

OBJETS CONNECTÉS : des radiofréquences aux réseaux

Une formation en « e-learning » et sur des plateformes technologiques industrielles

Damien BRULIN, Chantal
LABAT, Fabrice PEYRARD,
Thierry VAL, Thierry
VILLEMUR

IUT Blagnac, Dpt R&T, UT2J
Université de Toulouse, France

{Prenom.Nom}@univ-tlse2.fr

Eric CAMPO, Adrien VAN DEN
BOSSCHE
IUT Blagnac, dpt GIM, UT2J
Université de Toulouse, France

{Prenom.Nom}@univ-tlse2.fr

David DUBUC, Laurent
ESCOTTE

IUT "A", dpt GEII, UPS
Université de Toulouse
France

David.Dubuc@iut-tlse3.fr

Résumé — Le département RT de l'IUT de Blagnac est impliqué dans le montage et l'animation d'une formation à distance sur les objets connectés. Cette formation de type *e-learning* est composée de MOOC et de SPOC, puis d'activités pédagogiques en présentiel pour les travaux pratiques. Elle porte sur l'internet des objets. Elle implique en particulier cinq enseignants du département RT de l'IUT de Blagnac, mais aussi deux enseignants du département GIM de Blagnac en lien avec la maison intelligente de l'IUT, et a été dirigée par deux enseignants de l'IUT « A » de l'université Paul Sabatier dans le cadre d'un projet IDEX de l'université de Toulouse.

Mots-clés — *IoT ; MOOC ; SPOC ; e-learning ; enseignements à distance ; objets connectés.*

I. INTRODUCTION

La diversification des méthodes pédagogiques est au cœur des réflexions, des débats et des travaux actuels des établissements d'enseignements, que ce soit dans le primaire, le secondaire et même le supérieur. L'attractivité des enseignements à distance commence à faire ses preuves et permet de toucher un public plus large, tout au long de la vie professionnelle. Le monde industriel est également intéressé par ce type de formation orientée *e-learning*. Les grands groupes, qui utilisent de plus en plus les nouvelles technologies de l'information et de la communication, vont également avoir besoin de former leurs salariés pour donner naissance au technicien 3.0.

Parallèlement à cet état de fait, nous assistons actuellement à l'émergence de nouvelles applications des réseaux avec l'avènement de l'Internet des Objets, nommé par les anglophones IoT pour *Internet of Things*. Des entreprises comme Sigfox [5] ont fait de Toulouse l'une des capitales françaises dans le secteur des objets connectés. Toutes les entreprises de l'*IoT Valley* [8] sont à la recherche de ce genre de compétences aujourd'hui.

Partant de ce double constant, la première formation dédiée à cette thématique a été mise en place et ouverte en 2017 à l'Université de Toulouse. Ce projet IDEX regroupe plusieurs acteurs du monde académique et industriel. Il est porté par David Dubuc et Laurent Escotte*, de l'IUT « A » [3] de l'Université Paul Sabatier. Ces derniers ont sollicité le département RT de l'IUT de Blagnac [2] pour participer à cette nouvelle formation, qui intègre également des enseignants du département GIM de Blagnac, en lien avec la maison intelligente de l'IUT [9]. D'autres établissements universitaires y participent également, comme l'INSA de Toulouse [4]. Enfin, plusieurs entreprises toulousaines sont également associées à ce projet : l'entreprise SigFox [5], et l'entreprise InteSens [6]. Le projet est porté par la Mission Formation Continue et Apprentissage de Toulouse 3 [10].

II. PRESENTATION GENERALE

A. Objectifs

Dans l'objectif de fournir les bases théoriques et pratiques aux apprenants pour disposer des connaissances et compétences nécessaires pour appréhender les objets connectés, cette formation se positionne sur trois thématiques : les radiofréquences, les réseaux, et l'informatique. Elle est concrètement destinée à des salariés et des demandeurs d'emploi désireux d'acquérir des compétences nouvelles et complémentaires à leurs acquis. Nous visons un niveau qui va des techniciens aux ingénieurs, et nous nous adressons à des électroniciens et à des informaticiens, qui veulent se spécialiser dans les objets connectés et la radiofréquence. La formation permet de couvrir un large spectre de compétences permettant aux apprenants :

- d'analyser un système d'objets connectés ;
- de concevoir un système électronique embarquant des capteurs/actionneurs intelligents ;

- de concevoir le sous-système de communications radiofréquences;
- de schématiser et mettre en œuvre une architecture de réseaux ;
- de créer des applications informatiques gérant des objets connectés.

