

---

# Objets Connectés

## GUIDE DE L'ÉTUDIANT S6 Génie Informatique – APP6

*Été 2025 – Semaines 14 et 15*

---

Auteur : Philippe Mabillean et Domingo Palao Muñoz  
Version : 3.00 (1 juillet 2025 à 10:09:18. Ajout de CoAP)

Ce document est réalisé avec l'aide de  $\text{\LaTeX}$  et de la classe `gegi-app-guide`.

©2025 Tous droits réservés. Département de génie électrique et de génie informatique, Université de Sherbrooke.

# TABLE DES MATIÈRES

T TUTORAT D'OUVERTURE	1
14 PRATIQUE PROCÉDURALE 1	12
15 PRATIQUE EN LABORATOIRE	29
16 PRATIQUE PROCÉDURALE 2	35
17 VALIDATION AU LABORATOIRE	45
T TUTORAT DE FERMETURE	46

# LISTE DES FIGURES

T.1 Architecture de la solution. . . . .	4
--	---

## LISTE DES TABLEAUX

16.1 Comparaison entre HTTP et CoAP . . . . .	38
16.2 Comparaison entre HTTP et CoAP . . . . .	38
16.3 Exemple de lecture d'une variable CoAP . . . . .	39

# 1 ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES ET COMPÉTENCES

## GIF675 – Objets connectés

1. Concevoir une application embarquée, en interaction avec l'environnement physique, pour développer une solution informatique exploitant la dualité entre un objet connecté à un réseau et un service infonuagique.
2. Comprendre les enjeux de sécurité liés aux objets connectés et un service infonuagique.

Description officielle : <http://www.usherbrooke.ca/fiches-cours/gif675>

## 2 SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION

Évaluation	GIF675-1	GIF675-2	Qualités et critères évalués
Rapport d'APP et livrables associés	20	20	Q1(C3), Q4(C4)
Validation	25	25	Q4(C1, C2, C3, C4, C5, C6)
Évaluation sommaire	120	120	Q1(C3), Q4(C1, C2, C3, C4)
Évaluation finale	135	135	Q1(C1), Q4(C1, C2, C3, C4)
Total	300	300	

Tableau 2.1 Synthèse de l'évaluation de l'unité

À moins de circonstances exceptionnelles, une cote ou un niveau d'atteinte d'une qualité est calculé à partir du tableau ???. La grille d'indicateurs utilisée pour les évaluations est donnée au tableau ???.

Tableau 2.2 Calcul d'une cote et d'un niveau d'atteinte d'une qualité

Note(%)	<50	50	53	57	60	64	68	71	75	78	81	85
Cote	E	D	D+	C-	C	C+	B-	B	B+	A-	A	A+
Niveau	N0	N1	N1	N1	N2	N2	N2	N3	N3	N3	N4	N4
Libellé	Insuffisant	Passable (seuil)			Bien			Très bien (cible)			Excellent	

### 3 QUALITÉS DE L'INGÉNIEUR

Les qualités de l'ingénieur visées et évaluées par cette unité d'APP sont données dans le tableau un peu plus bas. D'autres qualités peuvent être présentes sans être visées ou évaluées dans cette unité. Pour une description détaillée des qualités et leur provenance, consultez le lien suivant :

<https://www.usherbrooke.ca/genie/etudiants-actuels/au-baccalaureat/bcapg/>

Qualité	Libellé	Touchée	Évaluée
Q01	Connaissances en génie	✓	✓
Q02	Analyse de problèmes	✓	
Q03	Investigation		
Q04	Conception	✓	✓
Q05	Utilisation d'outils d'ingénierie	✓	
Q06	Travail individuel et en équipe		
Q07	Communication		
Q08	Professionnalisme		
Q09	Impact du génie sur la société et l'environnement		
Q10	Déontologie et équité		
Q11	Économie et gestion de projets		
Q12	Apprentissage continu		



## 4 ÉNONCÉ DE LA PROBLÉMATIQUE

### Traçage

Vous êtes un jeune ingénieur au sein de l'entreprise **GeoForce**, spécialisée dans les solutions de localisation de personnes et d'objets pour des compagnies et des organismes publics (hôpitaux, écoles, universités, etc.). Dans le contexte de la pandémie, GeoForce souhaite développer une nouvelle ligne de solutions permettant de savoir quand des employés ont été présents dans des locaux sans les géolocaliser en tout temps, afin de respecter la vie privée.

L'architecture de solution proposée repose sur l'utilisation de bornes connectées exploitant la technologie BLE (Bluetooth Low Energy). Chaque borne ferait l'inventaire des badges numériques portés par les employés à proximité. Ces badges seraient hébergés dans une application mobile sur le téléphone de l'employé. À terme, des porte-clés avec balise BLE pourraient être fabriqués.

Une application nuagique rassemblera les informations sur la présence des employés dans les différents sites, permettant ainsi de retracer les contacts éventuels entre individus en cas de contagion.

