



HAUTE ÉCOLE
D'INGÉNIERIE ET DE GESTION
DU CANTON DE VAUD

www.heig-vd.ch

PROJET IOT

Mesure de la qualité de l'air dans l'école

Classe IOT 2018

Supervisée par
Hervé DEDIEU

Table des matières

1	Analyse sécuritaire	4
1.1	Introduction	4
1.1.1	Équipes	4
1.2	Description du système	5
1.2.1	Objectifs du système	5
1.2.2	Exigences de l'application	5
1.2.3	Éléments du systèmes	6
1.2.4	Biens nécessitants une protections	12
1.2.5	Périmètre de sécurisation	12
1.2.6	Diagramme des flux	13
1.3	Sources de menaces	14
1.4	Scénarios d'attaque	14
1.4.1	Vol d'informations dans la base de données	15
1.4.2	Contournement d'authentification	16
1.4.3	Récupération passive d'information	18
1.4.4	Utilisation frauduleuse du matériel	20
1.4.5	Altération des données	21
1.4.6	Altération du fonctionnement de l'application	22
1.5	Contre-mesures	23
1.5.1	Injection NoSQL	24
1.5.2	Lisibilité du contenu sensible	24
1.5.3	Configuration de la base de données	25
1.5.4	<i>Cross-site scripting</i>	25
1.5.5	Brute-force du système de login	25
1.5.6	<i>Cross-site request forgery</i>	26
1.5.7	Contrôle d'accès	26
1.5.8	Durée de vie de la session	27
1.5.9	Communication en clair	27
1.5.10	Messages d'erreur révélant des informations	28
1.5.11	Accès non-contrôlé au hardware	29
1.5.12	Composants réinscriptibles	29

1.5.13	<i>Man in the middle</i>	30
1.5.14	Association des capteurs à la passerelle	30
1.5.15	Attaque par déni de service	30
1.5.16	Intrusion dans les systèmes hébergeurs	30
1.5.17	Ralentissement volontaire de la base de données	31
1.6	Conclusion sécuritaire	31

Table des figures

1.1	Schéma de l'architecture du projet	5
1.2	NUCLEO-F401RE	6
1.3	Arduino Uno Click Shield	7
1.4	Ambient 2 Click BME680	7
1.5	LoRa Click	8
1.6	Montage complet du capteur	8
1.7	Raspberry Pi Model B	9
1.8	iC880A-SPI - LoRaWAN Concentrator 868 MHz	10
1.9	Diagramme des flux	13
1.10	Principes essentiels de la sécurité informatique	19
1.11	Protection anti-modification par maillage	29

Chapitre 1 : Analyse sécuritaire

Introduction

Ce chapitre sur la sécurité a pour but de décrire d'un point de vue sécuritaire le projet élaboré dans le cadre du cours IoT dispensé à la HEIG-VD. Ce dernier est une plateforme de collecte de données environnementales issues de plusieurs capteurs. Dans ce document, les exigences du projet en général seront décrites ainsi que les biens nécessitant une protection contre tout type de menaces ou tout scénarios d'attaque ainsi que les contre-mesures associées. De plus, la liste de tous les composants hardware utilisés pour ce projet est donnée. Toutes les technologies utilisées pour ce projet ont été prises en compte.

Equipes

Lors de ce projet, nous avons créé 5 groupes distincts afin de répartir les différentes compétences et ainsi répartissant la charge de travail pour chacun de ces derniers. Chacun des groupes avaient un répondant pour les autres groupes (représentés en gras ci-dessous).

Groupe	Etudiant
Frontend	Aurélie Lévy Tony Clavien Mathias Gilson
Backend	Ludovic Delafontaine Guillaume Milani Sathiya Kirushnpillai Mathieu Monteverde Nicolas Rod
Sécurité	Lara Chauffoureaux Matthieu Chatelan Thibaud Besseau Emmanuel Schmid
Firmware	David Truan Théo Gallandat Gaëtan Othenin-Girard Marie Lemdjo Ludovic Richard
Infrastructure	Julien Brêchet Yosra Harbaoui Guillaume Semeels Adrien Marco Ali Miladi Dany Tchente

Description du système

Objectifs du système

Le but de ce système est la collecte de données depuis plusieurs capteurs répartis sur le site de Cheaseaux. Toutes les informations seront consultables sur un frontend accessible par les visiteurs authentifiés sur un compte publique.

Les différents capteurs (voir sous-section 1.2.3) se chargent de récolter des informations relatifs à leur environnement et les transmettent à une gateway dont le but est de collecter ces informations des différentes sources. Un bridge assure le lien entre le réseau LoRa et le réseau internet standard. Toutes les informations sont finalement transmises à un serveur d'applications sur lequel tourne le backend ainsi que le frontend.

Le schéma ci-dessous illustre cette architecture :

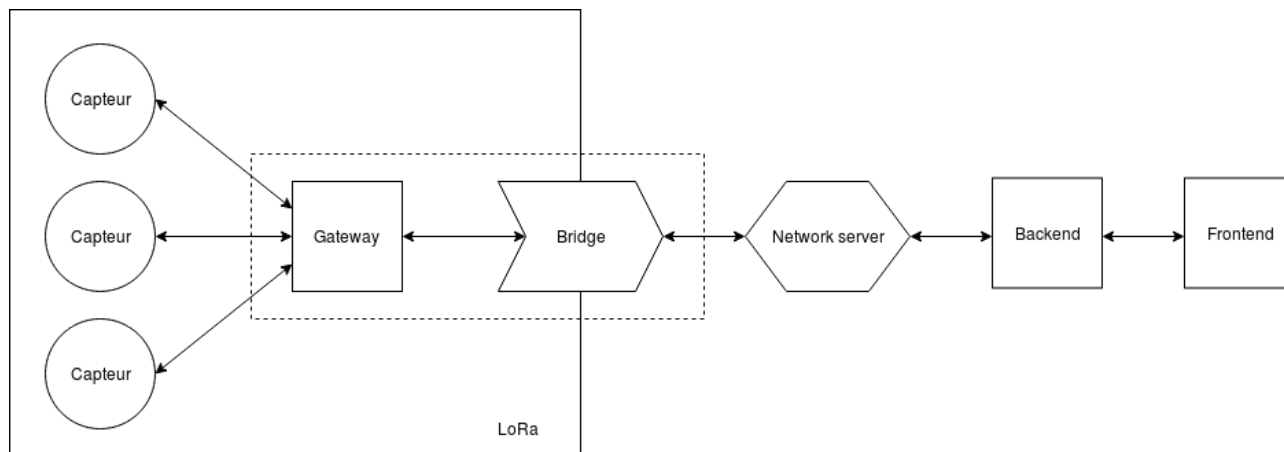


FIGURE 1.1 – Schéma de l'architecture du projet

Exigences de l'application

Pour la sécurité, nous avons interprété les exigences suivantes :

- L'accès au backend ainsi que l'accès au frontend ne doit être possible que pour les personnes autorisées et authentifiées à l'aide d'un compte soit utilisateur, soit administrateur.
- Un utilisateur classique ne doit pas pouvoir accéder aux fonctionnalités réservées aux administrateurs.
- Les données transmises par les capteurs ne doivent pas être lisibles sur le réseau.

Éléments du systèmes

Afin de rendre ce système fonctionnel, plusieurs composants hardware ainsi que software doivent être utilisés. Les sous-sections suivantes représentent les différents modules hardware utilisés ainsi que les parties software développées pour ce projet.

Capteurs

La carte STM32 Nucleo (Figure 1.2) offre aux utilisateurs un moyen abordable et flexible d'essayer de nouveaux concepts et de construire des prototypes avec le microcontrôleur STM32, en choisissant parmi les différentes combinaisons de performances, de consommation d'énergie et de fonctionnalités. Pour les cartes compatibles, le SMPS réduit considérablement la consommation d'énergie en mode Run.

Cette carte sera utilisée comme base pour tous les capteurs déployés dans le terrain.