B. Découpage en MOOC, SPOC et TP en présentiel

La formation est composée d'un MOOC initial, puis de 11 SPOC de 32 heures chacun, scindés en 16 heures d'apprentissage théorique et 16 heures de formation technique. La théorie est dispensée en *e-learning*, et la partie technique et pratique se déroule au sein des différents établissements partenaires notamment sur le site de l'IUT Génie électrique, ou à l'IUT de Blagnac qui met sa "maison intelligente" à disposition. Nous sommes donc en présence d'une formation qualifiée de *blended-learning*. Les apprenants peuvent définir leur parcours de formation, qui n'est pas sanctionné par un diplôme, mais un certificat attestant qu'ils ont bien acquis les compétences.

Les deux premières sessions du MOOC a été mise en place aux rentrées 2016 et 2017 et ont déjà réunis plus de 8000 apprenants. Ce MOOC sera ré-ouvert régulièrement. Les SPOC doivent ouvrir courant 2018. Des sessions seront proposées tout au long de l'année, avec des groupes d'une dizaine d'apprenants.

III. DETAILS DE LA FORMATION

A. Site WEB

Un site WEB a été mis en place [1]. Il permet de présenter cette nouvelle formation, et sert également de point d'entrée vers la plateforme FUN [2] qui est utilisée pour héberger le MOOC. Le MOOC et les SPOC sont composés de capsules vidéo de 5-6 minutes, de QCM d'évaluations, d'un forum de discussion...

B. Découpage global

Cette formation est modulaire. Elle débute par un MOOC gratuit initial, puis est divisée en 11 SPOC :

- SPOC 1 : Architecture d'un système d'objets connectés
- SPOC 2 : Plates-formes de services pour les objets connectés
- SPOC 3 : L'objet connecté — électronique et informatique embarquées
- SPOC 4 : L'objet connecté — radiocommunication embarquée
- SPOC 5 : Objets connectés au service de la domotique et de l'e-santé
- SPOC 6 : Pour une production agricole v3.0 : objets connectés dans le domaine agro/agri
- SPOC 7 : Emetteurs-récepteurs radiofréquences intégrés

- SPOC 8 : Antennes et propagation indoor et outdoor
- SPOC 9 : Objets connectés LoRa
- SPOC 10 : Développement de protocoles de communications sans fil entre objets connectés
- SPOC 11 : Innovation et Entrepreneuriat dans l'IoT

Les enseignants du département RT de l'IUT de Blagnac interviennent tout particulièrement dans les modules liés à leurs domaines de compétences, en lien direct avec l'architecture présentée en Fig. 1. Nous détaillons certains de ces modules dans le chapitre suivant.

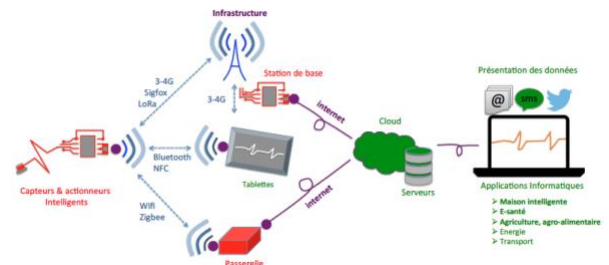


Fig. 1. Topologie globale d'un réseaux d'objets connectés

IV. PRESENTATION DE QUELQUES SEQUENCES DU MOOC

A. Introduction sur les réseaux

Cette séquence porte sur les généralités des réseaux, indispensables pour aborder les domaines plus spécialisés des objets communicants. Ces généralités se déclinent au travers de définitions, de topologies réseau et d'applications de ces réseaux. Les concepts fondamentaux portent sur les notions de paquet, de cheminement, d'adresses, de modes de communication (point à point, multipoint, multidiffusion), et de types de commutation (circuits virtuels ou non, et datagrammes). Dans les réseaux actuels, dont les caractéristiques et les structures sont très diversifiées, sont abordés les critères de Qualité de Service. Le modèle architectural en couches fait partie des connaissances nécessaires pour aborder les communications longue distance. Pour comprendre cette architecture, les notions de protocole, de service, de primitives de service et de réalisation du service par une couche de protocole sont présentées. Cette architecture est instanciée sous la forme du modèle *Open System Interconnection* (OSI). Les fonctionnalités des couches physique, liaison de donnée, réseau, transport, session, présentation et application sont détaillées. Une attention plus particulière est portée sur les couches réseau et transport, les plus importantes car elles sont interfacées avec les applications communicantes.