Dans le cadre de ce projet, on vous confie le mandat de développer un prototype fonctionnel pour la borne et de démontrer son intégration dans l'architecture globale. Ce prototype sera basé sur un module microcontrôleur connecté au réseau local de l'organisation via WiFi.

Chaque borne devra :

- recenser les badges électroniques à sa portée,
- produire des événements d'arrivée et de départ pour chacun d'eux.

La technologie iBeacon sera utilisée pour communiquer avec les badges, lesquels seront simulés par des applications de test disponibles sous iOS et Android.

Vous devrez également démontrer l'intégration potentielle avec une application nuagique permettant :

1. la sauvegarde dans une base de données (ou un fichier) des événements d'arrivée et de départ,
2. l'accès standardisé à ces événements par une application tierce.

Une plateforme de partage des événements exploitant le protocole MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) sera utilisée avec un Broker central. Toutefois, pour des raisons de sécurité, de modularité et en vue d'éventuelles extensions futures, les bornes ne seront pas directement exposées à ce mécanisme de partage.

GeoForce envisage d'étendre les fonctionnalités des bornes (affichage, capteurs, etc.) et souhaite que leur accès soit protégé indépendamment. Une application intermédiaire (Relai) sera donc développée pour relayer les événements entre la plateforme nuagique et le système de partage, en Node.js, Python ou autre langage.

De plus, il vous est demandé :

- de développer une application en Node.js, Python ou autre pour enregistrer les événements dans une base de données (ou un fichier),
- de concevoir une Interface Graphique Administrateur (par exemple en Node.js), permettant de contrôler (allumer ou éteindre) la LED de la borne sans interférer avec la solution de traçage.

En dernière minute, le responsable a appris qu'un nouveau protocole de communication, le CoAP (Constrained Application Protocol), suscite l'intérêt de certains clients. Vous devrez reproduire l'architecture mise en place avec MQTT en utilisant ce protocole.

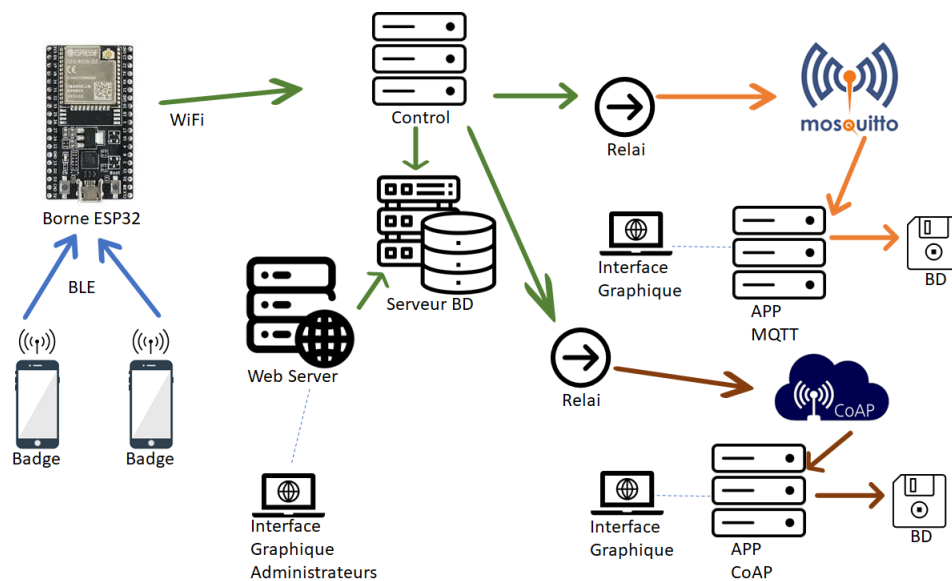


Figure 4.1 Architecture de la solution.

## Questions à traiter dans le rapport

Votre rapport devra répondre aux questions suivantes :

1. Proposer une variante de l'architecture dans le cas où l'adresse IP de la borne est accessible depuis Internet. Expliquez les enjeux de sécurité. **Qu'est-ce qui se passe si on la passe du côté accès internet.**
2. Faire un inventaire des méthodes et principes permettant la détection de présence ou de localisation en intérieur. Les évaluer dans le contexte du projet.

Une option c'est géolocalisation en permanence (vie privée) -> est-ce que le gps va se rendre jusqu'ici. Comment savoir si 2 personnes sont proches, c'est quoi

3. Analyser les aspects de sécurité informatique. Identifier les points critiques et évaluer les risques pour les données personnelles. **Virus chinois -> péjoratif sur les personnes chinoise. Comment garder ça secret pour pas que ça réarrive.**
4. Comparer les protocoles MQTT et CoAP dans un **tableau comparatif** en considérant :
  - Modèle de communication,
  - Protocoles sous-jacents,
  - Légèreté,
  - Qualité de service,
  - Sécurité,
  - Format des données, etc.