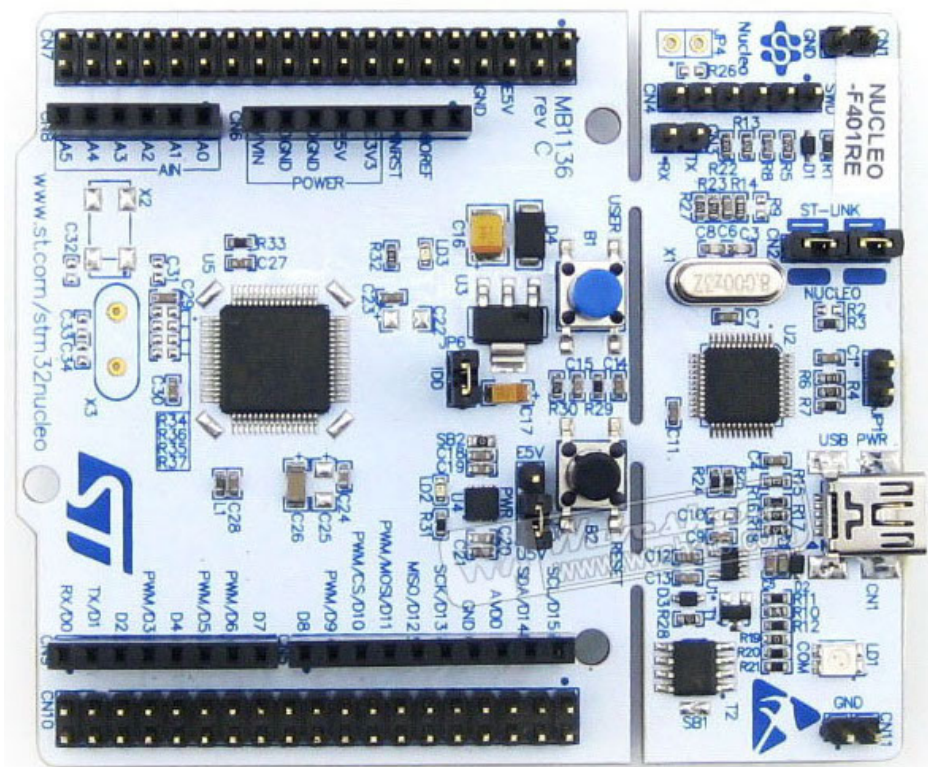


FIGURE 1.2 – NUCLEO-F401RE

Le shield utilisé pour ce projet (Figure 1.3) rend un Arduino compatible avec plus de 75 capteurs de type clic. C'est un shield simple avec deux prises hôte mikroBUSTM d'un côté et un connecteur Arduino à l'opposé.

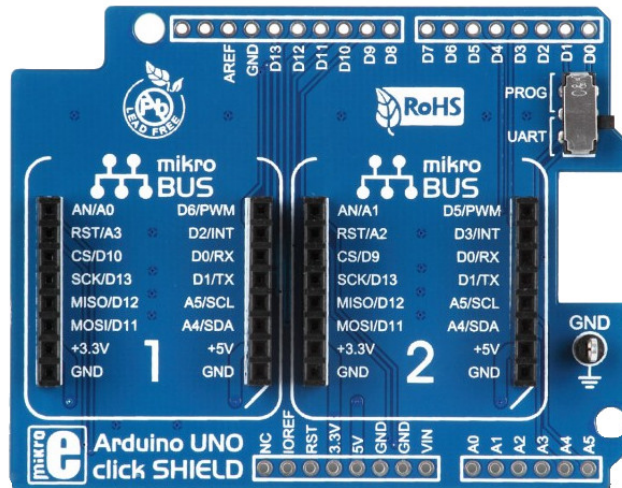


FIGURE 1.3 – Arduino Uno Click Shield

Le module *Environment click* (Figure 1.4) mesure la température, l'humidité relative, la pression et les COV (composés organiques volatils gazeux). Le clic intègre le capteur environnemental BME680 de Bosch. Environment Click est conçu pour fonctionner sur une alimentation de 3,3 V. Il communique avec le microcontrôleur cible via l'interface SPI ou I2C.



FIGURE 1.4 – Ambient 2 Click BME680

LoRaWAN[™] ou Low Area Wide Network est une technologie sans fil développée pour permettre des communications à bas débit sur de longues distances, principalement pour les applications IoT et les capteurs.

Le module émetteur-récepteur LoRa longue portée RN2483 de Microchip (Figure 1.5) est une solution facile à utiliser et à faible consommation d'énergie pour la transmission de données sans fil à longue portée.

Le module RN2483 a une portée spécifiée > 15 km dans les zones rurales et suburbaines, et > 5 km dans les zones urbaines.

Une pile de protocole LoRaWAN[™] classe A est intégrée (périphériques finaux bidirectionnels), ainsi qu'une interface de commande ASCII accessible via UART. La sensibilité élevée du récepteur peut descendre à -148 dBm.

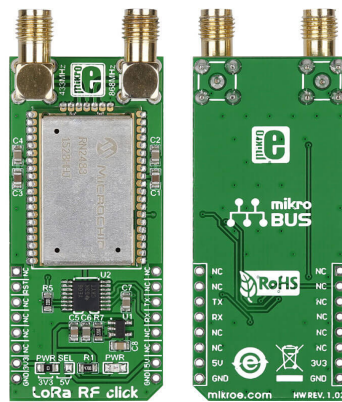


FIGURE 1.5 – LoRa Click

Ci-dessous, une photo du montage complet du capteur avec tous les modules attachés :

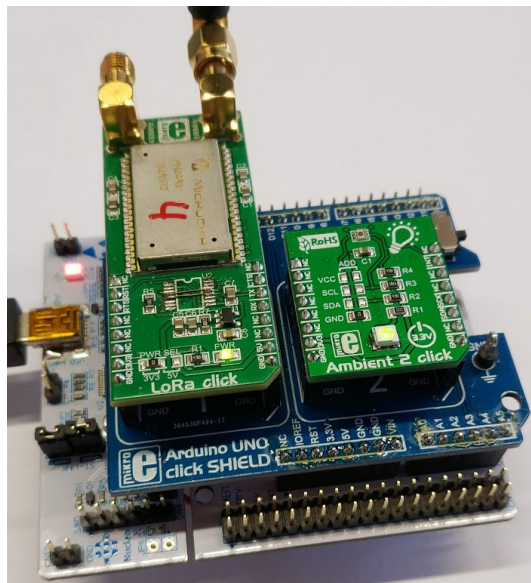


FIGURE 1.6 – Montage complet du capteur

Gateway

Le Raspberry Pi 2 Model B est le Raspberry Pi de deuxième génération. Il a remplacé l'original Raspberry Pi 1 Model B+ en février 2015.

Le Raspberry Pi 2 comporte les caractéristiques suivantes :

- 900MHz quad-core ARM Cortex-A7 CPU
- 1GB RAM
- 100 Base Ethernet
- 4 Ports USB
- 40 pins GPIO
- Port HDMI
- Jack audio 3.5mm et sortie vidéo composite
- Interface Caméra (CSI)
- Interface d'affichage (DSI)
- Slot pour Micro SD
- VideoCore IV 3D cœur graphique

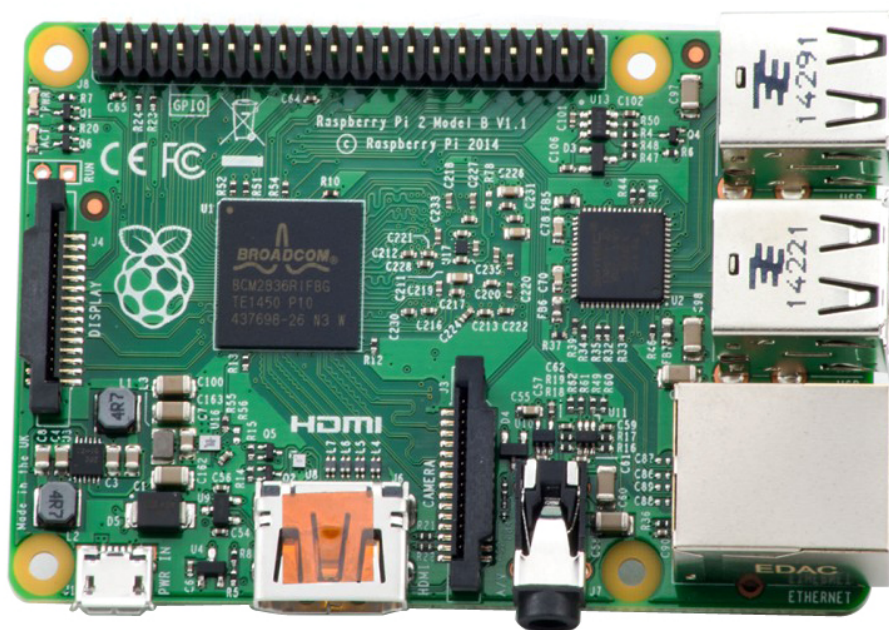


FIGURE 1.7 – Raspberry Pi Model B

Le module iC880A-SPI est capable de recevoir des paquets de différents appareils envoyés avec différents facteurs d'étalement sur jusqu'à 8 canaux en parallèle. En raison du fait que la combinaison des facteurs d'étalement et des largeurs de bande du signal donne des débits de données différents, l'utilisation de "Dynamic Data-Rate Adaption" devient possible. Cela signifie que les nœuds LoRa® à grande distance du concentrateur doivent utiliser des facteurs d'étalement plus élevés et donc avoir un débit de données plus faible.

