

# PRÉ-ÉTUDE ASSOCIÉE À LA PHASE D'ANALYSE **Mycélium**

Guillaume CHAUVEAU, Florian DABAT, Pieyre IACONE,

Elodie JUVÉ, Yifan TIAN, Victoria Maria VELOSO RODRIGUES, Haoying ZHANG

Encadrants : Nikolaos PARLAVANTZAS, Christian RAYMOND

Intervenants : Laurent ROYER, Laurent LONGUEVERGNE, Nicolas LAVENANT,  
Guillaume PIERRE

2021-2022

## Abstract

Une équipe pluridisciplinaire nous sollicite pour faire un suivi environnemental d'un espace naturel à l'aide d'un réseau de capteurs intelligents. Pour ce faire, nous avons à disposition divers matériels et technologies, notamment pour la collecte et l'envoi des données et la mise en place d'une infrastructure *fog*.



Figure 1: Environnemental Monitoring

# Contents

<b>1 Contexte</b>	<b>3</b>
<b>2 Objectifs du projet</b>	<b>4</b>
2.1 Mycélium . . . . .	4
2.2 Contraintes . . . . .	4
2.2.1 Déploiement du système dans la Croix-Verte . . . . .	4
<b>3 État de l'art</b>	<b>6</b>
3.1 Projet LivingFog Plateform : déploiement à Valence . . . . .	6
3.2 Projet ConnecSenS . . . . .	7
3.3 Sites naturels nationaux et suivis environnementaux . . . . .	8
3.4 Com'in city . . . . .	9
3.5 SenseCAP . . . . .	9
<b>4 Technologies</b>	<b>9</b>
4.1 Nœud Solo . . . . .	9
4.2 LoRaWAN <i>gateway</i> . . . . .	12
4.3 Fog Computing . . . . .	13
4.3.1 Cluster Raspberry Pi . . . . .	14
4.3.2 Docker et Kubernetes . . . . .	15
4.3.3 ChirpStack . . . . .	16
4.3.4 InfluxDB . . . . .	16
<b>5 Organisation</b>	<b>17</b>
<b>6 Spécification et planification générales</b>	<b>17</b>
6.1 Tâches . . . . .	17
6.2 Planification . . . . .	18
<b>7 Conclusion</b>	<b>19</b>

## 1 Contexte

Notre travail s'inscrit dans le cadre du projet de recherche TERRA FORMA, projet national ayant pour but le développement et déploiement de capteurs environnementaux intelligents. Les mesures permises par de telles installations permettent une meilleure compréhension des environnements, de leur évolution, ainsi que de l'impact des activités humaines.

Le projet **Mycélium** va se concentrer sur la zone de la Croix-Verte. C'est une zone en renaturation située sur le campus de Rennes 1, entre la bibliothèque universitaire et la nouvelle ligne de métro. Sa renaturation est un engagement de Rennes Métropole en lien avec la création de la ligne B du métro, afin de compenser la destruction d'autres espaces verts dans la ville. Elle est composée de 3 points d'eau alimentés par une rivière souterraine. L'objectif est de favoriser la biodiversité.

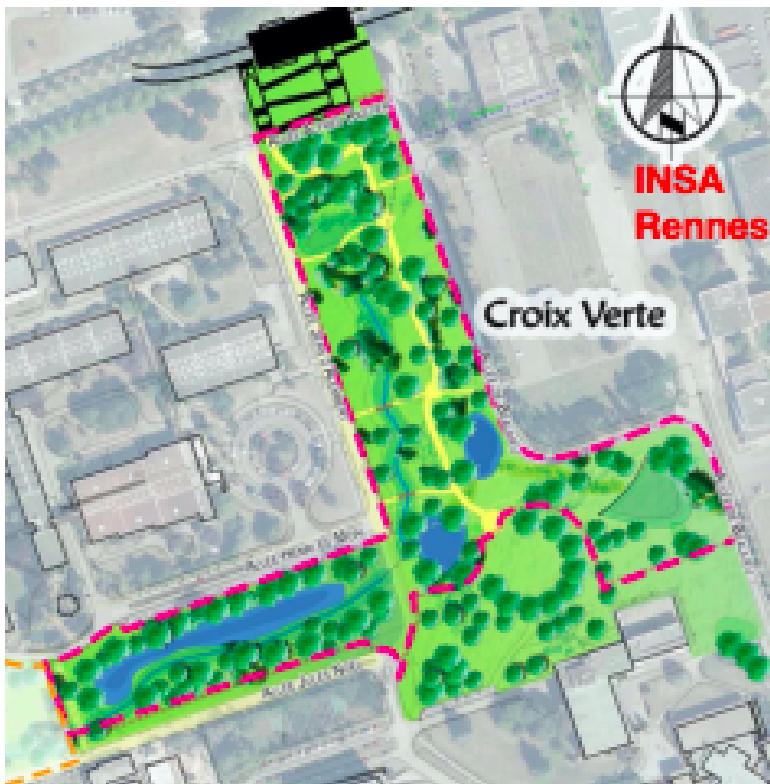


Figure 2: Plan de la Croix-Verte

Cette zone au contexte particulier est donc propice à un suivi écologique et notre projet n'est pas le premier qui la concerne. On trouve notamment SMART OBS [1] dont l'objectif est de réaliser un suivi approfondi de la zone avec de nombreuses approches (et en utilisant des technologies et des outils de pointe habituellement utilisés dans d'autres domaines). Dans ces approches, on compte des capteurs mesurant différents facteurs de l'environnement ou encore un événement tel que le BioBlitz. C'est un événement annuel qui se déroule durant un week-end sur la Croix-Verte du campus de Rennes 1. Durant l'événement, un inventaire de la biodiversité est réalisé en 24 h : cela permet une observation de la faune et la flore, l'air, le sol et l'eau. Les objectifs de cet événement sont :

- Développer des usages innovants de capteurs (par exemple reconnaître les chants d'oiseaux, détecter la pollution lumineuse, etc.)
- Tester des nouveaux outils de sciences citoyennes comme une nouvelle application utilisable par tous permettant notamment de mesurer les nitrates présents dans l'eau, qui sera couplée au recensement des communautés d'invertébrés aquatiques.

- Analyser les effets de l'aménagement-renaturation de la "Croix-Verte" grâce à des mesures de paramètres du sol mis en relation avec l'étude de la faune du sol.

Nous avons donc participé à cet événement pour comprendre les enjeux de notre projet. Cela nous a aussi permis de découvrir la zone de la Croix-Verte et d'avoir un premier aperçu des outils que nous allions utiliser : capteurs et infrastructure logicielle. Durant celui-ci, nous avons réalisé des mesures dans différents endroits clés de la zone avec Guillaume PIERRE, une des personnes qui interviennent sur le projet. Une fois les mesures réalisées, nous avons pu observer les données traitées et voir, par exemple, l'impact du goudron sur la température environnante. En plus d'avoir pu échanger avec M. Pierre, nous nous sommes aussi rendu compte de ce à quoi ressemble une infrastructure comme celle que nous devons déployer.