B. Internet et protocole IP

Cette séquence porte sur le réseau et le protocole les plus universellement déployés, à savoir l'Internet. Tout d'abord,

nous avons présenté sous forme de généralités l'histoire d'Internet, depuis son apparition à la fin des années 70 jusqu'à nos jours, en détaillant les principales évolutions techniques et fonctionnelles de ce réseau. Une fois l'architecture d'Internet décrite, nous nous sommes focalisés sur les protocoles IP, puis sur les protocoles TCP et UDP, en présentant leur interface d'accès (*sockets*). Nous nous sommes intéressés aux principes d'accès à Internet, en décrivant les fonctionnalités de translation d'adresse. Concernant le cœur du réseau, nous avons décrit les principes du routage dans Internet au travers des protocoles OSPF et BGP. Puis, nous avons montré l'évolution d'Internet en IP v6, en détaillant son nouveau type d'adressage et le principe d'auto-configuration. Le routage IP v6 et les principes de *tunneling* IPv4/IPv6 ont été présentés.

C. Développement de protocoles de communications sans fil

Les communications courte ou longue distance entre objets connectés se font par l'utilisation conjointe de matériel de communication et de piles protocolaires qui se composent de logiciel. Les principes de conception qui régissent ces piles protocolaires sont décrits dans ce module. Nous insistons tout particulièrement sur la notion de modèles, d'automates, de conception en couches, de services et de protocoles. Nous abordons leur implantation par programmation réactive, en langage C. Dans ces séquences, l'apprenant se forme et se spécialise sur la conception de protocoles de communications sans fil pour des objets connectés. Les capsules vidéos qui composent ces séquences permettent de présenter les couches radio utilisés (bandes ISM), les topologies dédiées aux réseaux d'objets connectés, la couche liaison de type LLC1 et LLC3 (DATA puis DATA-ACK), la détection ou correction des erreurs de transmission, des protocoles de routage réactifs et proactifs. L'apprenant est enfin amené à découvrir l'architecture matérielle des nœuds radio *WiNo* (*Wireless Node*) [11] qui servent de support de la formation pédagogique, à base d'un processeur Arduino Teensy 3 et d'un *transceiver* radio, l'environnement de développement logiciel *OpenWiNo*, et l'accès Web à la plate-forme de prototypage rapide. A l'issue de ces séquences, l'apprenant est capable de développer des protocoles dédiés aux objets connectés sans fil, par exemple des capteurs et actionneurs organisés, entre eux, en réseau sans fil dans des topologies point à point, maillées, représentant le réseau de collecte *Device Layer-IoT*, 1^{er} maillon de l'architecture globale de l'IoT. Sur chaque nœud *WiNo*, de nombreux capteurs et actionneurs sont disponibles : accéléromètres 3D, gyromètres 3D, température, magnétomètre, LED 3 couleurs... et offrent un terrain de jeux applicatif pour illustrer l'intérêt des échanges protocolaires. Ce matériel est mis à la disposition des apprenant, soit en y accédant à distance, soit lors des TP en présentiels. Le nœud *WiNo* est *Open Source*, aussi bien sur les aspects matériels que logiciels. Il est peu onéreux et peut être acheté pour des usages individuels, pédagogiques et industriels, chez *Snootlab*.



Fig. 2. Nœud WiNo

D. Technologies domotiques et objets connectés en santé

Les objectifs de cette séquence sont de permettre de donner des connaissances de base sur la domotique et les objets connectés avec des situations d'usage dans le contexte de la e-santé. L'évolution de la domotique et des innovations permises par l'avènement des nouvelles technologies numériques et objets connectés vers l'habitat intelligent est présentée. Un focus est fait sur les gérontechnologies dans un environnement ambiant permettant de répondre aux enjeux du maintien à domicile des seniors et des personnes en situation de perte d'autonomie. Les différents aspects à prendre en compte dans la conception d'un système de surveillance intelligent sont présentés : capteurs de mesure, interopérabilité des objets, mode de connexion, hub domotique, autonomie, ergonomie et intuitivité des interfaces,... Plusieurs exemples applicatifs sont donnés : les objets de sécurité connectés, de gestion de l'énergie, de téléassistance, et de communication. Une attention particulière sera faite sur la notion de « *Quantified Self* » qui permet à la fois de proposer une fonction ludique et pratique pour avoir un regard sur sa santé. Ce module sera conclu par des séances pratiques de démonstrations sur la plateforme Maison Intelligente [7] de l'IUT de Blagnac et des exercices pédagogiques.