Les nœuds LoRa qui sont plus proches du concentrateur peuvent utiliser des facteurs d'étalement plus faibles et peuvent donc augmenter leur débit de données. Cela permet de construire des réseaux étoiles ou multi-étoiles faciles à gérer sans besoin de routeurs ou de répéteurs.

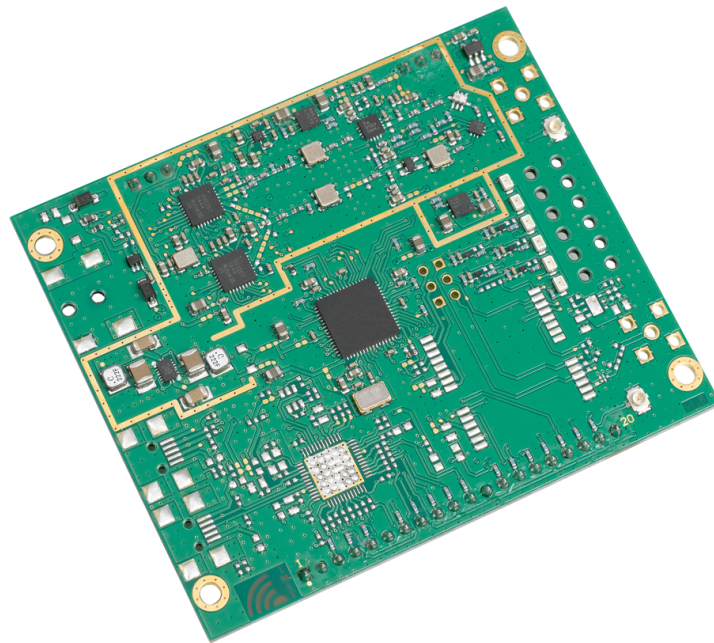


FIGURE 1.8 – iC880A-SPI - LoRaWAN Concentrator 868 MHz

Afin de connecter ce module au Raspberry, un shield tel que le *RPi to iC880a interface* est nécessaire.

Bridge

Dans notre cas, le bridge fait partie intégrante de la gateway. Sur le schéma dans la sous-section 1.2.1, ce dernier est séparé de la gateway afin de bien représenter le passage de l'utilisation du protocole *LoRa* vers le protocole *MQTT*. Plus d'informations sont disponibles sur le github suivant : <https://github.com/heig-vd-iot2018/infrastructure>

Network Server

Ce dernier est divisé en trois parties différentes : Routeur, Broker et Network server. Plus d'informations sont disponibles sur le github suivant : <https://github.com/heig-vd-iot2018/infrastructure>

Backend

Le backend est développé en Node.js avec le framework Express. Ce dernier reçoit des informations depuis le network server et traite ces informations avant de pouvoir fournir ces dernières au frontend. Plus d'informations sont disponibles sur le github suivant : <https://github.com/heig-vd-iot2018/back-end>

Frontend

Le frontend consiste en la mise en place d'une interface utilisateur permettant de voir les différentes valeurs fournies par les capteurs. Ce dernier a été développé à l'aide des technologies suivantes : **React**, **D3** et **Mapbox.js**. Plus d'informations sont disponibles sur le github suivant : <https://github.com/heig-vd-iot2018/front-end>

Biens nécessitant une protections

Les biens principaux à sécuriser sont toutes les données qui peuvent contenir des informations métier ou clients. Par exemple, les données transmises par les capteurs ne doivent pas être lisibles par des personnes non-autorisées au cours de leur trajet.

Les biens concernés par cette protection sont les suivants :

- Les données transmises par les capteurs
 - Identité
 - Géo-localisation
 - Données environnementales
- Les données utilisateurs
 - Adresses e-mails ¹
 - Rôles des utilisateurs ²
 - Mots de passe ³
- Le fonctionnement de l'application
- Les appareils et éléments physiques qui font tourner l'architecture

Ces biens doivent être protégés à tous les niveaux et à tous les endroits où elles sont susceptibles d'apparaître (e.g. des capteurs à la gateway mais aussi de la gateway au serveur d'application).

Périmètre de sécurisation

Dans ce projet, la sécurité doit être analysée sur chacun des éléments qui composent l'architecture mais aussi sur les liens entre eux. Il n'y a aucune zone considérée comme "sûre de base", il faut donc penser à tous les éléments suivants :

- Sécurisation des connexions aux éléments physiques.
- Sécurisation des trames à l'intérieur du protocole LoRa.
- Sécurisation des accès au back-end et au front-end.
- Sécurisation de toutes les communications MQTT.
- Sécurisation des éléments hébergeant les différents éléments de l'infrastructure.
- Sécurisation et gestion des version pour les technologies, langages et librairies utilisées.