## 2 Objectifs du projet

Le but du projet est de développer et qualifier un système de contrôle d'un réseau de capteurs intelligents et basse énergie. Ce système, baptisé Mycélium, aura la capacité de faire évoluer automatiquement la stratégie d'observation en fonction des mesures effectuées ou des prévisions climatiques, notamment pour bien capturer les événements extrêmes. Il sera déployé et testé sur la Croix-Verte, zone en renaturation sur le campus de Beaulieu.

### 2.1 Mycélium

Le Mycélium [2] est l'appareil végétatif des champignons. Il représente une partie importante de la masse organique présente naturellement dans le sol. Il sert de réseau entre les différentes plantes, et permet la transmission d'informations, d'eau et de minéraux entre elles. Ce nom a donc été choisi pour notre système grâce à son lien avec l'environnement et à sa fonction de réseau.

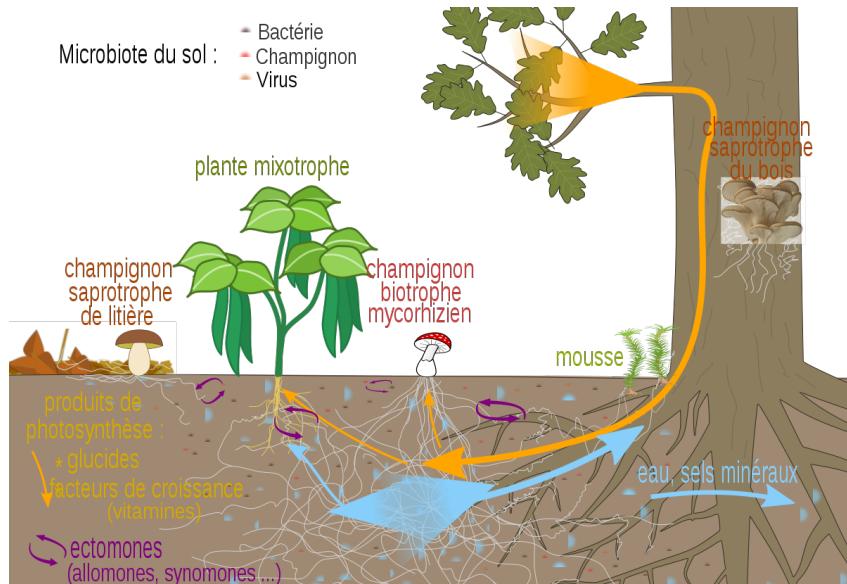


Figure 3: Mycélium : schéma du réseau mycorhizien

### 2.2 Contraintes

#### 2.2.1 Déploiement du système dans la Croix-Verte

Bien que nous ayons quelques libertés quant à la réalisation du projet, nous avons aussi des contraintes liées à son architecture de notre système. En effet, elle doit être à plusieurs couches afin de réduire les temps de réaction face aux événements et la consommation de bande passante, de traiter des données et

prendre des décisions au plus près des capteurs. Cela rendra également le système plus facile d'utilisation et plus efficace pour les chercheurs de Géosciences de Rennes 1 qui l'utiliseront.

Trois couches sont imposées :

- Agrégateur : pour l'envoi des données récoltées par les capteurs sur le réseau LoRaWAN (cf. section 4.2).
- Collecteur Fog : pour la collecte, le stockage et le traitement (léger) des données. (cf. section 4.3)
- Cloud : pour les calculs nécessitant plus de ressources.

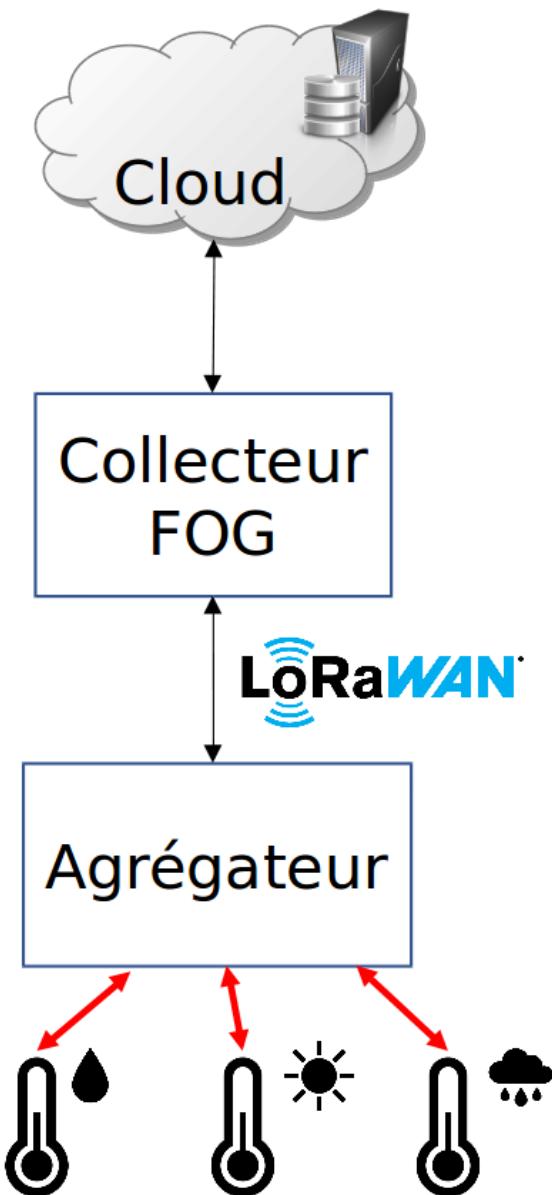


Figure 4: Illustration des trois couches imposées : l'Agrégateur, le Fog et le Cloud

Ces technologies seront présentées plus en détail dans les prochaines parties  
En plus des contraintes logicielles, nous avons des contraintes matérielles :

- un nœud SoLo (ou nœud ConnecSenS) (cf. section 4.1)

- une *Gateway* multitech LoRaWAN (cf. section 4.2)
- un cluster de Raspberry Pi (cf. section 4.3.1)

Ces différents composants seront également présentés dans les prochaines parties.

De plus, une fois le système fonctionnel, il est prévu que nous le déployons dans la zone de la Croix-Verte. C'est l'objectif initial de notre projet : être capable de prendre des mesures de manière intelligente de cette zone en renaturation.

Ces mesures permettront de faire un suivi de différents paramètres dans la zone observée, tels que la qualité de l'eau de la rivière, ou la qualité de l'air. Pour ce faire, il est envisagé de placer deux noeuds à deux extrémités de la rivière, afin de pouvoir en mesurer le débit, ou l'impact de certaines intempéries ou autres événements. Toutes les données envoyées seront analysées en temps réel par notre collecteur et consultables depuis une interface web.

Enfin, les technologies utilisées devront répondre à des contraintes d'adaptabilité à divers environnements afin de pouvoir être réutilisées facilement dans des conditions différentes. Pour ce faire, une certaine robustesse est nécessaire, ainsi que la possibilité de mesurer un nombre important de paramètres grâce à des capteurs hétérogènes (eau, météo, air, sol, etc.). La nature même du projet impose quant à elle l'utilisation de technologies répondant à des défis environnementaux afin d'impacter le moins possible les écosystèmes dans lesquels elles seront déployées, cela passe également par une consommation énergétique réduite qui va alors permettre aux installations de fonctionner sur des périodes prolongées.

### 3 État de l'art

Nous allons présenter dans cette partie les projets utilisant des technologies similaires, notamment des capteurs connectés et communiquant avec un réseau LoRa, mobile ou autres.