## 5 CONNAISSANCES NOUVELLES

### GIF75 – Objets connectés (100%)

#### Connaissances déclaratives (quoi)

- Intégration d'un système embarqué avec une plateforme de l'Internet des Objets (IoT ou IdO).
- Acquisition de justificatif d'identité.
- Procédures d'inscription à un service.
- Interface d'application (API) d'un objet sur l'internet.
- Relation requête-réponse
- Évènements, souscription et diffusion
- Protocole MQTT
- Protocole CoAP
- Chiffrement et authentification

#### Connaissances procédurales (comment)

- Développer une application simple pour un objet connecté qui exploite des capteurs ou des actionneurs.
- Associer de façon sécuritaire un système embarqué à une application infonuagique en permettant l'exploitation de ses fonctionnalités au travers de services.
- Exploiter les fonctionnalités d'un objet connecté à travers une interface de programmation (API).
- Exploiter des fonctionnalités de chiffrement et d'authentification avec une connexion sur Internet

#### Connaissances conditionnelles (quand)

- Utiliser des outils de développement et de mise au point pour développer une application sur un système embarqué connecté à un réseau informatique.
- Définir l'architecture d'une application nuagique intégrant des objets connectés.
- Choisir un mécanisme d'association entre des objets connectés et des utilisateurs ou des applications.
- Choisir une solution de sécurité pour des objets connectés.

## 6 GUIDE DE LECTURE

### 6.1 Références essentielles

- Objets connectés (Mabilleau, 2021), disponible sur la page de l'APP
- ESP32 :
  - <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html>
- BLE :
  - <https://randomnerdtutorials.com/esp32-bluetooth-low-energy-ble-arduino-ide/>
- Information sur le contenu des messages iBeacon :
  - <https://stackoverflow.com/questions/18906988/what-is-the-ibeacon-bluetooth-profile-19040616#19040616>
- MQTT :
  - <https://www.hivemq.com/mqtt-essentials/>
  - <https://blog.risingstack.com/getting-started-with-nodejs-and-mqtt/>
  - <https://mosquitto.org/documentation/>
- Node Js :
  - <https://nodejs.org/fr/>
- Express.JS :
  - <https://expressjs.com/fr/guide/routing.html>
- Angular :
  - <https://angular.io/guide/setup-local>
  - <https://angular.io/guide/http>
- CoAP :
  - [https://www.researchgate.net/publication/326943054\\_Constrained\\_Application\\_Protocol\\_CoAP\\_for\\_theIoT](https://www.researchgate.net/publication/326943054_Constrained_Application_Protocol_CoAP_for_theIoT)
  - <https://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc7252.txt.pdf>
  - <https://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc7641.txt.pdf>
- Sécurité et objets connectés :
  - <https://www.particle.io/resources/securing-internet-of-things-products/>
  - SSL/TLS pour les nuls : [https://youtu.be/k\\_ScPsb3WSk](https://youtu.be/k_ScPsb3WSk)
- Webhooks :
  - <https://docs.particle.io/tutorials/device-cloud/webhooks/>

## 7 LOGICIELS ET MATÉRIEL

- Matériel Obligatoire
  - ESP32 WROOM UE
- Logiciels (téléchargeables pour navigateur WEB et Windows ou Mac)
  - Outil de développement IDE pour le ESP32  
<https://www.arduino.cc/en/software>
  - Node Js  
<https://nodejs.org>
  - Web server en local sur votre ordinateur
  - Serveur MQTT Mosquitto, installé sur votre ordinateur
  - Serveur CoAP aiocoap, installé sur votre ordinateur
- Logiciels pour IOS (ou équivalent sous Android)
  - iBeaconBroadcaster, QuickBeacon, My Beacon Tester ou Beacon Simulator (liste non exhaustive pour IOS).
  - Beacon Simulator ou Bluetooth LE Simulator, (liste non-exhaustive sur Google Play) (Attention certaines applications peuvent balayer les balises iBeacon présentes mais ne peuvent pas en simuler ce qui n'est pas pertinent pour la problématique)
- Bibliothèques à utiliser avec le module ESP32
  - MQTT exemple : <https://docs.arduino.cc/tutorials/uno-wifi-rev2/uno-wifi-r2-mqtt>
- Mosquitto
  - Public MQTT Broker <https://mosquitto.org//>

## 8 SANTÉ ET SÉCURITÉ

### 8.1 Dispositions générales

Dans le cadre de la présente activité, vous êtes réputés avoir pris connaissance des politiques et directives concernant la santé et la sécurité. Ces documents sont disponibles sur les sites web de l'Université de Sherbrooke, de la Faculté de génie et du département. Les principaux sont mentionnés ici et sont disponibles dans la section *Santé et sécurité* du site web du département : <https://www.gel.usherbrooke.ca/santesecurite/>.