1. Afin d'éviter toute réutilisation pour du phishing ou du spamming de masse.

2. Pour éviter les vols de session ciblés.

3. Les raisons sont évidentes et de plus ces mots de passe pourraient être ajouté à des listes de brute-force.

Diagramme des flux

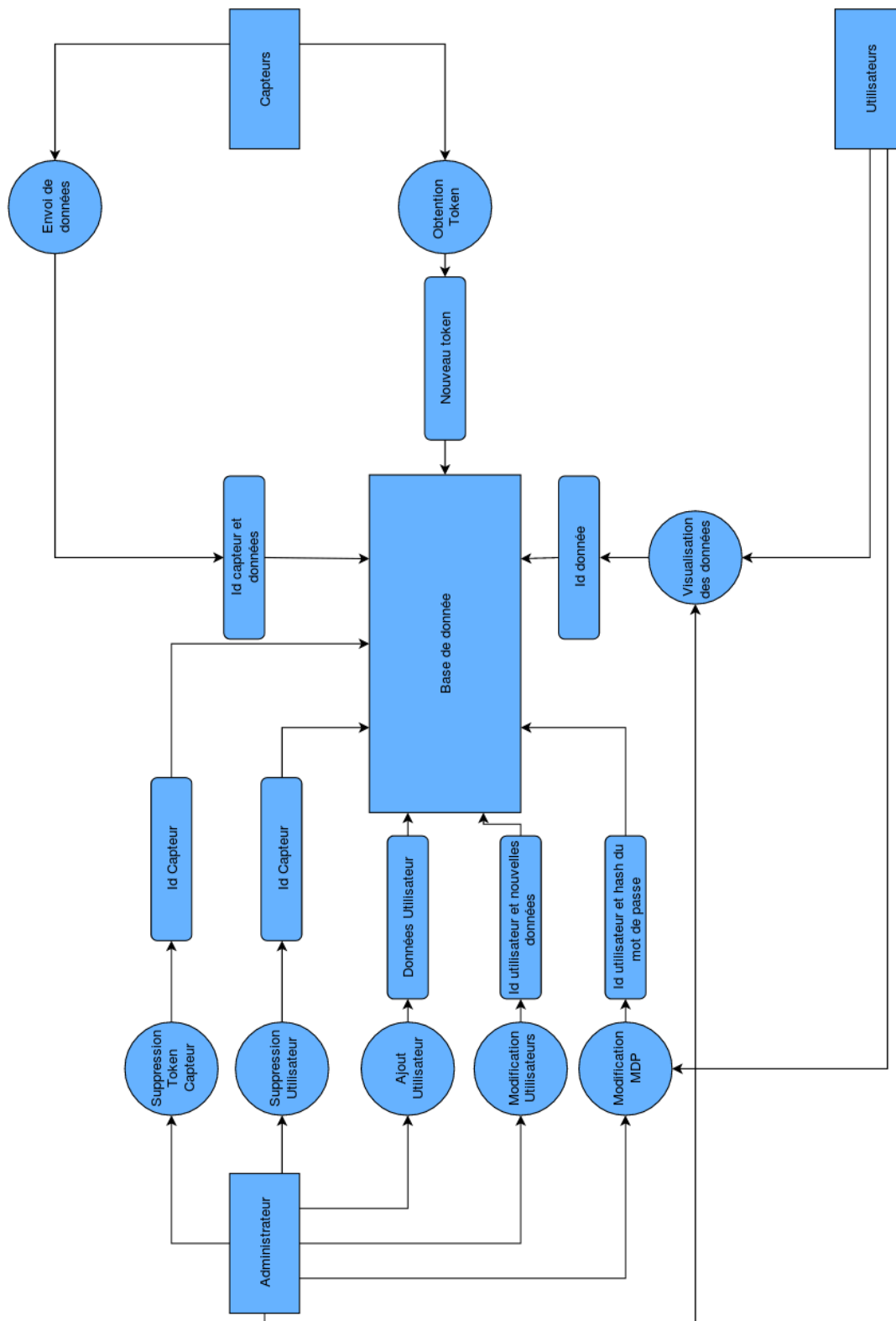


FIGURE 1.9 – Diagramme des flux

Sources de menaces

Différentes sources de menaces existent autour des applications web mais aussi autour du monde de l'*Internet des objets*. Dans le cadre de notre projet nous retrouvons les catégories de menaces décrites ci-dessous :

- **Étudiants kleptomanes**

Motivation : Gagner un capteur, une gateway, une Raspberry Pi gratuite
Cible : Le matériel
Probabilité : Haute

- **Hacker, script-kiddies**

Motivation : S'amuser, s'entraîner, le faire pour la reconnaissance
Cible : Tout ce qui peut être visé et qui entre dans ses compétences
Probabilité : Moyenne

- **Éventuels concurrents**

Motivation : Récupération des particularités de l'application (espionnage industriel)
Cible : Le fonctionnement de l'application
Probabilité : Moyenne

- **Cybercriminels**

Motivation : Récupérer des adresses mails (spamming) et mots de passe, se servir de l'application web comme passerelle vers son site malveillant ou pour répandre un virus
Cible : Les données des utilisateurs, l'accès à la partie web
Probabilité : Faible

- **Organisation étatique**

Motivation : Récolter des données, espionner
Cible : Toute l'application
Probabilité : Presque nulle

Scénarios d'attaque

Dans les sections ci-dessous, différents scénarios d'attaque sont listés et analysés en détails. Pour chacun d'eux, les failles qui existaient dans le projet ont été listées et analysées. Toutes les contre-mesures applicables pour les corriger sont détaillées dans la section 1.5. Dans la conclusion, vous retrouverez toutes les listes des failles existantes, absentes, corrigées ou exploitables.

Un scénario d'attaque correspond à une marche à suivre qu'un attaquant souhaitant attaquer le système suivrait pour arriver à ses fins. Celui-ci est généralement élaboré par un ingénieur sécurité s'étant mis à la place d'un attaquant. Cet exercice permet de mieux comprendre les vecteurs d'attaque, l'impact, les motivations et les potentielles cibles d'un individu malveillant. Ces scénarios ne représentent pas les failles sécuritaires à proprement parlé, mais les motivations générales qu'un attaquant peut avoir pour attaquer le système.

Chacun des chapitres ci-dessous reprend donc un scénario d'attaque ainsi que les failles qui lui sont associées. Avec chaque scénario, se trouve un résumé des enjeux et la liste des failles ainsi que la manière dont elles peuvent être exploitées.

Vol d'informations dans la base de données

Ce scénario concerne principalement les groupes front-end et back-end.

Comme dans la plupart des applications web et des projets de cette envergure, le groupe *back-end* a mis en place une base de données. Celle-ci est évidemment une cible privilégiée pour les attaquants car elle contient toutes les informations métiers et celles nécessaires à la plateforme web.

Scénario :	Un hacker décidé à récupérer des données pour son nouveau dictionnaire de mots de passe suisses romands, connaît l'existence d'un jeune projet à la HEIG-VD. En accédant au site web, il découvre une vulnérabilité lui permettant de récupérer les données présentes dans la base de données. Il peut donc compléter son dictionnaire qu'il utilisera à des fins malveillantes.
Impact :	Moyen
Source de menace :	Concurrents, script kiddies, hackers et cybercriminels
Motivation :	La gloire (script kiddies, hackers) L'argent (cybercriminels) L'espionnage industriel (concurrents)
Cible :	Données utilisateurs et données métier
Contrôles :	Caché le contenu de la base de données Sécuriser son accès

Injectons NoSQL

Quand on parle de failles touchant les bases de données, on pense forcément au numéro 1 du top 10 de l'OWASP : les injections SQL. Dans notre application la base de données déployée n'est pas une base de données SQL mais MongoDB. Néanmoins, après quelques recherches sur Google, on apprend vite que cela ne change rien et que de telles failles existent aussi en NoSQL. L'existence d'une telle faille dans le système mènerait au scénario décrit ci-dessus du vol de données. Voici le lien officiel de l'OWASP expliquant en gros le fonctionnement et la détections de telles injections dans un base de données MongoDB :

https://www.owasp.org/index.php/Testing_for_NoSQL_injection

Un courte explication des contre-mesures envisageables pour une telle faille est donnée dans la sous-section 1.5.1

Lisibilité du contenu sensible

Ceci ne reprend pas vraiment une faille à proprement parlé mais plutôt une précaution qu'il faut prendre lors du développement d'une application web. Imaginons que nous ayons corrigés les failles permettant les injections NoSQL décrites ci-dessus, une faille zero-day soit découverte sur les bibliothèques utilisées par notre application. Malgré nos protections, un attaquant peut donc accéder au contenu de la base de données et récupérer les mots de passe et autres données.

Prévenir vaut mieux que guérir et donc chiffrer et saler les mots de passe dans la base de données s'avère nécessaire. Cela permet d'éviter que les sessions utilisateurs soient compromises sans aucune attaque par dictionnaire ou par brute-force.

Dans les contremesures, une explications plus poussée du salage et du hachage sont données. Voici néanmoins les conseils de l'OWASP : https://www.owasp.org/index.php/Password_Storage_Cheat_Sheet

Configuration de la base de données

La configuration d'une base de données est très importante car de nombreux points peuvent vite s'avérer cruciaux en cas d'attaque :

- Si une base de données n'est pas maintenue à jour, elle peut être le service peut être la cible d'attaques diverses et connues sur les versions antérieures. [Une liste longue comme le bras de vulnérabilités](#) existe sur les anciennes versions de MongoDB. Il est donc essentiel de garder la base de données à jour.
- Une mauvaise gestion de droits des utilisateurs de la base de données peut être dangereux si un utilisateur accède directement à la base données.
- Une notion importante dans une base de données est celle de *built-in function*. En cas de réussite d'une attaque NoSQL, si celle-ci sont laissées activées par défaut, le pivot et la compromission complète de la base de données devient facile pour un attaquant même inexpérimenté.

Les contre-mesure de la sous-section 1.5.3 expliquent quels modèles utiliser pour la configuration d'une telle base de données.

Contournement d'authentification

Ce scénario concerne principalement les groupes front-end et back-end.

Comme précisé dans notre diagramme des flux (sous-section 1.2.6), nous voyons qu'il existe plusieurs rôles communiquant avec le back-end.

1. Les administrateurs
2. Les utilisateurs normaux
3. Les capteurs

Ceux-ci disposent bien évidemment de possibilités différentes dans le cadre du projet. Évidemment cette séparation des pouvoirs est importante et les cloisonnement des rôles est primordial

afin de limiter au maximum les abus. Un utilisateur normal ayant la possibilité d'abuser le système pour devenir administrateur, peut représenter un grand risque pour la plateforme. Tous les autres cas de changement illicite de rôle sont tout aussi risqués et il est nécessaire de mettre en place des protections contre ce genre de motivations.