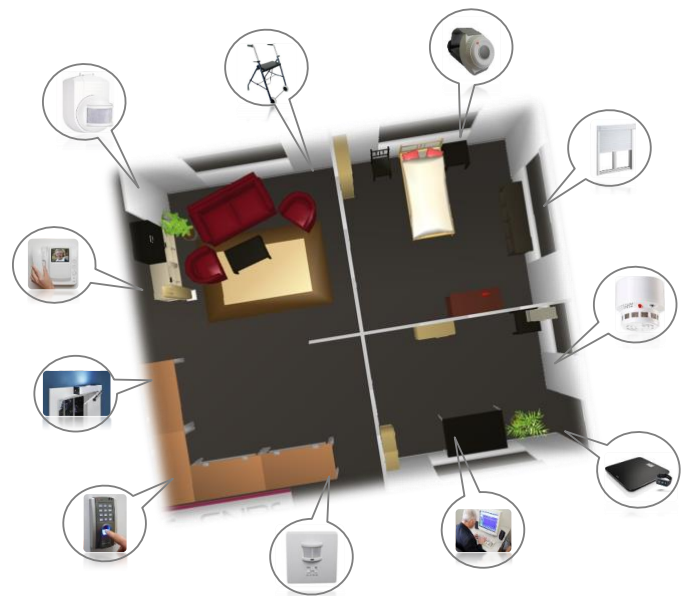


Fig. 3. Objets connectés au sein d'un habitat intelligent

E. Objets connectés LoRa

Dans l'éco-système des réseaux sans fil on distingue ceux dédiés aux réseaux longues portées (Long Range) et faible consommation (Low Power) spécifiques aux objets connectés.

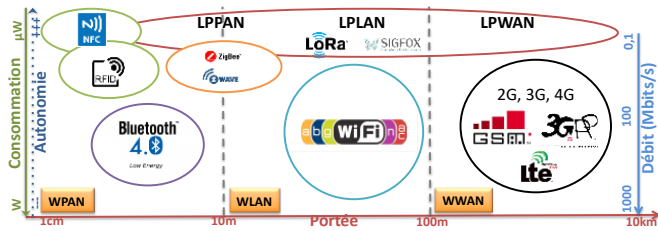


Fig. 4. Positionnement de LoRa dans l'éco-système des réseaux sans fil

On parle alors d'objets constituant un réseau LPWAN, dont les deux principaux protocoles sont LoRa [12] et Sigfox. Les réseaux LoRa d'opérateurs ou privés connaissent un essor grandissant grâce à la mise à disposition de la norme garantissant ainsi une totale maîtrise protocolaire applicative. Les cas d'usages d'Internet des Objets (IoT) sont nombreux puisqu'ils adressent les domaines de la santé, du sport et loisir, les transports, les villes, les habitats, les environnements urbains et ruraux, ... et nous trouverons toujours une nouvelle application qui nécessitera une connexion avec de petits objets pour améliorer notre confort de vie.

Les objectifs de cette séquence sont de définir autour de LoRa les concepts généraux, les architectures et les topologies ainsi que les protocoles permettant de concevoir un réseau privé LoRa. Le cas d'usage utilisé vise la collecte de données environnementales (température, humidité, luminosité). Il s'agira d'apprendre à programmer, sur une plateforme embarquée Raspberry Pi 3, la collecte de données issues de capteurs, leur mise en forme et leur transmission dans un protocole applicatif basé sur LoRaWAN.

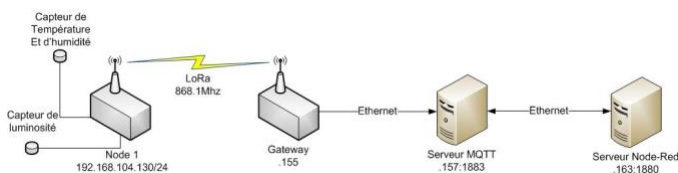


Fig. 5. Architecture matérielle et logicielle du réseau privé LoRa

Les données sont transmises à une passerelle (gateway) du réseau privé LoRa qui les formatera pour être transmises à leur tour à un serveur de publication MQTT [13] et plus particulièrement sur un « broker MQTT Mosquitto » [14]. Afin d'utiliser les données collectées par le serveur MQTT, il s'agit de les exploiter et dans notre cas d'usage de les grapher simplement sur une interface Web.

Grâce au framework Node-RED [15], il est possible de définir un diagramme de flux correspondant aux publications de chaque capteur.