- Politique 2500-004 : Politique de santé et sécurité en milieu de travail et d'études
- Directive 2600-042 : Directive relative à la santé et à la sécurité en milieu de travail et d'études
- Sécurité en laboratoire et atelier au département de génie électrique et de génie informatique

### 8.2 Dispositions particulières

Aucune.

## 9 SOMMAIRE DES ACTIVITÉS

### Semaine 1

- Première rencontre de tutorat
- Étude personnelle et exercices
- Formation à la pratique procédurale 1
- Formation à la pratique en laboratoire 1

### Semaine 2

- Formation à la pratique procédurale 2/Laboratoire
- Consultation pour la résolution de la problématique

### Semaine 3

- Validation de la solution
- Rédaction du rapport d'APP
- Remise des livrables d'APP
- Deuxième rencontre de tutorat
- Évaluation formative théorique écrite
- Consultation pré-examen
- Évaluation sommative théorique écrite



## 10 PRODUCTIONS À REMETTRE

- Les productions se font par équipe de 2, sauf lorsque indiqué autrement.
- L'identification des membres des équipes doit être faite sur la page web de l'unité avant 16h30, le lendemain de votre premier tutorat.
- La date limite pour le dépôt électronique est 9h00 (pas 21h00!), le jour de votre deuxième tutorat. Les retards seront pénalisés.
- Les productions soumises à l'évaluation doivent être originales pour chaque équipe, sinon l'évaluation sera pénalisée en cas de non-respect de cette consigne.

### 10.1 Productions à remettre

1. Code de la solution sous forme d'un fichier .zip
2. Rapport d'APP en format PDF

#### Rapport

Le rapport doit comporter un maximum de 5 pages et il peut se présenter sous une forme synthétique (PowerPoint avec des diagrammes par exemple). Tous les éléments de réponse doivent être justifiés dans les rapports.

1. Un schéma bloc commenté décrivant la solution dans son ensemble
2. La réponse aux questions posées à la fin de l'énoncé de la problématique
3. Une analyse critique de la solution proposée

#### Fichiers

La remise aura la forme d'un fichier ZIP qui se nommera CIP1-CIP2.zip avec le contenu indiqué.

Fichiers à remettre :

1. Les fichiers .ino avec le code commenté de l'application embarquée sur le noeud capteur.
2. Les fichiers .js ou autre pour les composants requis.
3. Un dossier nommé "interface" contenant le code de l'interface utilisateur.

Ces fichiers devront comporter des commentaires suffisamment précis mais sans être une redite en français (ou en anglais) du code. Le nom des auteurs et leur CIP doivent être présents dans l'entête de tous les fichiers (sous peine de non validité du fichier remis).

# 11 ÉVALUATIONS

## 11.1 Rapport et livrables associés

L'évaluation du rapport portera sur les compétences figurant dans la description des activités pédagogiques. Ces compétences ainsi que la pondération de chacune d'entre elles dans l'évaluation du rapport sont indiquées au tableau ???. L'évaluation est directement liée au livrables demandés à la section ?? et le tableau ?? y réfère à l'aide d'une courte description.

Élément	GIF675-1	GIF675-2
Schéma bloc commenté de la solution	10	10
Réponse aux questions	40	40
Code	40	10
Total	90	10

Tableau 11.1 Sommaire de l'évaluation du rapport

Quant à la qualité de la communication technique elle ne sera pas évaluée de façon sommative, mais si votre rapport est fautif sur le plan de la qualité de la communication et de la présentation, il vous sera retourné et vous devrez le reprendre pour être noté.

## 11.2 Évaluation sommative

L'évaluation sommative théorique est un examen théorique qui porte sur tous les éléments de compétences de l'unité. C'est un examen qui se fait sans documentation.

## 11.3 Qualités de l'ingénieur

La grille d'indicateurs utilisée aux fins de l'évaluation est donnée au tableau ???. Il est à noter qu'un niveau d'atteinte d'un *indicateur* dans cette grille n'a pas la même signification qu'un niveau d'atteinte d'une *qualité* dans le tableau ???. Cela est normal, un indicateur et une qualité, ce sont deux choses différentes.