Scénario :	Jean-Kevin, un script kiddie entreprenant, souhaite montré à ses copains ses progrès en informatique. Pour cela, il prend pour cible un projet sur lequel travaille activement un de ces collègues étudiant à la HEIG-VD. Il veut montrer qu'il peut se connecter en tant qu'administrateur sans connaître le mot de passe. Il arrive à ses fins en se connectant au compte d'un administrateur qui n'était pas protégé par un mot de passe fort et peut disposer à sa guise de l'application.
Impact :	Haut
Source de menace :	Script kiddies, hackers
Motivation :	La gloire (script kiddies) Nuire à l'application et aux utilisateurs (hackers)
Cible :	Données et fonctionnement de l'application
Contrôles :	Protéger la session ouverte contre des vols de sessions externes Empêcher l'utilisateur de faire malgré lui des actions dans sa session Protéger correctement les sessions avec des mots de passe forts

Cross-site scripting

Une faille XSS exploitée correctement par un attaquant permet de voler un cookie de session valide ou de faire en sorte que du code soit exécuter involontairement par un utilisateur. Cette vulnérabilité fait aussi parti du top 10 de l'OWASP.

Voici le lien officiel décrivant donc le fonctionnement de telles attaques :

[https://www.owasp.org/index.php/Top_10-2017_A7-Cross-Site_Scripting_\(XSS\)](https://www.owasp.org/index.php/Top_10-2017_A7-Cross-Site_Scripting_(XSS))

Brute-force du système de login

Une autre possibilité pour réaliser ce scénario est la brute force pure et simple du système de login. Sans contrôle particulier, un utilisateur possédant un bon dictionnaire de nom d'utilisateurs et de mots de passe peut tenter de forcer le login de l'application et donc d'accéder directement à une session qui n'est pas la sienne.

Cross-site request forgery

Les attaques CSRF⁴ sont souvent ignorée dans les applications web et pourtant, elles peuvent avoir des conséquences importantes au niveau de la sécurité. Une faille CSRF est difficile a

4. Petit rappel sur le CSRF : https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-site_request_forgery

mettre en évidence et à exploiter, mais si aucune protection n'a explicitement été mise en place, on peut supposer que l'application en question sera vulnérable au CSRF.

Contrôles d'accès

Le contrôle d'accès est un point **crucial** de la sécurité des applications web. Si un utilisateur lambda peut accéder à une page ou à une fonction administrateur, l'aboutissement du scénario est complet. Si le contrôle d'accès n'est pas bien fait une élévation verticale ou horizontale des privilèges est devient possible.

Rappelons ici que notre application possède quatre vues en tout :

- Les simples visiteurs non-connectés
- Les utilisateurs standards
- Les administrateurs
- Les capteurs

Le contrôle d'accès doit bien évidemment **cloisonner** chacun des rôles à sa propre vue même si les implications ne semblent pas importantes. Pour cela, la sous-section 1.5.7 de contremesures décrit un système qui peut être implémenté pour un contrôle d'accès correct avec une structure comme la notre.

Durée de vie de la session

Si l'application ne vérifie pas la durée de vie d'une session. Un utilisateur laissant sa session connectée, laisserait n'importe quelle personne qui prenant la main sur l'ordinateur utiliser le compte de l'utilisateur. Prenons l'exemple de l'utilisateur allant chercher un café. Si une personne avait accès à l'ordinateur de l'utilisateur il pourrait faire toutes les opérations qu'il voudrait avec ce compte pendant une durée illimitée. De plus, ci-celui est un peu doué en informatique, il peut copier le cookie de session pour le réutiliser à volonté depuis son ordinateur.

En cas de ban d'un utilisateur, le manque de durée de vie est aussi problématique. Imaginons qu'un administrateur décide de bannir un utilisateur en supprimant son compte. Si cet utilisateur est connecté au moment du bannissement, il n'aura aucune répercussion à part s'il perd son cookie, ce qui est assez rare. Tandis qu'avec une durée de vie de session, ce dernier, après un certain temps, ne pourra plus effectuer d'action sur le site est sera déconnecté.

Récupération passive d'information

Ce scénario concerne principalement le groupe infrastructure.

Souvent, on imagine un hacker pénétrant le système et réalisant des **actions** sur ce dernier. Ne considérer que ce pan de la sécurité est une grave méprise. Rappelons le triangle suivant :

La confidentialité peut en effet être mise à mal sans même une action directe sur les données. L'interception peut permettre la lecture de ces dernières et si l'information n'est pas obfusquée, on peut récupérer des données sans le consentement des parties et donc mettre à mal la sécurité de l'information. Il est donc primordial de protéger les données dans leur transmission surtout sur des médiums partagés.



FIGURE 1.10 – Principes essentiels de la sécurité informatique

Scénario :	Les concurrents directs de notre application cherchent à obtenir un maximum de données afin de proposer un service plus précis et exhaustif que le notre. Pour arriver à leur fin, ils décident d'écouter le trafic généré par nos capteurs à l'intérieur de l'école. Si le trafic n'est pas chiffré, les concurrents peuvent l'utiliser de manière illicite dans leur alternative.
Impact :	Haut
Source de menace :	Hackers, concurrents et cybercriminels
Motivation :	Tremplin vers une plus grosse attaque (hackers) L'argent (cybercriminels) Nuire à notre image, voler des données (concurrents)
Cible :	Les données utilisateurs et métier
Contrôles :	Éviter que l'application ne fournisse des données sur elle-même ou sur les utilisateurs Protéger les communications entre les éléments du système

Communications en clair

Le wifi est une chose fantastique, mais malheureusement les données passent dans l'air et donc tout le monde peut les "voir". Cela implique évidemment que toutes les données passent en clair sur le réseau : mots de passe et données comprises. C'est évidemment pas sécurisé et la confidentialité des données est fortement impactée. Le compromis idéal est la mise en place d'un tunnel TLS pour toutes les communications HTTP de notre projet. Plus de détails sur la

mise en place d'un tel système sont donnés dans la sous-section 1.5.9.

Le protocole HTTP classique n'est pas le seul utilisé dans notre projet. Nous utilisons aussi le protocole LoRa qu'il faut donc aussi rendre illisible pour les gens capturant le réseau.

Messages d'erreur révélant des informations

Les messages d'erreur sont un moyen de communiquer comme un autre avec l'utilisateur. Il ne doivent en aucun cas révéler des informations qui pourraient être exploitées par quelqu'un de malveillant.

L'exemple le plus courant est celui du message d'erreur au login indiquant si oui ou non un utilisateur existe. Cela donne déjà beaucoup d'information à un hacker qui n'aura plus qu'à deviner le mot de passe pour usurper la session.

Utilisation frauduleuse du matériel

Ce scénario concerne principalement le groupe firmware.

La nature d'un projet en Internet des Objets implique la présence de capteurs et ou autres éléments physiques dans un bâtiment. Évidemment ces éléments sont exposés "au public" et peuvent être pris pour cibles par des personnes mal-intentionnées. Cette partie de la sécurité est important mais aussi relativement difficile à mettre en place.

Scénario : Un étudiant un peu curieux et kleptomane sur les bords repère dans l'école une jolie borne composée d'une Raspberry Pi. Celui-ci décide un jour que la borne ne sert pas à grand chose et il l'embarque pour son usage personnel.

Impact : Haut

Source de menace : Étudiants kleptomanes, script-kiddies

Motivation : Profit personnel (étudiants kleptomanes)
La gloire (script-kiddies)

Cible : Le matériel et le fonctionnement de l'application

Contrôles : Ne pas laisse le matériel à des endroits accessibles à tous
Mettre en place des "fuse protections" sur les éléments physiques

Accès non-contrôlé au hardware

Empêcher le vol du matériel est quelque chose de compliqué parce que c'est une mesure qui pourra toujours être contournée avec des moyens. Si le concepteur met le dispositif dans un boîte, la boîte peut être volée etc...

Pourtant c'est un point qu'il est important de ne pas négliger dans un projet pareil car le matériel coûte cher.