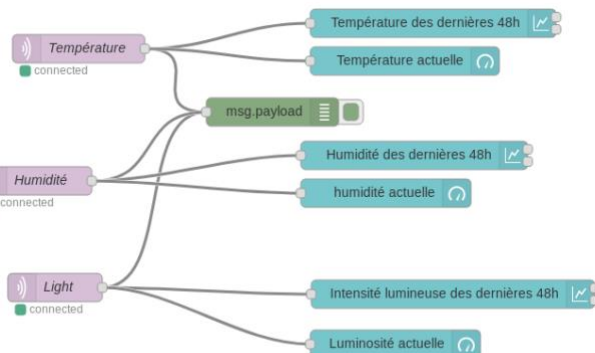


Fig. 6. Définition du diagramme de flux avec Node-RED

Le diagramme de flux Node-RED permet en particulier de définir la nature des graphes à produire et d'obtenir ainsi une interface de supervision des données des capteurs.



Fig. 7. Graphes des données des capteurs

Ce SPOC a donc pour vocation d'apprendre à concevoir la chaîne complète de mise en œuvre d'un réseau LoRa privé d'objets connectés.

F. Communications radiofréquences pour les objets connectés

Cinq séquences sont consacrées aux communications radiofréquences (RF) pour les objets connectés. Nous montrons tout d'abord dans une première séquence, l'intérêt d'utiliser les hautes fréquences mais aussi les précautions à prendre en électronique RF. La place réservée aux objets connectés dans le spectre radiofréquence est également abordée. La seconde séquence est consacrée aux modulations numériques. Les notions de débit et d'occupation spectrale

sont vues ainsi que certains aspects concernant les systèmes de communication. La structure des émetteurs-récepteurs est présentée à la troisième séquence en insistant particulièrement sur le principe du changement de fréquence et sur l'adaptation d'impédance. La quatrième séquence aborde le rôle et les grandeurs caractéristiques des antennes. Nous décrivons comment produire une onde électromagnétique et quels sont les principaux éléments rayonnants utilisés. La dernière séquence est consacrée quant à elle, à la propagation des ondes. Le bilan de liaison en espace libre et la propagation en milieux complexes sont abordés. Nous terminons cette semaine par une synthèse, une interview métiers et par une présentation des modules d'approfondissement que nous proposons.

V. CONCLUSION

L'enseignement à distance, tel que les MOOC et SPOC, via les plateformes numériques pédagogiques comme FUN, va faire partie du quotidien des enseignants, des étudiants de demain et plus généralement de tous apprenants en formation tout au long de la vie. D'abord réticents, les adeptes des méthodes classiques : cours magistraux - TD - TP, commencent petit à petit à y trouver des avantages, comme celui de rendre leurs enseignements plus attractifs, de toucher un public plus large avec en particulier le monde de l'entreprise, de permettre à des apprenants non disponibles en journée de participer, d'offrir la possibilité à chaque étudiant de travailler à son rythme en visionnant plusieurs fois si nécessaire les capsules vidéo de présentation, d'échanges interactifs entre les apprenants via les forums de discussions... La mise en place d'un MOOC et des SPOC prend par contre beaucoup de temps, et nécessite une organisation fine des différents intervenants, mais aussi des moyens informatiques et audio-visuels appropriés. A l'issue de la réalisation de ce MOOC sur les objets connectés, et de l'ouverture des premières sessions en 2016 et 2017, un bilan très positif a été dressé. Plus de 8400 personnes s'y sont inscrites et ont

participées. Nous attendons avec impatience la mise en ligne des SPOC qui suivent, sur lequel les intervenants sont actuellement en phase de réalisation des vidéos.

Remerciements

Nous remercions tous les participants et entités impliquées dans ce nouveau module pédagogique de *e-learning* et tout particulièrement les porteurs du projet, David DUBUC et Laurent ESCOTTE. Cet enseignement à distance est soutenu financièrement par l'université de Toulouse dans le cadre d'un projet IDEX.

* Nous présentons toutes nos condoléances à la famille et aux proches de Laurent ESCOTTE, décédé courant 2017. Il avait été l'un des piliers de ce projet.

Références

- [1] <http://eformation.univ-tlse3.fr/oc/>
- [2] <https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:univ-toulouse+101003+session02/about>
- [3] <http://iut.ups-tlse.fr/>
- [4] <http://www.insa-toulouse.fr/fr/index.html>
- [5] <http://www.sigfox.com/>
- [6] <http://www.intesens.com/>
- [7] <http://mi.iut-blagnac.fr/>
- [8] <http://www.iot-valley.fr>
- [9] <http://mi.iut-blagnac.fr>
- [10] <http://tempo-mfca.ups-tlse.fr/>
- [11] <https://wino.cc/>
- [12] <https://www.lora-alliance.org/>
- [13] <http://mqtt.org/>
- [14] <https://mosquitto.org/>
- [15] <https://nodered.org/>