Tableau 11.2 Grille d'indicateurs utilisée pour les évaluations

Indicateur	AP	Qualité	Aucun (N0)	Insuffisant (N1)	Seuil (N2)	Cible (N3)	Excellent (N4)
Démontrer, à un niveau universitaire, l'acquisition de connaissances en sciences du génie.	GIF675-1	Q01.3	... N'applique pas ou très peu de concepts fondamentaux en sciences du génie.	... Applique correctement peu de concepts fondamentaux en sciences du génie.	... Est capable d'appliquer correctement certains des concepts fondamentaux en sciences du génie.	... Applique aisément les concepts fondamentaux en sciences du génie.	... Applique aisément et efficacement les concepts fondamentaux en sciences du génie.
Définir le projet ou le problème d'ingénierie.	GIF675-1	Q04.1	... Identifie trop peu d'informations importantes pour définir le projet ou le problème.	... Identifie des information qui ne sont pas toutes importantes pour définir le projet ou le problème.	... Identifie des informations importantes, mais de façon imprécise, pour définir le projet ou le problème.	... Identifie précisément des informations importantes pour définir le projet ou le problème.	... Identifie rigoureusement et à partir de sources variées des informations importantes pour définir le projet ou le problème.
Identifier les besoins et les exigences à considérer.	GIF675-2	Q04.2	... Identifie trop peu d'informations importantes pour définir le projet ou le problème.	... Identifie des information qui ne sont pas toutes importantes pour définir le projet ou le problème.	... Identifie des informations importantes, mais de façon imprécise, pour définir le projet ou le problème.	... Identifie précisément des informations importantes pour définir le projet ou le problème.	... Identifie rigoureusement et à partir de sources variées des informations importantes pour définir le projet ou le problème.
Rechercher plusieurs solutions et en sélectionner une.	GIF675-2	Q04.3	... Identifie peu de solutions et éprouve de la difficulté à sélectionner celle qui semble convenir.	... Identifie quelques solutions et sélectionne celle qui semble convenir, sans toutefois en faire la validation.	... Identifie plusieurs solutions, fait une analyse sommaire et sélectionne celle qui semble être la meilleure. Valide sommairement le potentiel de la solution retenue.	... Identifie plusieurs solutions et en crée de nouvelles, fait une analyse critique, basée sur des critères de sélection pertinents et à l'aide d'outils servant à la prise de décision. Valide le potentiel de la solution retenue.	... Identifie plusieurs solutions et en crée de nouvelles, fait une analyse critique et applique un processus rigoureux et rationnel à l'aide d'outils servant à la prise de décision. Valide le potentiel de la solution retenue et cherche à l'améliorer.
Faire la conception détaillée.	GIF675-1	Q04.4	... Raffine peu le concept retenu pour obtenir une conception détaillée en s'appuyant sur des calculs, des simulations ou des expériences comportant des erreurs majeures.	... Raffine le concept retenu pour obtenir une conception détaillée en s'appuyant sur des calculs, des simulations ou des expériences comportant des erreurs mineures.	... Raffine le concept retenu pour obtenir une conception détaillée en s'appuyant sur des calculs, des simulations ou des expériences dont les résultats sont justes.	... Définit l'architecture de la solution, raffine le concept pour obtenir une conception détaillée, et ce, en s'appuyant sur des calculs, des simulations ou des expériences dont les résultats sont justes. Justifie ses choix.	... Définit l'architecture de la solution, raffine le concept pour obtenir une conception détaillée, et ce, en s'appuyant sur des calculs, des simulations ou des expériences justes et exécutées selon les règles de l'art. Justifie ses choix en fonction des exigences identifiées.
Valider et implémenter la solution retenue.	GIF675-2	Q04.5	... Élabore un design incomplet. Ne vérifie pas que la solution répond aux besoins et exigences.	... Élabore un design partiellement complet. Vérifie sommairement que la solution répond aux besoins et aux exigences.	... Élabore un design complet. Valide la solution répond aux besoins et aux exigences.	... Élabore un design complet et de qualité. Valide adéquatement que la solution répond aux besoins et aux exigences.	... Élabore un design complet et de grande qualité. Valide adéquatement que la solution répond aux besoins et aux exigences et propose des améliorations potentielles.
Analyser la solution retenue et ses limites, puis formuler des recommandations.	GIF675-2	Q04.6	... N'est pas en mesure d'analyser la solution retenue et ses limites, puis d'identifier des recommandations.	... Analyse partiellement la solution retenue et ses limites. Identifie quelques recommandations vagues ou anodines.	... Analyse la solution retenue et ses principales limites. Identifie quelques recommandations pertinentes.	... Analyse la solution retenue et l'ensemble de ses limites. Identifie les recommandations les plus pertinentes.	... Analyse rigoureusement la solution retenue et l'ensemble de ses limites. Identifie minutieusement les recommandations les plus pertinentes.

## 12 POLITIQUES ET RÈGLEMENTS

Dans le cadre de la présente activité, vous êtes réputés avoir pris connaissance des politiques, règlements et normes d'agrément suivants.

### Règlements de l'Université de Sherbrooke

- Règlement des études :  
<https://www.usherbrooke.ca/registraire/>

### Règlements facultaires

- Règlement facultaire d'évaluation des apprentissages / Programmes de baccalauréat
- Règlement facultaire sur la reconnaissance des acquis

### Normes d'agrément

- Informations pour les étudiants au premier cycle :  
<https://www.usherbrooke.ca/genie/etudiants-actuels/au-baccalaureat/bcapg>
- Informations sur l'agrément :  
<https://engineerscanada.ca/fr/agrement/a-propos-de-l-agrement>

Si vous êtes en situation de handicap, assurez-vous d'avoir communiqué avec le *Programme d'intégration des étudiantes et étudiants en situation de handicap* à l'adresse de courriel [prog.integration@usherbrooke.ca](mailto:prog.integration@usherbrooke.ca).