Composants réinscriptibles

Au cas où le matériel aurait été subtilisé malgré les protections mises en place au point précédent. Il faut éviter au maximum que le profiteuse ait envie de recommencer. Si celui-ci vole du matériel et peut être en mesure de l'utiliser, ça peut vivement l'encourager à recommencer. Alors que si des protections sont mises en place, le risque est un peu mitigé. Dans les contre-mesures de la sous-section 1.5.12, une méthode très connue des développeurs hardware est présentée pour protéger les matériaux contre un écrasement de leur contenu actuel.

Altération des données

Ce scénario concerne principalement les groupes infrastructure et firmware.

D'ordinaire, on se dit qu'un individu malveillant cherche forcément à avoir le contrôle complet de sa cible. Néanmoins, le plus souvent un contrôle ou une altération partielle du système ou des données peut avoir de grosses conséquences sur le système. Il est donc très important de protéger les protéger dans les trois axes présentés précédemment dans la Figure 1.10 : confidentialité, intégrité, disponibilité.

Scénario :	Un concurrent direct à notre application désire montrer que leur solution est meilleure que la notre. Pour cela, ils décident d'altérer les données transmises par nos capteurs pour qu'elles soient erronées. Plusieurs endroits peuvent être vulnérables notamment les trames LoRa et les données transmises par le back-end. Il faut être capable d'éviter des attaques de type <i>man in the middle</i> .
Impact :	Moyen
Source de menace :	Concurrents, hackers, organisations étatiques
Motivation :	Nuire à l'image de l'entreprise (concurrents) L'argent (hackers) L'espionnage (organisations étatiques)
Cible :	Les données métiers
Contrôles :	Contrôle d'intégrité sur les données transmises Contrôle de l'association capteurs - serveur

Man in the middle

Les attaques de types *man in the middle* (MITM) sont très connues. Les attaquants font en sorte, lors d'une attaque de ce type, de se retrouver comme intermédiaire entre deux éléments du système. D'un coté le client aura l'impression de converser avec le bon serveur et le serveur avec un client légitime.

Pour limiter ce type d'attaque, on utilise les contrôles d'intégrité mis sur les trames. Ceux-ci reviennent à signer les messages avec une clé privée afin que ceux-ci ne puissent être modifié par un MITM sans que cela ne se répercute sur la signature. Dans notre cas, il conviendra de protéger les communications HTTP (avec TLS par exemple), et les communications LoRa.

Plus de détails sur ces contre-mesures sont documentée dans les sections 1.5.9 et 1.5.13.

Association des capteurs à la passerelle

Pour un individu malveillant, un moment idéal pour réaliser une attaque *man in the middle* est celui où les composants s'associent. Le moment où un capteur est ajouté au système est crucial car c'est là que le lien de confiance est établi. Des précautions particulières sont à apporter sur ce point, et des protocoles existants du LoRa permettent cette association avec sécurité.

Altération du fonctionnement de l'application

Ce scénario concerne la plupart des groupes.

De nos jours, les données sont la cible privilégiée des attaques. Néanmoins, une altération ou une interruption du service est tout aussi dommageable pour l'entreprise. Une perte de confiance des utilisateurs nuit rapidement à la réputation et à l'image du prestataire de service. Des fois les hackers jouent sur ce tableau afin de se faire de l'argent facilement sur le dos des entrepreneurs. C'est un problème sécuritaire majeur dans les systèmes et tous les pans du projet peuvent être vulnérables. Ce scénario reprend en vrac toutes les attaques qui peuvent affecter la disponibilité et le fonctionnement de l'application.

Scénario :	Une organisation de cybercriminels cherche une nouvelle cible et tombe par hasard sur notre projet. Pour se faire de l'argent ils décident de compromettre l'application en la ralentissant ou en touchant sa disponibilité tout en faisant des demandes de rançon aux concepteurs.
Impact :	Moyen
Source de menace :	Concurrents, script-kiddies, hackers
Motivation :	Nuire à l'image de l'entreprise (concurrents) L'argent (hackers) La gloire (script-kiddies)
Cible :	La disponibilité, le fonctionnement de l'application
Contrôles :	Redondance des éléments Contrôle des entrées utilisateurs

Attaque par déni de service

Tous les systèmes informatiques quels qu'ils soient sont vulnérables aux dénis de service. Le principe reste très simple : envoyer trop de requêtes / demandes / trames à une entité pour que celle-ci devienne incapable de toutes les traiter et soit ralentie voir arrêtée. Le problème principal du DDoS (*Distributed Denial of Service*), est qu'il n'est pas possible à endiguer entièrement même avec toutes les mesures du monde. Une menace disposant de moyen techniques et financiers illimités sera toujours capable de créer un déni de service sur une cible.

Néanmoins nous présentons dans la sous-section 1.5.15 plusieurs moyen de mitiger un peu les risques. Mais il convient de garder à l'esprit que pour le dénis de service la protection ultime n'existe pas.

Brouillage du réseau

Une autre attaque qu'il est difficile voir impossible de contrer et le brouillage réseau. Nous n'allons pas plus en parler ici car c'est un risque qui pèse sur tout le monde des ondes hertziennes et qui ne peut pas être mitigé à cause des législation qui régissent les réseaux sans-fil (bandes ISM, puissance isotrope rayonnée équivalente).

Intrusion dans les systèmes hébergeurs

Malgré toute les failles multiples et variées que nous avons traitées jusqu'ici, l'essentiel pour les hackers reste l'intrusion généralisée et classique dans un système. Un port ouvert avec un service vulnérable, une version de l'OS dépassée comportant des failles de sécurité et des failles permettant une escalade de privilège vers un compte administrateur de la machine et **tout le système est compromis dans l'arrière boutique**.

Ces attaque sont les plus dangereuses car elles donnent un accès complet à tous les services, à tous les fichiers, à toutes les bases de données, à toutes les clés privées utilisée pour mettre en place la sécurité jusqu'ici. De plus un attaquant disposant d'un tel contrôle sur une machine d'hébergement peut purement et simplement supprimer le service, l'application, le projet ou même formater complètement tout ce qui lui passe sous la main. Évidemment, inutile de parler de l'impact immense qu'une telle attaque peut avoir sur un système.

Ralentissement volontaire de la base de données

Il ne faut jamais faire confiance à un utilisateur, jamais. Toutes les entrées doivent être contrôlées lors du développement d'un tel projet. Que ce soit pour éviter les attaques de type injection NoSQL ou XSS mais aussi pour éviter une surcharge de données pouvant mener à un ralentissement d'une base de données.

Par exemple un champ beaucoup trop grand 1'000'000 de caractères représente environ 1 MB de données à stocker dans une base de données. Si l'abus est répété, on arrive vite à un volume de données important qui peut ralentir considérablement une base de données (même NoSQL!).

Contre-mesures

Comme nous avons dans ce projet beaucoup de scénarios, de failles et donc de contre-mesures, nous n'allons donc pas les développer en détails ici. Néanmoins, pour chacune d'entre elle un descriptif plus ou moins fourni de la technique est donné. Celui-ci est accompagné de liens⁵ vers des solutions existantes pour une architecture proche de notre système.

5. En anglais, car la bonne documentation est en anglais

Il est à noter que les contre-mesures doivent, dans la mesure du possible, utiliser des bibliothèques existantes et considérées comme sécurisées et à jour. Les solutions *"home made"* sont à éviter car généralement elles vont souffrir de manquements ou d'oublis.

Injection NoSQL

Pour protéger notre base de données de ce type d'attaque, il faudrait nettoyer les entrées de toutes lignes de codes exécutables. Pour ce faire, il faudrait utiliser la bibliothèque suivante : `mongo-sanitize`.

Le code ci-dessous donne un exemple de quand utiliser cette bibliothèque (source [NPM](#)) :

```
1 var sanitize = require('mongo-sanitize');
2
3 var name = sanitize(req.params.name);
4 var password = sanitize(req.params.password);
5
6 User.findOne({ "name" : name, "password" : password }, callback);
```

Librairies et documentation :

- [Outil – Bibliothèque NPM de mongo-sanitize](#)
- [Article – Injection NoSQL dans Node avec MongoDB](#)
- [Stackoverflow – Injection prevention in MongoDB](#)
- [OWASP – Testing for NoSQL injection](#)

Lisibilité du contenu sensible

Afin de protéger les mots de passe des utilisateurs même en cas de vol de la base de données, il est indispensable de hasher les mots de passe avec des méthodes de hachages qualifiés de sûrs comme SHA256 ou SHA3. Ainsi même en ayant tous les hashes des utilisateurs, l'attaquant n'a pas les mots de passe des utilisateurs et ne peut donc pas utiliser leurs comptes.