Ces projets ont également pour objectif le suivi environnemental d'un espace naturel ou non.

#### 3.1 Projet LivingFog Plateform : déploiement à Valence

LivingFog Platform [3] [4] est une réalisation du projet européen FogGuru [5], mené par une équipe de chercheurs de l'Université de Rennes 1, que M. PIERRE dirige. C'est une infrastructure logicielle capable de gérer des appareils utilisant le protocole de communication LoRaWAN.

LivingFog est déployée dans le port de La Marina de Valence en Espagne [6] afin de collecter des données de capteurs qui peuvent être utilisées pour diverses applications [7] : l'amélioration de service, les décisions de management, business, éducation, recherche... Il s'agit donc d'un espace semi-naturel, avec une certaine implantation humaine. Implanter un système de capteurs dans cette zone permet d'observer et d'anticiper l'évolution de ce milieu.

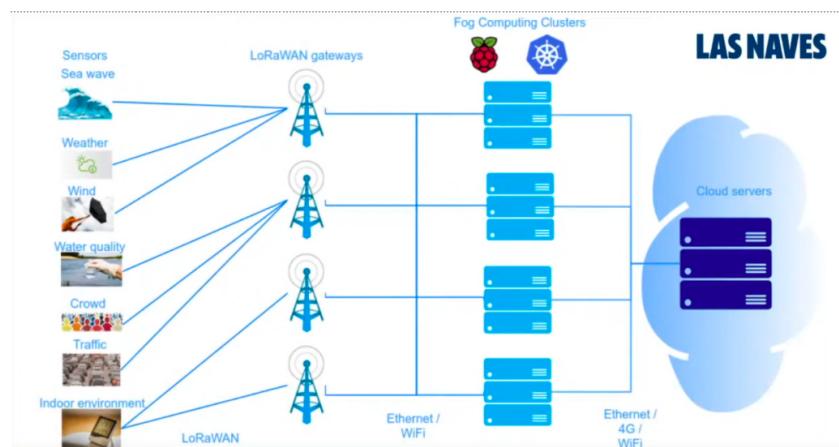


Figure 5: Schéma de l'architecture du déploiement de réseau de capteurs à La Marina de Valence

Par exemple, des capteurs ont été placés dans la mer, à l'entrée du port, pour mesurer les vagues, la pression, la température, etc.



Figure 6: Photo du port de La Marina à Valence, équipé en capteurs

Nous allons effectuer un même type de déploiement sur la Croix-Verte, utilisant les mêmes technologies.

### 3.2 Projet ConnecSenS

Le projet ConnecSenS [8] correspond au déploiement d'un réseau de capteurs intelligents sur 4 sites naturels en Auvergne. Pour ce projet, des nœuds dits ConnecSenS ou SoLo ont été conçus par les chercheurs de l'Université de Clermont-Ferrand.

Ainsi, ce projet lie à la fois le domaine des technologies numériques et celui de la modélisation des écosystèmes et des territoires. Il a pour but de mieux appréhender les changements planétaires dans une démarche de développement durable.

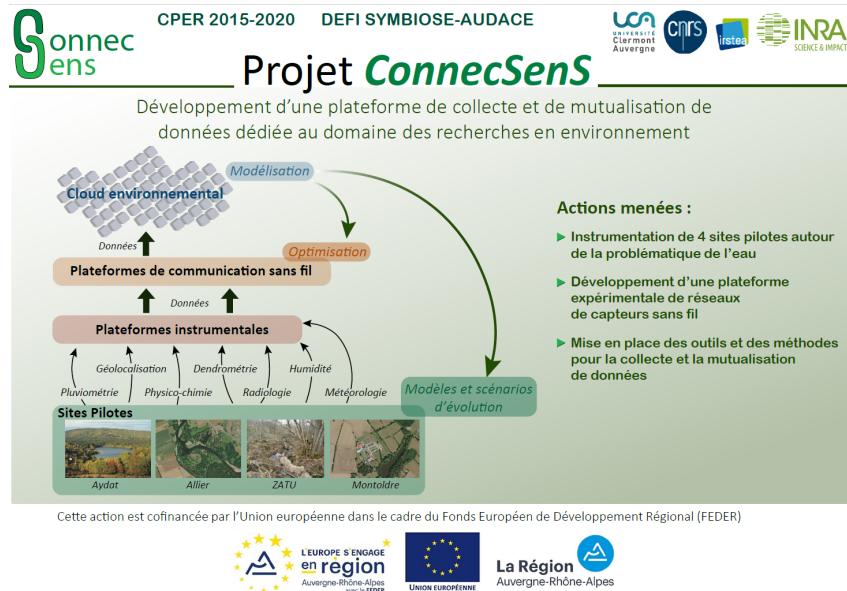


Figure 7: Projets de monitoring environnemental via ConnecSenS

Pour y parvenir, le projet ConnecSenS doit étudier et développer une plateforme de collecte et de mutualisation de données dédiée au domaine des recherches en environnement. Cette plateforme de mesures s'appuie sur l'utilisation de réseaux de communication sans fil permettant de recueillir des données, les transmettre et les stocker dans une base de données. Celle-ci peut ensuite être utilisée pour la fouille de données, l'analyse de données ou la construction de modèles. Toutes ces données, disponibles dans le *Cloud*, permettent de développer des modèles nouveaux, afin d'anticiper les évolutions et de prévoir des scénarios.

Dans le cadre du projet ConnecSenS, le dénominateur commun est la problématique de l'eau (quantité, qualité, propriété, etc.). Au-delà de ce dénominateur commun, ces sites sont complémentaires par la diversité des thématiques qu'ils abordent, de la qualité de l'eau d'un lac à la migration des radioéléments d'une ancienne mine d'uranium en passant par l'étude d'un bras mort de rivière et le fonctionnement hydrique des agrosystèmes.

Les principaux résultats attendus étaient le développement d'une plateforme expérimentale de réseaux de capteurs sans fil, l'instrumentation des sites pilotes autour de la problématique de l'eau, la mise en place des outils et des méthodes pour une collecte de données environnementales.

Ce projet a permis de produire deux résultats principaux. Le premier d'entre eux est le déploiement d'une plateforme de réseaux de capteurs sans fil autonomes de plusieurs dizaines de nœuds, en milieu naturel contraint. Cette plateforme est utilisée comme support d'innovations technologiques et comme support de recherche nouvelle grâce au recueil en continu de données scientifiques environnementales. Le second est la récupération, la sécurisation, la synchronisation, le calibrage, l'intégration, et le partage des données collectées sur les sites environnementaux ainsi instrumentés. Le projet ConnecSenS 2 [9] s'inscrit dans la continuité de ce premier projet et vise notamment à ajouter la thématique du sol en plus de celle de l'eau déjà en place..

En ce qui concerne notre projet, c'est un système également similaire que nous comptons déployer sur la Croix-Verte. Nous allons utiliser les même boîtiers de capteurs : les noeuds ConnecSenS.