## 13 INTÉGRITÉ, PLAGIAT ET AUTRES DÉLITS

Dans le cadre de la présente activité, vous êtes réputés avoir pris connaissance de la déclaration d'intégrité relative au plagiat :

<https://www.usherbrooke.ca/enseigner/passeurs-dintegrite/ressources/antiplagiat>

# 14 PRATIQUE PROCÉDURALE 1

## But de l'activité

- Les exercices de ce procédural ont pour objectif de comprendre le fonctionnement des mécanismes impliqués avec les objets connectés.
- Le document "Objets connectés" (Philippe Mabillean - juin 2021) contient les principales informations pour résoudre les exercices. Des informations plus ciblées sont disponibles via Internet.

## 14.1 Exercices

### E.1 BLE Beacon

1. Qu'est-ce que la technologie BLE Beacon ?
2. Quelles sont les avantages de la technologie BLE Beacon ?
3. Quels sont les limites de la technologie BLE Beacon ?
4. Comment se compare-t'il la technologie BLE Beacon avec RFID ?

### E.2 Transaction requête-réponse

1. Tracer le diagramme de séquence de la requête d'une page à un serveur WEB.
2. Identifier les champs plus significatifs qui composent la requête et la réponse selon les différentes couches du protocole TCP/IP
3. Identifier un autre protocole que `http` qui utilise le mécanisme requête-réponse. Donner un exemple de son fonctionnement.
4. Expliquer le concept de dissymétrie des transactions requête-réponse.
5. Identifier un mécanisme avec changement de protocole qui permet de palier au problème de dissymétrie qui existe avec les transactions requête-réponse. Expliquer son fonctionnement.

### E.3 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Publication-souscription

1. Quel est l'objectif du protocole MQTT ?
2. Expliquer brièvement le mécanisme de publication-souscription. Pourquoi est-il difficile à mettre en oeuvre de façon directe sur Internet ?
3. Expliquer le rôle et le fonctionnement d'un courtier de données (Data Broker) et comment il peut être utilisé pour mettre en oeuvre un mécanisme de publication-souscription.
4. Expliquer le concept des topics dans le contexte des messages MQTT

5. Quels sont les niveaux de qualité de service disponibles sur MQTT et expliquer leur fonctionnement.
6. Comparez les protocoles HTTP et MQTT selon les critères suivants :

	MQTT	HTTP
Design		
Démarche		
Complexité		
Taille des messages		
Niveaux de service		
Librairies		
Distribution de données		

#### **E.4 Association d'un objet connecté avec un usager**

1. Expliquer le principe sous-jacent à la base de l'association d'un objet connecté avec son propriétaire.
2. Énumérer les principaux moyens utilisés pour permettre cette association avec les dispositifs actuels.
3. Identifier des scénarios mettant en évidence des faiblesses de sécurité potentielle pendant cette association.

# 15 PRATIQUE EN LABORATOIRE

## Buts de l'activité

Le but de cette activité est de d'expérimenter avec les éléments nécessaires de l'ESP32 pour résoudre la problématique.

- Utilisation d'une application node.js pour exploiter l'API nuagique.
- Utilisation d'un broker MQTT
- Utilisation du serveur CoAP

## Matériel et logiciels requis

- Kit de développement ESP32
- Ordinateur (Windows, Mac ou linux) avec un navigateur WEB ; la puissance de l'ordinateur n'est pas critique car les développements s'effectuent dans un environnement WEB
- Node Js installé sur l'ordinateur

## Notes importante

- Assurez-vous d'avoir configuré votre ESP32.
- L'antenne du kit ESP32 est fragile ; vous devez le manipuler avec soin.
- Toutes les entrées-sorties du kit supportent une logique de 3,3V et non 5V. (Ceci ne devrait pas avoir d'incidence pour les manipulations de cette unité d'APP)
- Il est conseillé de débiter cette séance de laboratoire avant la période réservée à l'horaire. En particulier la configuration de votre ESP32 pour fonctionner sur le réseau de l'université. Toutefois, vous pouvez toujours activer un accès point local à partir de votre ordinateur personnel.

### E.1 Communication BLE (Bluetooth Low Energy)

1. Dans l'environnement de développement Arduino IDE, tester l'exemple qui se trouve dans : File -> Example -> ESP32 -> BLE -> Beacon Scanner
2. Installez dans votre téléphone cellulaire un Simulateur de Beacon.
3. Exécutez le sketch et regardez l'affichage dans la console serie. Qu'est-ce que vous pouvez observer ?

