf](https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/20160404JG_Mobile_Experts_Whitepaper_LoRa_Alliance.pdf), accédé le 3 juin 2016.

[MON] E. Monton et al., "Body area network for wireless patient monitoring," in IET Communications, vol. 2, no. 2, pp. 215-222, February 2008.

César Papilloud

Sion, le 15.07.2016

## 12 ANNEXES

1. dataServer.json : Fichier JSON pour l'enregistrement des valeurs.
2. serveurLora.py : Script Python pour la reception des trames UDP sur le serveur.
3. debugUi.py : Script Python pour déboguer l'interface.
4. Main.js : Script JavaScript pour l'interface utilisateur.
5. Main.html : Fichier HTML pour l'affichage de l'interface.
6. Service.js : Script JavaScript pour le service utilisé dans l'interface.
7. NDATransducerDirect : Non-disclosure agreement pour l'utilisation du capteur de pression
8. TDWLBluetoothDatabase : Fichier configuration pour capteur de pression.

### 12.1 Installation Ubilinux sur Intel Edison

Ubilinux est un système d'exploitation basé sur Debian développé pour fonctionner sur la plateforme Intel Edison. Ici une brève explication sur son installation :

- Téléchargez la version ubilinux pour Intel Edison depuis le site Emutex-labs.
- Décompressez le fichier téléchargé.
- L'image debian est déjà compilée pour l'Edison.
- Lancez l'utilitaire flashAll.bat depuis une console en mode administrateur.
- Branchez les deux câble mini-usb sur l'ordinateur (alimentez également la board, suivant le type de board aduino utilisé)
- L'installation de l'image debian va se faire au moyen d'un port COM, détecté automatiquement
- Si l'installation ne démarre pas, réexécutez le fichier « bat » et reconnectez les différents câbles USB.

Maintenant l'installation terminée, vous pouvez vous connecter avec un utilitaire comme « PuTTY » via le port COM. Utilisez la vitesse de transmission « 115200 bauds ».

Utilisateur : root

Mot de passe : edison

Une fois connecté, configurez le wifi dans le fichier « /etc/network/interfaces », vous pouvez supprimer toutes les lignes et mettre celles-ci à la place :

```
2 # interfaces(5) file used by ifup(8) and ifdown(8)
3 auto lo
4 iface lo inet loopback
5
6 auto usb0
7 iface usb0 inet static
8     address 192.168.2.15
9     netmask 255.255.255.0
10
11 auto wlan0
12 iface wlan0 inet dhcp
13     wpa-ssid papWiFi
14     wpa-psk exempleexemple
```

SSID et mot de passe du routeur utilisé dans ce projet.

Faites un redémarrage de la board « reboot ». Vous pouvez utiliser une connexion SSH pour vous connecter à la board. Vous pouvez également utiliser un utilitaire comme WinSCP pour transférer des fichiers ou des dossiers via une connexion SSH.

Le gros avantage d'utiliser une version debian sur l'Intel Edison est le gestionnaire de paquet « apt-get », contrairement à la version Yocto fourni sur le site Intel.

Installez l'environnement QT via les commandes « apt-get install ».

## 12.2 Application nRF Master Control

Explication pour utiliser l'application « nRF Master Control Panel » de Nordic Semiconductor sur un smartphone.

- Téléchargez l'application.
- Ouvrez l'application.
- Suivez les instructions.
- Appuyez une fois sur le bouton central du bracelet Angel Sensor (Vibration).
- Recherchez un appareil et sélectionnez dans la liste le bracelet « Angel Sensor »
- Vous pouvez voir les différents services, activez les INDICATION/NOTIFICATION
- Vous pouvez voir les différentes valeurs mesurées par le bracelet.