### 3.3 Sites naturels nationaux et suivis environnementaux

En France, la surveillance des espaces naturels est de plus en plus réalisée. Elle permet de mieux anticiper et comprendre les événements environnementaux (climatiques, géologiques...), afin de pouvoir réagir en cas de besoin et d'améliorer la recherche en matière de biodiversité. Par exemple dans les rivières, nous pouvons mesurer la pression pour pouvoir anticiper l'arrivée des nappes souterraines. En France, les observatoires de l'environnement les plus connus sont :

- L'Observatoire National de la Biodiversité (ONB) [10]

- L'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) [11]
- L'Observatoire National de la Mer et du Littoral (ONML) [12]

### 3.4 Com'in city

L'entreprise Com'in city [13] propose des services de suivi de l'environnement avec des capteurs connectés, embarquant des algorithmes d'intelligence artificielle. Ces capteurs peuvent être fixes (air, eau...) ou portatifs (silice, diesel...) et prennent également en compte les déclarations faites par les riverains. Toutes ces informations sont ensuite analysées sur une plateforme qui sert d'aide à la décision. Cette solution semble cependant être plus adaptée aux zones habitées qu'aux zones naturelles, et paraît moins accessible à cause de son coût élevé.

### 3.5 SenseCAP

Des solutions industrielles de boîtiers sur lesquels il est possible de connecter divers capteurs existent déjà, par exemple le SenseCAP Industrial Environmental Sensing Kit [14] comporte des capteurs pour la température, la qualité du sol, de l'air ainsi qu'un panneau solaire pour recharger la batterie. Cependant, la communication se fait par réseau 2G/4G et il faut donc une couverture réseau GSM/LTE, son architecture est illustré dans la Figure 8. De plus, bien que le boîtier semble être conçu pour fonctionner en extérieur dans des conditions plus ou moins rudes, aucun traitement spécial n'est mentionné pour des environnements extrêmes tels que les volcans qui peuvent endommager le matériel s'il n'est pas traité contre la corrosion. Enfin, dans de tels environnements, les panneaux solaires peuvent s'avérer inutiles par période à cause des conditions météorologiques.

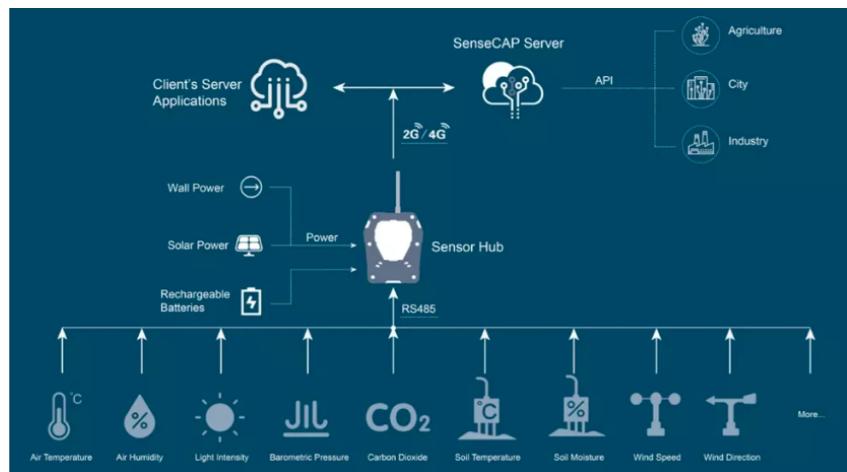


Figure 8: Architecture des solutions SenseCAP

## 4 Technologies

Nous présentons dans la partie suivante les technologies logicielles et matérielles qui nous sont proposées pour le projet.

### 4.1 Nœud Solo

Dans ce projet, un boîtier contenant des capteurs nous est fourni par Laurent ROYER et Nicolas LAVENANT, intervenants sur le projet.

Ce boîtier : le nœud SoLo (illustré sur la figure 9) est utilisé pour réaliser les mesures de l'environnement et transmettre les données. C'est un dispositif conçu pour réaliser des mesures de manière intelligente (capacité de détecter certains événements) et avec une grande couverture réseau (10 kilomètres dans le

meilleur des cas). Il est aussi basse consommation : son autonomie est estimée à plusieurs mois (et va dépendre de l'utilisation du GPS, des fréquences d'envois et de mesures).

Le nœud possède cependant une limitation : il ne peut qu'envoyer des données, et non en recevoir.

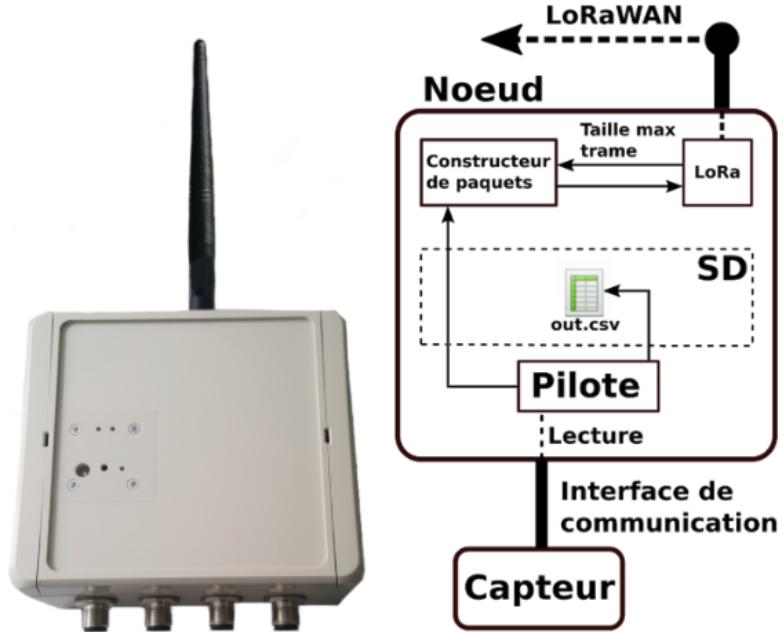


Figure 9: Nœud SoLo et visualisation du trajet des données

Il est équipé d'une carte SD où se trouvent les fichiers nécessaires à son fonctionnement ainsi qu'à sa configuration, un fichier CSV contenant les mesures réalisées et un fichier de log. Sa configuration se fait par la modification d'un fichier JSON. Celui-ci permet de paramétriser l'identification du nœud, les paramètres réseaux, les paramètres des capteurs connectés (périodes de mesures et d'émission) et l'utilisation GPS.

Le boîtier comporte plusieurs capteurs intégrés qu'il est possible d'activer ou non :

- Un capteur de température (de -40°C à 120°C)
- Un capteur d'humidité (0 à 100%)
- Un capteur de luminosité (de 0.01 à 83k lux dans le spectre de 460nm à 655nm)
- Un accéléromètre triaxial
- Un capteur de pression absolue (de 260 à 1260 hPa)

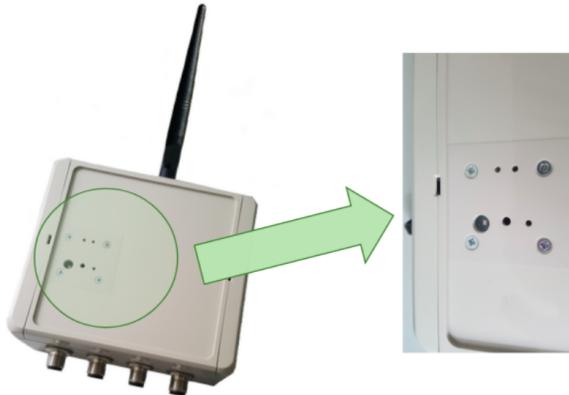


Figure 10: Le boîtier et ses capteurs intégrés

Le noeud comporte aussi un GPS utilisé à la fois pour la localisation et la synchronisation de l'horloge interne (Figure 11).