### E.2 Le serveur Mosquitto MQTT

1. Téléchargez le serveur Mosquitto à partir du site <https://mosquitto.org/download/>.
2. Procédez à l'installation et configuration de votre serveur.



3. Assurez-vous d'ajouter le chemin où vous avez installé le serveur dans la variable PATH de votre système.
4. Dans une fenêtre d'invite de commandes, démarrez le serveur avec l'instruction :  
`mosquitto -v`
5. Dans une fenêtre d'invite de commandes, vous allez vous inscrire aux messages du topic `hello/world` avec la commande : `mosquitto_sub -d -t hello/world -h AdresseIPServeur`
6. Dans une nouvelle fenêtre d'invite de commandes, vous allez publier un message dans le topic `hello/world` avec la commande : `mosquitto_pub -d -t hello/world -m "Hello message from terminal 2" -h AdresseIPServeur`
7. Qu'est-ce que vous pouvez observer ?
8. Assurez-vous de modifier le fichier `mosquitto.conf` pour avoir les lignes suivantes :  
`listener 1883 0.0.0.0` et `allow_anonymous true true`. Pourquoi faut-il ajouter ces lignes ?
9. Maintenant vous allez connecter votre ESP32 à un serveur WiFi. Pour ce faire vous pouvez utiliser le code suivant :

```

1  #include <WiFi.h>
2
3  const char* ssid = "VOTRESSID";
4  const char* password = "VOTREPASSWORD";
5
6  void setup() {
7      Serial.begin(115200);
8      delay(1000);
9      Serial.println("En train de se connecter au WiFi...");
10     Serial.println(ssid);
11     WiFi.begin(ssid, password);
12
13     int essais = 0;
14     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && essais < 20) {
15         delay(500);
16         Serial.print(".");
17         essais++;
18     }
19
20     if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
21         Serial.println("Conecte!");
22         Serial.print("Adresse IP du ESP32: ");
23         Serial.println(WiFi.localIP());
24     } else {

```

```

25     Serial.println("Echec de la connexion.");
26 }
27 }
28
29 void loop() {}

```

10. Testez le code suivant, qui vous permet de connecter le ESP32 au serveur Mosquitto sur votre PC. Pour ce faire, il faut installer la librairie PubSubClient by Nick O’Leary (Tools -> Manage Libraries). Ce code permet d’envoyer et recevoir des messages au serveur MQTT.

```

1  #include <WiFi.h>
2  #include <PubSubClient.h>
3
4  // === Configuration Wi-Fi ===
5  const char* ssid = "VOTRESSID";
6  const char* password = "VOTREPASSWORD";
7
8  // === Configuration MQTT ===
9  const char* mqtt_server = "192.168.X.Y"; // Adresse IP du
    broker Mosquitto
10 const int mqtt_port = 1883;
11 const char* mqtt_topic = "test/topic";
12
13 WiFiClient espClient;
14 PubSubClient client(espClient);
15
16 unsigned long lastMsg = 0;
17 int compteur = 0;
18
19 // === Callback : quand un message est reçu ===
20 void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int
    length) {
21     Serial.print("Reçu sur [");
22     Serial.print(topic);
23     Serial.print("] : ");
24     for (unsigned int i = 0; i < length; i++) {
25         Serial.print((char)payload[i]);
26     }
27     Serial.println();
28 }
29
30 // === Connexion au Wi-Fi ===
31 void setup_wifi() {

```

```

32     delay(10);
33     Serial.println();
34     Serial.print("Connexion à ");
35     Serial.println(ssid);
36
37     WiFi.begin(ssid, password);
38
39     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
40         delay(500);
41         Serial.print(".");
42     }
43
44     Serial.println("\nWiFi connecté");
45     Serial.print("Adresse IP : ");
46     Serial.println(WiFi.localIP());
47 }
48
49 // === Connexion au broker MQTT ===
50 void reconnect() {
51     while (!client.connected()) {
52         Serial.print("Connexion au broker MQTT...");
53         String clientId = "ESP32Client-";
54         clientId += String(random(0xffff), HEX);
55
56         if (client.connect(clientId.c_str())) {
57             Serial.println("MQTT connecté");
58             client.subscribe(mqtt_topic, 1);
59             Serial.println("Abonnement au topic avec QoS 1");
60         } else {
61             Serial.print("Échec, rc=");
62             Serial.print(client.state());
63             Serial.println(" nouvelle tentative dans 5 secondes");
64             delay(5000);
65         }
66     }
67 }
68
69 // === Setup initial ===
70 void setup() {
71     Serial.begin(115200);
72     setup_wifi();
73     client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);
74     client.setCallback(callback);
75 }