Afin d'augmenter encore la sécurité de notre application, nous pouvons ajouter du sel à notre application. Le sel consiste à concaténer au mot de passe de l'utilisateur une chaîne de caractère aléatoire afin que deux mots de passe identiques ne donnent pas le même hash. Cette chaîne de caractère est stockée dans la base de données. Le sel est une excellente protection contre les attaques par dictionnaire car il faut bruter les mots de passe un par un.

Librairies et documentation :

- [OWASP – Password storage cheatsheet](#)
- [Stackoverflow – Storing passwords with Node.js and MongoDB](#)
- [Outil – Bcrypt pour Node.js](#)
- [Article – Node et bcrypt](#)

Configuration de la base de données

Afin de sécuriser notre base de données NoSQL, l'idéal serait de définir les rôles selon un modèle RBAC (Role based Access Control).

Ainsi chaque compte de la base de données, ne donnera accès qu'aux fonctions dont a besoin le service ou l'utilisateur. Il faut aussi logger les accès à la base de données afin de pouvoir détecter d'éventuels comportements suspects ou bugs. De plus pour assurer une bonne disponibilité de cette BD, il faudrait la monitorer pour pouvoir détecter les problèmes en amont.

Si la tolérance au down time pour notre application venait à devenir critique, nous devrions envisager de mettre en place un système de base de données redondant. Il serait aussi nécessaire de définir une politique de backup afin de pouvoir se prémunir contre une perte ou une altération de nos données.

Librairies et documentation :

- [Documentation officielle – RBAC dans MongoDB](#)
- [Documentation officielle – Gestion des utilisateurs et des rôles](#)
- [Documentation officielle – MongoDB security checklist](#)

Cross-site scripting

Pour protéger notre application contre les attaques de type xss, il faudrait passer les entrées fournies par l'utilisateur dans un filtre choisi afin d'échapper correctement tout code malveillant.

Librairies et documentation :

- [OWASP – XSS prevention cheat sheet](#)
- [Article – XSS et applications Node.js](#)
- [Outil – Librairie NPM de xss nettoyage des inputs](#)
- [Outil – Librairie NPM de secure-filters nettoyage des inputs](#)

Plein d'autres librairies existantes et correctes sont disponibles dans Node.js !

Brute-force du système de login

Afin de se protéger contre les attaques de type brute force ou envoi massif de formulaire, il faudrait mettre des captchas (comme les reCAPTCHAS de Google) afin de s'assurer que c'est

bien un humain qui effectue l'action. Ainsi on rendrait impossible les attaques de type brute force effectuées à l'aide de script. De plus, le reCAPTCHA de Google est vraiment simple d'utilisation et gère de manière automatique une blacklist des adresses IP qui ont tenté de brute-forcer un formulaire.

Librairies et documentation :

- [Documentation officielle – Google reCAPTCHA](#)
- [Tutoriel – Google reCAPTCHA avec Node.js](#)
- [Outil – Librairie NPM de express-recaptcha](#)
- [Outil – Librairie NPM de recaptcha2](#)

Cross-site request forgery

La contre-mesure la plus répandue pour se protéger des failles web de type CSRF est l'authentification par token. Lorsqu'une requête est soumise au serveur, un header supplémentaire contenant le token est ajouté. Le token est vérifié avant que de réaliser l'action. La génération du token est une étape critique. Il est nécessaire qu'il soit généré de manière aléatoire, n'utiliser que des librairies standards.

Il existe d'autres contre-mesures additionnelles, notamment ajouter des étapes de validation (confirmation, captcha) lors des actions jugées critiques. Optionnellement, il est possible de vérifier depuis quelle page la requête a été effectuée. Bien qu'une contre-mesure supplémentaire ne soit pas de refus, il faut savoir qu'il est possible de forger une requête et donc de modifier cette valeur.

Librairies et documentation :

Voir la documentation de la contre-mesure contrôle d'accès dans la sous-section 1.5.7.

Contrôle d'accès

Il est légitime de contrôler l'accès aux différentes parties de l'application afin de s'assurer que l'utilisateur possède les autorisations nécessaires pour accéder à l'information. Le contrôle d'accès prend la forme d'une page de login. Une fois authentifié, l'utilisateur doit recevoir en retour un *Json Web Token* par exemple. Il s'agit d'une technologie très utilisée dans les back-end Javascript. Ce token est envoyé à chaque requête de l'utilisateur. Il contient diverses informations :

- Rôle
- Date d'émission
- Signature
- Émetteur
- Etc...

Si le token est valide (**vérification de la signature**) et n'est pas blacklisté dans une base de donnée, alors la session reste active. Ce type de token empêche à un attaquant de déterminer l'identifiant de session de quelqu'un et donc d'usurper son identité.

Librairies et documentation :

- [Documentation officielle – Json Web Token](#)
- [Outil – Librairie NPM de jsonwebtoken](#)
- [Norme – Json Web Token](#)

Durée de vie de la session

La durée de vie d'une session dépend des informations et des actions dont l'utilisateur a besoin. Il est important de trouver un juste milieu ; si la durée de vie est trop courte, alors l'utilisateur sera obligé de s'authentifier plusieurs fois par jour. Dans le cas contraire, l'inattention d'un utilisateur quittant son bureau sans verrouiller sa session, permettrait à un collègue d'accéder à son compte pendant son absence. De plus, les actions et les données dont un utilisateur standard ou d'un administrateur a accès sont différentes. C'est pourquoi une distinction entre ces 2 types de profils sont nécessaires.

Utilisateur 10 jours

Administrateur 1 jour

En plus de cette distinction et de cette durée de vie, il convient d'avoir une base de données permettant de stocker les tokens correspondant à une session black-listée ou bannie. Pour cela, une simple collection MongoDB de tokens suffit amplement si on pense à la vérifier après chaque vérification de JWT.

Librairies et documentation :

- [OWASP – Session management cheat sheet](#)
- Toute la documentation de la contre-mesure 1.5.7 sur les Json Web Token.

Communication en clair**LoRa**

Pour des questions de confidentialité des données, les trames ne peuvent pas circuler en clair sur le réseau. Il suffirait à un attaquant de sniffer le réseau pour avoir accès aux informations. Cette contre-mesure est implémentée de base par LoRaWAN.

Certificat SSL pour serveur nginx

Afin de chiffrer les communications entre nos clients et notre serveur web nginx. Pour cela, nous avons créé un `dockerCompose` qui nous permet de créer un serveur nginx proxy, un serveur nginx et un serveur *nginx let's encrypt companion*.

- **Nginx Proxy**

Notre serveur proxy nginx aura pour tâche de centraliser toutes les requêtes HTTPS et de les rediriger vers les serveurs adéquats (dans notre cas, vu que nous avons qu'un seul

service web toutes les requêtes seront redirigées vers notre service nginx). Vu que notre proxy est accessible directement depuis internet, il possède un certificat SSL délivré par Let's Encrypt. Ce certificat est renouvelé à intervalle régulier par le container *nginx let's encrypt companion*

- ***Nginx let's encrypt companion***

Ce container se réveille périodiquement (une fois par heure) et vérifie que le certificat du proxy nginx est toujours valable et qu'il n'expire pas dans moins de 30 jours. Si le certificat est valide et que sa durée de validité est supérieure à 30 jours, il se rendort pour une heure. Dans le cas où le certificat serait absent, invalide ou expirerait dans moins de 30 jours, le container en régénère un et le place dans le dossier certificats du proxy nginx et se rendort pour une heure.

- **Serveur nginx**

Ce container est notre serveur web, il reçoit les requêtes des clients que lui transmet le proxy et lui renvoie le contenu demandé par les clients.

Librairies et documentation :

- [Article – Gestion multi-site avec nginx et let's encrypt](#)
- [Outil – Image Docker Hub JrCs/docker-letsencrypt-nginx-proxy-companion](#)
- [Outil – Image Docker Hub jwilder/nginx-proxy](#)
- [Outil – Image Docker Hub nginx](#)
- [Guide – LoRa security](#)

Messages d'erreur révélant des informations

Nos messages d'erreur sur notre version en production doivent donner le minimum d'informations. Par exemple en cas d'erreur de notre serveur nginx celui-ci doit seulement donner le numéro et le type d'erreur. En aucun cas, il ne doit donner la cause de cette erreur car le message indiquant la cause pourrait divulguer certaines informations utiles à un attaquant. De même, notre serveur nginx ne devra jamais fournir son numéro de build dans un message d'erreur car il suffirait à un attaquant de chercher sur internet les failles pour la version de notre serveur.