Figure 11: GPS

Il y a également la possibilité d'ajouter d'autres sondes de mesure sur les connecteurs présents sur le boîtier, en l'occurrence nous disposons d'un pluviomètre à auget LUFTT WTB100 (Figure13).



Figure 12: Les connecteurs



Figure 13: Pluviomètre à auget LUFFT WTB100

## 4.2 LoRaWAN *gateway*

Nous utilisons une *gateway* LoRa qui utilise LoRaWAN (Long Range Wide-Area Network) pour communiquer avec nos dispositifs (le nœud SoLo).

LoRaWAN est un protocole de réseau permettant la communication d'objets à faible consommation électrique. Dans notre projet, les équipements que nous utilisons (nœud SoLo) sont des boîtiers qui consomment peu d'énergie et qui envoient des données en bas débit, par fréquence radio, à la passerelle. En plus, LoRaWAN permet la communication sur des longues distances, 2 km en zones urbaines et 15 km en zones rurales, sans obstacles [15]. Cet avantage correspond au besoin de notre projet, puisque notre objectif est de faire un suivi environnemental, et des équipements vont être mis dans de grands espaces, par exemple sur la Croix-Verte dans le campus de Rennes 1.

Ce protocole définit trois classes d'équipements, A, B et C. Cela permet de paramétriser le niveau de la communication bi-directionnelle. La communication bi-directionnelle c'est que, non seulement les équipements peuvent envoyer des données au serveur via la *gateway*, mais le serveur peut aussi envoyer des messages aux équipements pour leur donner des ordres (changer la fréquence de mesure) en fonction des données qu'il reçoit.

La communication bi-directionnelle est faite grâce à la fenêtre d'écoute. Pour chaque équipement, la fenêtre d'écoute est la durée durant laquelle le serveur peut envoyer à l'équipement les données qu'il a précédemment stockées à son attention.

- La classe A a la consommation d'énergie la plus faible mais la communication bi-directionnelle est assez limitée. Après avoir envoyé sa donnée au serveur, l'équipement de classe A ouvre deux fenêtres durant seulement quelques secondes pour réceptionner d'éventuels messages du serveur. Autrement dit, les équipements de cette classe envoient leurs données sans contrôle.
- La classe B permet un compromis entre la consommation énergétique et le besoin en communication bi-directionnelle. Le serveur envoie périodiquement un message à l'équipement pour lui donner la

durée de la fenêtre d'écoute pour l'attente de réception.

- La classe C a la plus forte consommation énergétique mais permet des communications bi-directionnelles n'étant pas programmées, et cela grâce à une fenêtre d'écoute permanente.

La classe A doit être implémentée dans tous les équipements par souci de compatibilité. Mais un équipement peut changer sa classe en cours de fonctionnement. La décision de classe est une question de compromis entre la consommation d'énergie et les besoins en communication bi-directionnelle. Pour l'instant, nous avons mis la classe A, mais cela peut changer après.

Le format des paquets LoRaWAN est décrit dans le schéma ci-dessous. Les tailles des champs sont indiquées en bits.

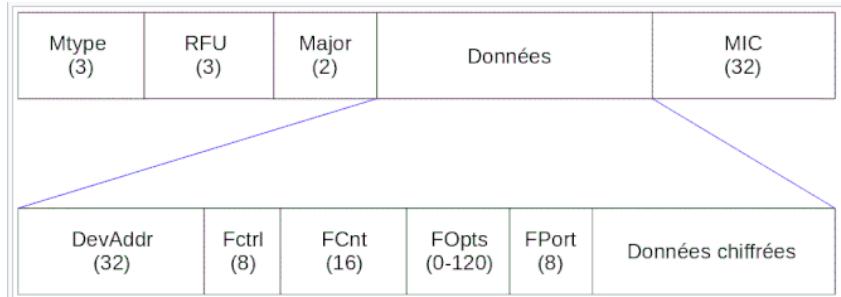


Figure 14: Format des paquets LoRaWAN

Au niveau du matériel, nous utilisons une *gateway* de marque *MultiTech*.



Figure 15: *Gateway* LoRaWAN MultiTech

### 4.3 Fog Computing

Le *fog computing*, introduit par Cisco Systems en 2012, est une architecture qui étend l'architecture de *cloud computing* jusqu'à la bordure du réseau et distribue l'informatique, le contrôle et le stockage de données à proximité de l'utilisateur final [16]. Le brouillard est comme un nuage près du sol, il est donc possible d'imaginer le *Fog computing* comme une couche capable de rapprocher le *cloud* et la périphérie du système, où les données sont produites comme illustré dans la Figure 16.

Le *fog* ne remplace pas le *cloud*, c'est plutôt une extension qui présente des fonctionnalités avantageuses pour les systèmes IoT (*Internet of Things*), telles qu'une faible latence, une évolution rapide et abordable, une haute disponibilité, une distribution géographique et un traitement en temps réel. Ces attributs rendent le *fog computing* idéal pour le traitement des tâches qui doivent être traitées à

proximité de la périphérie du réseau, telles que les applications sensibles à la latence, tandis que d'autres tâches tolérantes aux délais peuvent être effectuées dans le *cloud*.

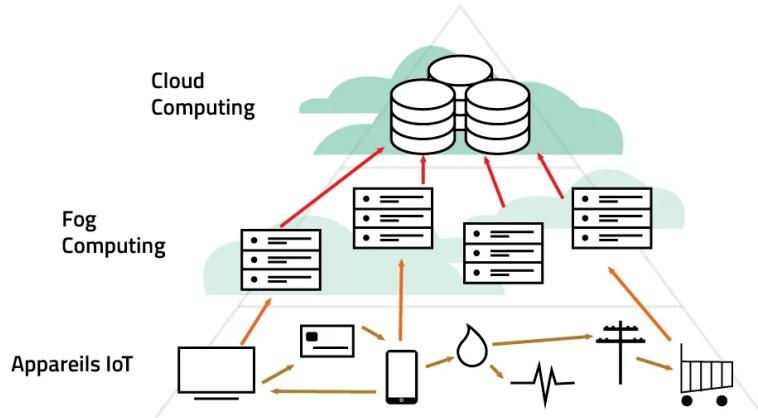


Figure 16: Le système Fog

Des exemples typiques de ses applications se trouvent dans l'automatisation industrielle, les transports et les réseaux de capteurs et d'actionneurs [17]. Les spécialistes utilisent ce paradigme dans des environnements intelligents pour réaliser un traitement efficace des données, par exemple dans des systèmes visant à connecter différents appareils IoT tels que LivingFog mentionné ci-dessus. Dans ce type d'application, qui génère de nombreuses opportunités de gestion et de développement de services, le *fog computing* est utilisé pour gérer la consommation des ressources, réduire les coûts, améliorer les performances et connecter plus efficacement les appareils IoT.