```

```

76
77 // === Boucle principale ===
78 void loop() {
79     if (!client.connected()) {
80         reconnect();
81     }
82     client.loop();
83
84     // Publier un message toutes les 5 secondes
85     unsigned long now = millis();
86     if (now - lastMsg > 5000) {
87         lastMsg = now;
88
89         String message = "Message #" + String(compteur++);
90         Serial.print("Publication : ");
91         Serial.println(message);
92
93         client.publish(mqtt_topic, message.c_str(), false); //
            QoS 1 activé par défaut avec .publish()
94     }
95 }

```

### E.3 Serveur CoAP

1. Installer un serveur aiocoap, une version de serveur CoAP Open Source. Pour ce faire :
  - (a) Assurez-vous installé **Python 3.7** ou plus recent.
  - (b) Assurez-vous d'ajouter Python à la variable **PATH**.
  - (c) installez aiocoap avec la commande : `pip install aiocoap[all]`
  - (d) Creez un fichier nommé `coap_server.py` avec le contenu suivant :

```

1 import asyncio
2 from aiocoap import Context, Message
3 from aiocoap import resource
4
5 class BasicResource(resource.Resource):
6     async def render_get(self, request):
7         payload = b"Bonjour a partir du serveur CoAP -
            Windows (IPv4)"
8         return Message(payload=payload)
9
10 async def main():
11     # Creer le ressource pour le site

```

```

12     root = resource.Site()
13     root.add_resource(['hello'], BasicResource())
14
15     # Creer le contexte du serveur CoAP lié a
        127.0.0.1:5683
16     context = await Context.create_server_context(root,
        bind=('127.0.0.1', 5683))
17
18     print("Serveur CoAP actif en coap://127.0.0.1/hello"
        )
19     await asyncio.get_running_loop().create_future() #
        Garde le programme en execution
20
21 if __name__ == "__main__":
22     asyncio.run(main())

```

- (e) Pour demarrer le serveur il faut executer le script à partir d'une terminal avec la commande `python coap_server.py`. Ceci va demarrer le serveur dans l'adresse `localhost` et sur le port `5683`.
- (f) Pour tester, il est possible de le faire à partir d'une autre terminal avec la commande `aiocoap-client coap://127.0.0.1/hello`

## 16 PRATIQUE PROCÉDURALE 2

### But de l'activité

- Cette activité a pour but de vous sensibiliser aux mécanismes de sécurité mis en place dans des objets connectés.
- Pour le premier exercice il faut lire le document "Security Checklist for the Internet of Things" de Particle.
- Le protocole CoAP Constrained Application Protocol sera étudié.
- Le document "Objets connectés" (Philippe Mabillean - juin 2021) contient les principales informations pour résoudre les exercices.
- Des informations plus ciblées sont disponibles via Internet.

### 16.1 Exercices

#### E.1 Introduction à la sécurité dans l'Internet of Things.

Dans la documentation de Particle ("Security Checklist for the Internet of Things") il est mentionné qu'une authentification mutuelle utilisant des paires de clés publique/privée assure que c'est le bon dispositif (Device) qui est connecté au bon nuage (Cloud).

1. Décrire le mécanisme qui permet cette double assurance avec des paires de clés publique/privée.
2. Identifier et décrire les deux types d'attaques que l'on prévient avec ce mécanisme
3. Quel est le type de connexion qui est établi à la suite de cette association ? À quelle couche du modèle OSI se situe-t-on ?

#### E.2 Protocole CoAP.

1. Qu'est-ce que le protocole CoAP ?
2. Enumérer les principales caractéristiques du protocole CoAP.
3. Décrire le fonctionnement de ce protocole (CoAP)
4. Positionner le dans le modèle OSI.
5. Comparez le protocole Http et CoAP selon les aspects suivants :
6. Comment est-il possible de lire une variable avec CoAP ?
7. Comment faire l'appel d'une fonction avec CoAP ?
8. Avec CoAP, comment peut-on télécharger un nouveau progiciel (firmware) ? Expliquez les étapes.
9. En CoAP comment peut-on faire la Publication-Abonnement à un évènement

<b>Aspect</b>	<b>Protocole HTTP</b>	<b>Protocole CoAP</b>
Modèle de communication		
Méthodes		
Format des messages		
Transport		
URI		
Code de statut		
Sécurité		
Observation des ressources		
Proxy		

Tableau 16.1 Comparaison entre HTTP et CoAP

## 17 VALIDATION AU LABORATOIRE

Le but de cette activité est de valider expérimentalement la solution à la problématique que vous avez développée. À cette étape, le codage de la solution à la problématique devrait être terminé et fonctionnel.

Vous devrez démontrer le fonctionnement de votre solution avec une courte présentation qui pourra être accompagnée d'une planche PPT (une seule planche). La présentation devra donc être très synthétique et ne comporter aucun élément superflu.

Les principaux points que l'on doit retrouver dans votre présentation sont les suivants :

- Définition du problème
- Identification des besoins et des exigences
- Proposition de solutions et en sélectionner une
- Architecture et conception détaillée
- Validation de la solution
- Analyse et limites de la solution, recommandations