Un autre endroit où les messages d'erreur doivent être le plus vague possible est le login. Le message d'erreur en cas de saisie de mauvais identifiants ne doit pas dire si le compte existe ou ce qui est faux entre le nom d'utilisateur et le mot de passe. Il devra juste donner un message générique comme celui-ci : "La connexion a échoué. Veuillez vérifier vos identifiants".

Librairies et documentation :

- [OWASP – Error handling](#)
- [MITRE-CWE 209 – Information exposure through an error message](#)

Accès non-contrôlé au hardware

L'accès aux différents modules (gateway et capteurs) doivent être protégés afin d'éviter à une tierce partie d'accéder au firmware ou programmes qui tournent sur ces derniers. En effet, si des clés de chiffrement sont disponible sur ces modules afin de chiffrer les trames envoyées entre les senseurs et les gateway, il faut s'assurer que l'accès à cette information est protégé.

Il serait envisageable comme première mesure d'enfermer ces modules dans des armoires techniques fermées à clé afin d'en limiter l'accès.

Composants réinscriptibles

Afin de garantir la persistance du hardware en cas de vol, les constructeur ont mis en place un système appelé "fuse protection". Ces "protection fuse" peuvent être de type logiciel ou matériel. Ils permettent d'éviter que les éléments de la mémoire soient lus, et par conséquent, sont de plus en plus installés dans les chips de nos jours. Cette protection est mise en place, par exemple, en configurant certains bits dans le chip or en fusionnant les lignes de contrôle correspondantes. Ces *fuse* ne sont pas toujours résistants à différentes techniques de manipulation spécifiques. Ces *Fuse bits* qui sont configurés peuvent être remis à 0 par une injection par laser. Une fois que ces *fuse* sont remis à 0, l'analyse du système (lecture des informations) peut continuer. Une contremesure efficace est un maillage de connecteurs qui est placé autour du chip et électriquement connecté à ce dernier. Si le chip est ouvert ou attaqué physiquement, ce maillage est détruit ce qui résulte en la destruction du chip, rendant impossible la récupération des informations (voir Figure 1.11).

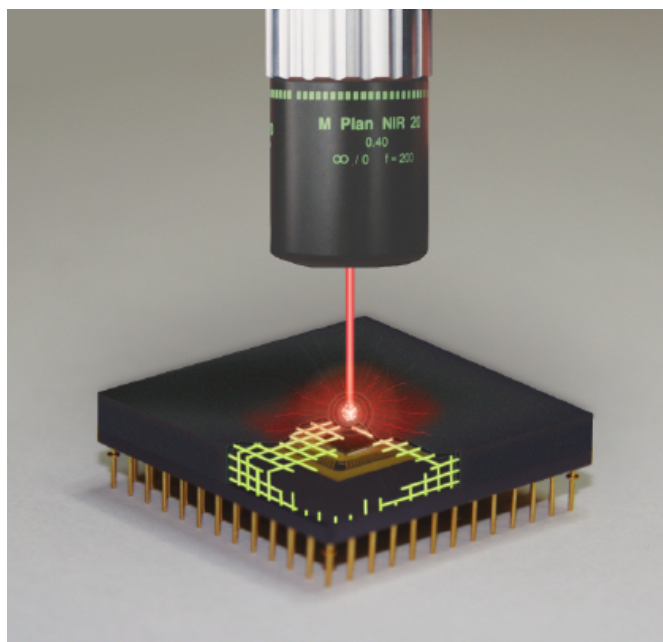


FIGURE 1.11 – Protection anti-modification par maillage

Librairies et documentation :

- [Article – Protecting embedded systems against product piracy](#)

Man in the middle

Afin de garantir l'intégrité des données envoyées sur le réseau LoRa, un contrôle d'intégrité de type CRC32 peut être effectué à l'instar du type de contrôle effectué lors de communications Wifi. Cette somme de contrôle serait mise à la suite des données envoyées et le tout pourrait être chiffré, par exemple avec AES dont la clé serait connue du capteur et de la gateway.

Une fois la trame reçue par la gateway, ou par le capteur, elle serait déchiffrée et le CRC32 contrôlé afin d'assurer l'intégrité de la trame reçue.

Librairies et documentation :

- [OWASP – Man in the middle attack](#)
- Toute la documentation de la contre-mesure 1.5.9 sur le chiffrement des communications et les tunnels TLS.

Association des capteurs à la passerelle

Attaque par déni de service

Afin d'éviter toute attaque du type déni de service, il serait envisageable d'effectuer un contrôle sur les ip se connectant au backend par exemple afin de limiter ou bloquer l'accès de cette dernière au backend si un certain seuil de requêtes par secondes ou minutes est atteint. De plus, il serait possible de mettre les différents serveurs (network server) en liste blanche. Ceci permettrait que seul les gateway et serveurs autorisés puissent se connecter au backend pour pousser des données, mitigant ainsi le risque de DDoS.

En ce qui concerne le frontend, seul un utilisateur authentifié peut accéder aux données. On pourrait filtrer les requêtes ICMP afin d'éviter une attaque de type *smurf attack*. Afin d'éviter une attaque de type *SYN Flood*, on pourrait limiter dans le temps le nombre de requêtes effectuées par un certain client authentifié.

Il serait possible d'héberger le backend sur un fournisseur IaaS afin de permettre un *autoscaling* lorsque le serveur est surchargé. Toutefois, cette solution serait inefficace si l'attaque par DDoS est de grande envergure.

Librairies et documentation :

- [Documentation officielle – AWS auto-scaling group](#)
- [Article – VPN provide DDoS protection](#)
- [Wikipedia – Mitigation de DDos](#)

Intrusion dans les systèmes hébergeurs

Si l'infrastructure est hébergée sur un fournisseur IaaS, les mises à jour du système sont à la charge du développeur. Si un service PaaS est utilisé, ces mises à jour sont à la charge du fournisseur de services.

Mettre à jour les applications utilisées ainsi que les systèmes d'exploitations doivent être régulièrement mis à jour afin de contrer les vulnérabilités découvertes et corrigées.

Librairies et documentation :

- [Article – Risk running obsolete software](#)

Ralentissement volontaire de la base de données**Conclusion sécuritaire**

Pour conclure, voici un court résumé des différentes vulnérabilités que nous avons rencontrées lors de ce projet de sécurisation accompagnées de quelques remarques.

Vulnérabilité	Correction ?
Injection NoSQL	✓
Lisibilité du contenu sensible	✓
Configuration de la base de données	?
<i>Cross-site scripting</i>	?
Brute-force du système de login	✗
<i>Cross-site request forgery</i>	?
Contrôle d'accès	✓
Durée de vie de la session	✓
Communication en clair	✓
Messages d'erreur révélant des informations	✓
Accès non-contrôlé au hardware	✗
Composants réinscriptibles	✗
<i>Man in the middle</i>	✓
Association des capteurs à la passerelle	✓
Attaque par déni de service	✗
Intrusion dans les systèmes hébergeurs	✓
Ralentissement volontaire de la base de données	✓

Et plein d'autres... Bien évidemment, certaines manquent sûrement à l'appel mais les grosses ayant un gros impacts sont belles et bien listées ici.

Remarques diverses

- Durant ce projet, nous avons beaucoup travaillé sur la recherche de scénarios et sur la manière de les contrer. Parfois, les contre-mesures n'ont pas été appliquées mais les détails concernant leur mise en place sont données.
- D'autres vulnérabilités que nous ignorons se trouvent surement encore dans le projet. La sécurité est quelque chose de complexe et ne peut jamais être parfaite. Nous avons donné les pistes pour sécuriser l'application au mieux, avec nos connaissances et le temps à notre disposition.
- Ce document n'est bien évidemment pas là pour pointer du doigt les failles encore existantes. Il est là pour fournir toutes les informations nécessaires afin d'améliorer au maximum la sécurité de ce jeune projet.