Les éléments de calcul, de mise en réseau, de stockage et d'accélération de ce paradigme sont appelés des noeuds fog, qui doivent être considérés comme un système fluide de connectivité [18]. Ainsi, en raison de la conception de l'environnement fog, il existe un besoin commun de mettre en œuvre un système distribué sur un réseau où les noeuds fog communiquent.

Dans notre projet, nous utiliserons un cluster de Raspberries Pi pour déployer des conteneurs Docker pour les applications composant l'infrastructure de Mycélium.

#### 4.3.1 Cluster Raspberry Pi

Le Raspberry Pi est un nano-ordinateur monocarte à processeur ARM. Il est de la taille d'une carte de crédit et est conçu par des professeurs du département informatique de l'université de Cambridge. Les processeurs ARM, ayant une architecture plus simple que d'autres familles de processeurs et une faible consommation d'électricité, sont aujourd'hui utilisés largement dans le domaine de l'informatique embarquée.

Avec l'évolution et l'amélioration de la technologie du Raspberry Pi, il existe plusieurs modèles dans le marché des Raspberry Pi. La génération la plus récente est le Raspberry Pi 4, et celui que nous utilisons pour notre projet est le Raspberry Pi 3.

Comme nous l'avons expliqué, l'avantage de l'utilisation du *fog computing* est de mettre le centre des données aussi près que possible des équipements pour être plus efficace et moins énergétique en trafic du réseau. Donc dans notre projet, nous voulons ajouter un “ordinateur”, près de la passerelle et des noeuds SoLo, sur lequel sont lancées des applications pour traiter les données. Cet “ordinateur” serait le Raspberry Pi, et pour augmenter la performance, nous utiliserons un cluster de picocluster[19] équipé de cinq Raspberry Pi, connectés l'un après l'autre. Comme la figure 17 ci-dessous.



Figure 17: Cluster Raspberry Pi

#### 4.3.2 Docker et Kubernetes

En visant le développement d'une architecture de microservices distribués, l'application sera implémentée dans des conteneurs qui sont des environnements isolés et portables capables de regrouper le code et ses dépendances pour le développement et le déploiement [20], comme illustré dans la Figure 18. Les conteneurs sont avantageux dans un cluster Raspberry Pi car ils nécessitent peu d'espace, peuvent gérer des applications qui nécessitent moins de ressources du système d'exploitation et sont également faiblement couplés, distribués et élastiques.

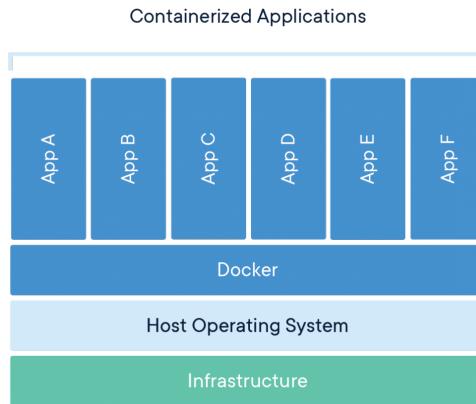


Figure 18: Déploiement de conteneurs

Les conteneurs de microservices sont capables de communiquer entre eux, ce qui les rend idéaux pour concevoir une architecture informatique fog. Cependant, il est nécessaire que ces conteneurs soient orchestrés afin que nous puissions gérer la mise à l'échelle des ressources, l'équilibrage de charge et la distribution sur le serveur. Par conséquent, nous utiliserons des conteneurs Docker qui seront orchestrés par Kubernetes.

Docker est une plate-forme ouverte pour le développement, la livraison et l'exécution d'applications [21]. Docker permet de séparer application et infrastructure, selon l'architecture des microservices, et permet de gérer ces deux parties de manière similaire grâce à l'utilisation de conteneurs. Cela dit, étant

une plate-forme basée sur des conteneurs, cet outil peut fournir un environnement de développement portable, dynamique, léger et facilement évolutif en temps réel, idéal pour la conception de ce projet.

Kubernetes, alias K8s, est une plate-forme portable, extensible et open source pour la gestion des charges de travail et des services conteneurisés, qui facilite à la fois la configuration déclarative et l'automatisation [22]. Nous l'utiliserons car elle est optimisée pour les systèmes distribués et nous fournit un moyen simple de gérer le partage de la charge de travail entre les noeuds du cluster. Avec Kubernetes, il est possible d'automatiser la gestion des pannes, d'optimiser l'utilisation du CPU et de la mémoire, en plus d'équilibrer et de répartir le trafic réseau entre les conteneurs utilisés.

#### 4.3.3 ChirpStack

ChirpStack [23] est un ensemble de logiciel pour la gestion de réseaux et appareils LoRaWAN en open source. Il dispose d'une interface web (Figure 19) permettant la gestion des appareils et des APIs pour intégrer les logiciels qui traitent les données reçues. Lorsque la *gateway* LoRaWAN est connectée à ChirpStack, nous pouvons visualiser les messages LoRaWAN, ainsi que des statistiques sur les erreurs.

Figure 19: Configuration d'un appareil LoRaWAN

#### 4.3.4 InfluxDB

InfluxDB [24] est un système de gestion de base de données utilisant des séries temporelles (Time Series DBMS). Ces séries sont composées de points comportant un horodatage ainsi que plusieurs paires clé-valeur correspondant aux données du point.

Ce système est compatible avec le langage de requête Flux fourni par InfluxDB. Il est également possible d'utiliser d'autres méthodes pour interroger ou remplir la base de données, notamment des scripts se basant sur une API.

De plus, InfluxDB fournit une interface permettant un affichage des données sous forme de courbes, formées de points ayant en ordonnées les paires clé-valeur enregistrées, et en abscisse l'heure à laquelle ont été enregistrées les données.

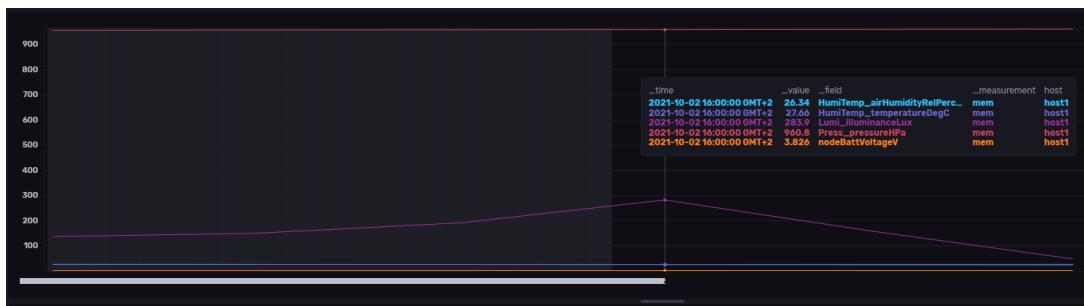


Figure 20: Affichage des données dans InfluxDB

Les données produites par le boîtier sont horodatées, comme il est illustré dans la Table 1. Et dans la partie d’analyse des données, nous allons explorer comment chaque variable mesurée change au fil du temps. De part la nature horodatée des données et du cas d’utilisation, InfluxDB est le choix idéal pour notre projet.

Table 1: Exemple de données à enregistrer

Horodatage [UTC]	Voltage [V]	Éclairement [Lux]	Pressure [HPa]	Température [°C]	Humidité de l’air [%]
2000-01-01 00:10:02	3784	51.0	1025966	25.2	37.6
2000-01-01 00:10:20	3784	49.8	1026020	25.2	37.4
2000-01-01 00:10:30	3784	47.1	1026006	25.2	37.6
...	...	...	...	...	...
2000-01-01 00:24:28	3784	45.8	1026078	23.9	39.2
2000-01-01 00:24:30	3784	192.8	1026021	23.9	39.3
2000-01-01 00:24:40	3784	263.0	1026082	23.9	39.7

## 5 Organisation

L’équipe est composée de 7 étudiants (Guillaume CHAUVEAU, Florian DABAT, Pieyre IACONE, Élodie JUVÉ, Yifan TIAN, Victoria Maria VELOSO RODRIGUES, Haoying ZHANG). Nous nous répartissons les tâches via GitLab, communiquons par Discord, et utilisons Google Drive pour partager des fichiers. Chaque mardi après-midi nous nous réunissons pour élaborer notre projet.

Une réunion a lieu chaque semaine. Les 2 premières ont permis d’expliquer et de donner un aperçu du projet (découvrir le projet et les matériaux, présentation des projets précédents). A partir de la troisième semaine, nous avons commencé à prendre en main le projet et à paramétriser le matériel. Nous avons séparé les tâches en quatre : la configuration de LoRaWAN *gateway*, la configuration d’un boîtier ConnecSens, le déploiement de InfluxDB et ChirpStack et l’installation du cluster Raspberry Pi.

Les professeurs et intervenants sont :

- Nikolaos PARLAVANTZAS : Maître de conférences à l’INSA Rennes, co-tuteur/co-encadrant du projet
- Christian RAYMOND : Maître de conférences à l’INSA Rennes, co-tuteur/co-encadrant du projet
- Guillaume PIERRE : Professeur à l’université de Rennes, chef de l’équipe de recherche Myriads à l’INRIA
- Nicolas LAVENANT : Ingénieur d’études à Géosciences Rennes
- Laurent LONGUEVERGNE : Directeur de recherche à Géosciences Rennes
- Laurent ROYER : Ingénieur de recherche en micro-électronique au CNRS de Clermont-Ferrand

## 6 Spécification et planification générales

Les quatre premières semaines ont été utilisées non seulement pour identifier les besoins mais aussi pour effectuer des tests préliminaires avec les technologies mentionnées précédemment. Nous avons déployé les logiciels de Mycélium (ChirpStack, InfluxDB...) avec Docker-Compose sur un ordinateur portable et configuré la *gateway* pour transmettre les messages LoRaWAN à l’ordinateur.

### 6.1 Tâches

Ces premiers tests ont mis au jour les limitations de LoRaWAN (principalement la bande passante) ainsi que les objectifs possibles de Mycélium. Nous avons défini les tâches suivantes:

#### Interface entre le nœud SoLo et Mycélium

Utilisation du script de d’encodage fourni pour enregistrer les données du nœud dans InfluxDB.

#### Déploiement du cluster

Préparer chaque Raspberry Pi avec l'installation du système d'exploitation Raspberry Pi OS LITE et ajouter les équipements sur le réseau IoT du département INFO. Configurer un cluster Kubernetes qui utilise chaque Pi comme nœud. Déploiement de l'infrastructure de Mycélium avec Kubernetes.

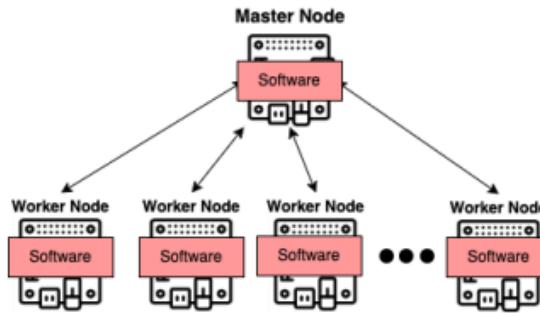


Figure 21: Structure du cluster Kubernetes [16]

### **Bi-direction**

Ajout d'un lien descendant vers le nœud. Création d'un protocole de commande pour donner des ordres au nœud. Ces ordres permettront notamment d'adapter les fréquences auxquelles les mesures sont effectuées et/ou envoyées selon les événements détectés ou prédis.

### **Adaptation du rythme d'échantillonnage**

Modification du *firmware* du noeud pour permettre la modification à la volée du rythme des mesures des capteurs ainsi que de l'envoi des données.

### **Modèles de données locaux et globaux**

Ajout de modèles de données dans l'agrégateur et le collecteur Fog pour comparer l'évolution des données mesurées par rapport aux prédictions des modèles. Le modèle dans un agrégateur se base sur les données de ses capteurs en temps réel, alors que le modèle du collecteur utilise toutes les informations, une fois qu'elles sont reçues. Permet d'adapter automatiquement le rythme d'échantillonnage pour observer en détail les aberrations, ou encore envoyer des alertes.

### **Visualisation avancée**

Utilisation de Grafana pour afficher les données mesurées de façon pertinente.

### **Création de scripts pour déployer Mycélium**

Simplification du processus de déploiement et de configuration de Mycélium, de la configuration de la *gateway* et de la création du cluster Kubernetes à l'aide de Terraform et Ansible (Infrastructure as Code).

### **Intégration continue de Mycélium**

Utilisation du simulateur d'appareil de ChirpStack pour tester la collection des données par l'ensemble du système, ainsi que les réactions des modèles globaux face aux données reçues.

### **Déploiement sur la Croix-Verte**

Démonstration du système en déployant au moins un boîtier dans la Croix-Verte. Utilisation des capteurs internes et du pluviomètre pour analyser la corrélation entre humidité, pression et intempéries, dans une zone à proximité d'un courant d'eau.

### **Analyse avancée des données**

Utilisation de l'apprentissage machine pour une analyse avancée des données, en utilisant des services cloud pour la puissance de calcul.

## **6.2 Planification**

Nous avons créé une planification initiale (Figure 22), la durée des tâches reste approximative.

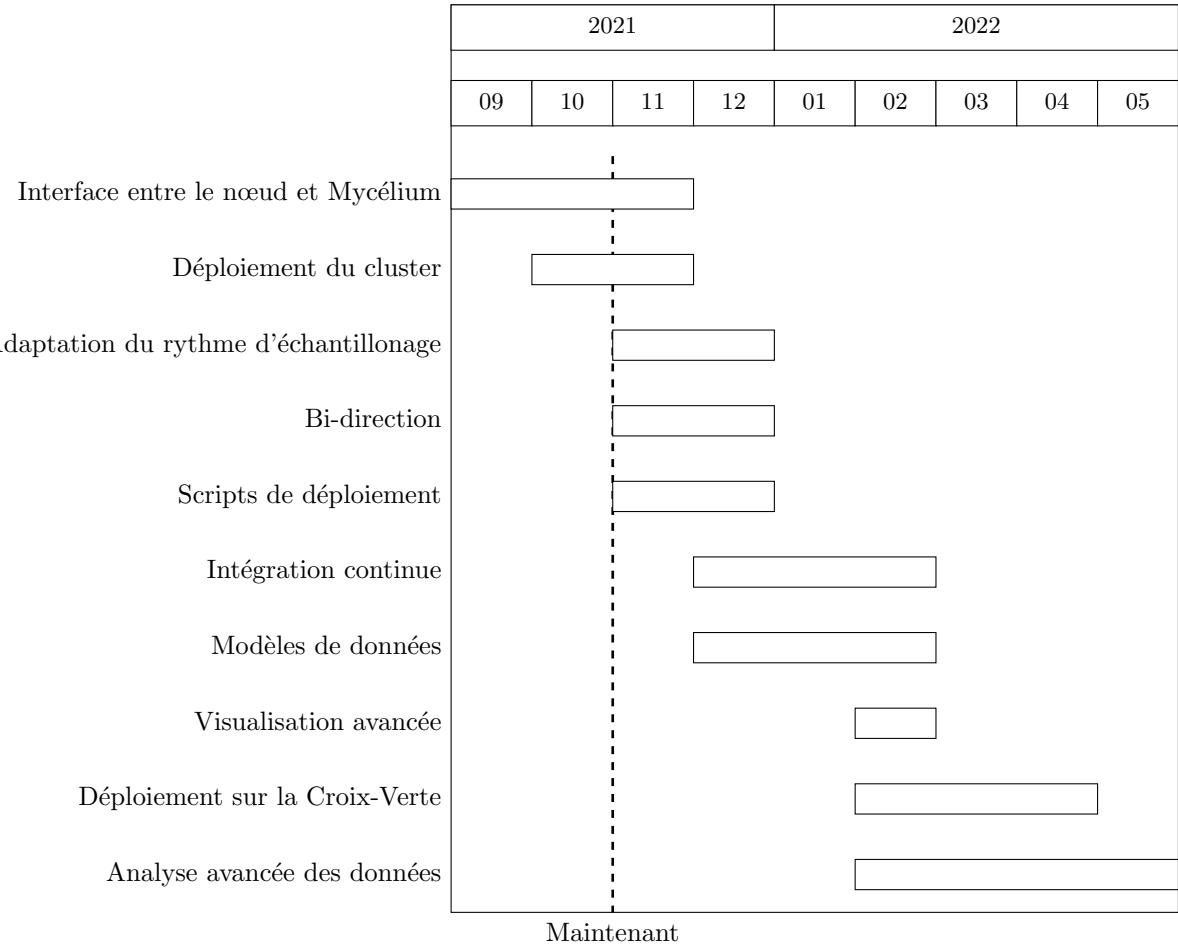


Figure 22: Planification initiale des tâches

## 7 Conclusion

Pour conclure, le projet Mycélium a pour objectif d'implémenter un réseau de capteurs intelligents, capables de collecter des données en s'adaptant selon la situation. Ce réseau sera ensuite déployé sur la zone de la Croix-Verte sur le campus de Rennes 1. Les données récoltées vont pouvoir servir pour la recherche et pour le suivi de l'évolution de cette zone en renaturation.

Pour cela, du matériel nous a été proposé, tels que le noeud ConnecSenS, la *gateway* LoRaWAN, et un cluster de Raspberry Pi. En effet, du matériel similaire a déjà été utilisé dans d'autres réseaux de suivi environnemental, comme pour le projet de Valence.

De plus, des contraintes logicielles nous ont été données, telles que Kubernetes, Docker, ChirpStack et InfluxDB. Cela permet de nous guider dans le traitement, l'utilisation et le stockage des données reçues.

L'objectif est qu'à terme, on puisse créer un système autonome qui effectue un apprentissage à partir des données reçues.

## References

- [1] Le Gall, Alain-Hervé; Longuevergne, Laurent. Avec SMARTOBS, le campus de Beaulieu va devenir un espace expérimental in situ alliant nouvelles technologies et sciences de l'environnement: <https://osur.univ-rennes1.fr/news/avec-smartobs-le-campus-de-beaulieu-va-devenir-un-espace-experimental-in-situ.html>
- [2] Page Wikipédia sur le Mycélium : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Myc%C3%A9lium>
- [3] Site officiel de LivingFog: <http://www.fogguru.eu/livingfog/>
- [4] LivingFog documentation: <http://www.fogguru.eu/wp-content/uploads/2021/04/The-LivingFog-Platform.pdf>
- [5] Site officiel du projet FogGuru <http://www.fogguru.eu/>
- [6] Chaîne Youtube de FogGuru, et plus particulièrement l'une de leurs vidéos sur la Marina de Valence : <https://www.youtube.com/watch?v=wF6jofzNb4w>
- [7] Hamidreza Arkian, Dimitrios Giouroukis, Paulo Souza Junior, Guillaume Pierre. Potable Water Management with integrated Fog computing and LoRaWAN technologies. IEEE IoT Newsletter, IEEE, 2020, pp.1-3. fhal-02513467f
- [8] Site officiel du projet ConnecSenS : <http://www.lpc-clermont.in2p3.fr/spip.php?article583>
- [9] Laboratoire de Physique de Clermont, projet ConnecSenS 2 : <http://clrwww.in2p3.fr/spip.php?article646>
- [10] L'Observatoire national de la Biodiversité (ONB): <https://naturefrance.fr/observatoire-national-de-la-biodiversite>
- [11] Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique – ONERC: <https://www.ecologie.gouv.fr/observatoire-national-sur-effets-du-rechauffement-climatique-onerc>
- [12] Observatoire national de la mer et du littoral (ONML): <https://notre-environnement.gouv.fr/rapport-sur-l-etat-de-l-environnement/regions/article/observatoire-national-de-la-mer-et-du-littoral-onml>
- [13] Site officiel de COM'IN: <https://comin-city.com/en/home/>
- [14] Site officiel de SenseCAP, proposant diverses solutions se basant sur des capteurs environnementaux : <https://solution.seeedstudio.com/>
- [15] advizeo, Réseau LoRa : quelles alternatives en zones non couvertes ? 30 March 2020
- [16] Zahmatkesh, Hadi; Al-Turjman, Fadi (2020). Fog computing for sustainable smart cities in the IoT era: Caching techniques and enabling technologies - an overview. Sustainable Cities and Society, 59(), 102139–.doi:10.1016/j.scs.2020.102139
- [17] Stojmenovic, Ivan; Wen, Sheng (2014). Annals of Computer Science and Information Systems [IEEE 2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems - (2014.09.7-2014.09.10)] Proceedings of the 2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems - The Fog Computing Paradigm: Scenarios and Security Issues. , 2(), 1–8. doi:10.15439/2014f503
- [18] OpenFog Consortium Architecture Working Group. 2017. OpenFog Architecture Overview White Paper. (2017).
- [19] site officiel : <https://www.picocluster.com/>
- [20] Rodrigues, Victoria; Cunha, Márcio; Silva, Cecília; Silva, Ronaldo (2020). XVIII CEEL – Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica. Estabelecendo um paralelo teórico entre containers e webassembly. doi: 10.14295/2596-2221.xviiceel.2020.598

- [21] Docker documentation Docker overview: <https://docs.docker.com/get-started/overview/>
- [22] Kubernetes Documentation What is Kubernetes?: <https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes/>
- [23] Site officiel du ChirpStack open-source LoRaWAN Network Server: <https://www.chirpstack.io/>
- [24] Site officiel d'InfluxDB <https://docs.influxdata.com/>