

EI4 FISE : Projet Système Embarqué IoT

L'objectif de ce projet est de développer un dispositif complet qui permet de mesurer plusieurs grandeurs physiques et de les rendre disponible à travers une Interface Homme Machine (IHM) sur une application internet. Ce projet doit permettre de récupérer et mettre en forme des données mesurées par des capteurs et ensuite les envoyer sur un serveur (Cloud) grâce à une technologie longue portée et basse consommation (LPWAN).

Sujets des projets 2025-2026 :

- **Open Ruche : Monitoring d'une ruche d'abeille**
- **Smart Farming : Monitoring de plantes dans la serre géodésique**

1. Smart Farming :

Projet : Monitoring de plantes dans la serre géodésique

1.1 Description générale du projet

Ce projet consiste à développer un **système connecté** permettant de **surveiller les paramètres environnementaux** essentiels dans une **serre géodésique** afin d'optimiser les conditions de croissance des plantes. La serre géodésique, par sa forme unique, offre des avantages en termes de répartition de la lumière, de gestion thermique et de résistance structurelle, mais pour maximiser son efficacité, il est nécessaire de suivre en temps réel les **conditions du sol** et de **l'atmosphère intérieure**.

Le système doit permettre de collecter des données sur des paramètres tels que :

- La **température**
- L'**humidité** de l'air
- Le **taux de CO2**
- L'**humidité du sol**
- L'**intensité lumineuse**
- La **pression atmosphérique**

L'ensemble des données collectées doit être envoyé à une **interface utilisateur** permettant de suivre l'évolution des conditions, d'identifier d'éventuels problèmes, et d'optimiser les pratiques agricoles.

Objectif principal du projet

L'objectif de ce projet est de :

- **Créer un système de monitoring autonome** capable de suivre les paramètres environnementaux dans une serre géodésique.
- **Détecter les anomalies** ou écarts par rapport aux seuils recommandés pour les cultures spécifiques.
- **Alerter en temps réel** les utilisateurs en cas de problème.

1.2. Spécifications techniques du projet

Capteurs à intégrer dans le système IoT

Le projet nécessite l'intégration de différents capteurs pour mesurer les variables environnementales importantes :

Paramètre	Type de capteur	Plage de mesure	Précision
Température	Capteur de température	-40°C à +80°C	± 0,5°C
Humidité de l'air	Capteur d'humidité	0 % à 100 % HR	± 2 %
Humidité du sol	Capteur d'humidité du sol	0 % à 100 %	± 5 %
CO2	Capteur de CO2	0 à 5000 ppm	± 50 ppm
Intensité lumineuse	Capteur de lumière (Lux)	0 à 65 535 lux	± 1 lux
Pression atmosphérique	Capteur de pression	300 hPa à 1100 hPa	± 1 hPa

Liste et paramètre des mesures restent à définir avec les gestionnaires de la serre géodésique :

Anna Créton : anna.creton@Sorbonne-universite.fr

Emmanuel Gendreau : emmanuel.gendreau@sorbonne-universite.fr

Patrice Meimoun : patrice.meimoun@Sorbonne-universite.fr

Autonomie du système

- Batterie LiPo rechargeable
- Panneaux solaires comme source d'énergie

Communication

- Transmission des informations via réseau LPWAN (LoRaWAN)
- Envoi des données toutes les 10 minutes (valeur éventuellement paramétrable)

Interface matérielle

- Bouton on/off
- LED ou buzzer activé quelques secondes au démarrage (signal lumineux ou sonore)

Visualisation des données

- Affichage graphique sur une application en ligne : Ubidots STEM, Datacake, Arduino Cloud, etc...
- Ou sur un serveur utilisant InfluxDB, Grafana ou Node-RED

Niveau d'exigence forte :

- Détection précoce de stress hydrique par analyse d'images (Edge, Vision, IA embarqué). Permettant de détecter le flétrissement, changement de couleur des feuilles, pointes brûlées, retard de croissance.

- Humidité du sol à 10 cm de profondeur (précision 1 %, résolution 0,1 %, intervalle entre 0 et 100 %). La calibration doit être faite en laboratoire (pas de calibration au démarrage) .
- Température du sol à 10 cm de profondeur (Précision 0,5 °C, résolution 0,1 °C, intervalle entre -20 °C et 85 °C).
- État de la batterie exprimée en pourcentage (Précision 1 %, résolution 1 %)
- Capteurs d'humidité dans la serre (Précision 2%, résolution 0,1 %, intervalle entre 0 et 100%)
- Capteurs de température dans la serre (Précision 0,5 °C, résolution 0,1 °C, intervalle entre -20 °C et 85 °C).
- Luminosité exprimée en lux.

Niveau d'exigence moyen :

- Humidité du sol sur 3 niveaux de profondeur 10 cm, 20 cm et 30 cm (précision 1 %, résolution 0,1 %, intervalle entre 0 et 100 %). La calibration doit être faite en laboratoire (pas de calibration au démarrage) .
- Taux de CO₂ dans la serre exprimé en ppm (0 à 5000 ppm, précision de 50 ppm)
- Luminosité exprimée en lux dans les différents spectres de couleurs
- Changer les paramètres du système depuis l'application web par des downlinks :
 - Changer la fréquence d'envoi (1 minutes à 60 minutes par pas de 1 minute)
 - Calibration des capteurs (températures, humidité, etc..)

Niveau d'exigence faible :

- Plusieurs capteurs d'humidité pour mesurer plusieurs zones (communication avec ou sans fil).
- Température extérieure de la serre, (précision 0,5 °C, résolution 0,1 °C)
- Pression atmosphérique exprimé en hPa (300 hPa à 1100 hPa, résolution de 1 hPa)
- Humidité à l'extérieur de la serre. (Précision 2%, résolution 1 %)

Analyse de la variation de l'humidité par Edge computing (IA embarqué)

- Phase d'arrosage en cours
- Anomalie du capteur
- Nouveau calibrage nécessaire

Alertes :

- Humidité
- Température
- Batterie

2. Open Ruche: Monitoring d'une ruche d'abeille

2.1 Problématique

Le syndrome d'effondrement des colonies d'abeilles (en anglais, « Colony Collapse Disorder » : CCD) est un phénomène de mortalité anormale et récurrente des colonies d'abeilles domestiques notamment en France et dans le reste de l'Europe, depuis les années 90.

Le phénomène prend la forme de ruches subitement vidées de presque toutes leurs abeilles, généralement à la sortie de l'hiver, plus rarement en pleine saison de butinage. Aux États-Unis, près de 25 % du cheptel a disparu au cours de l'hiver 2006-2007. De nombreux pays européens sont touchés depuis le début des années 2000. Les pertes peuvent atteindre, localement, jusqu'à 90 % des colonies. Les taux de mortalité hivernale des ruches d'abeilles domestiques, mesurés depuis

l'apparition du phénomène sont quasi systématiquement supérieurs au taux d'environ 10 % observé auparavant.

Ce syndrome est jugé très préoccupant par les apiculteurs, mais aussi par de nombreux écologues, économistes et experts en raison de l'importance économique et écologique de l'abeille en tant que pollinisatrice : les pommiers, mais aussi les amandiers, les avocatiers, les cerisiers, les oignons, les concombres, le coton, l'arachide, le melon, etc. dépendent à 90 %, voire à 100 % des abeilles pour leur pollinisation. Selon l'INRA, la survie de 80 % des plantes à fleurs et la production de 35 % de la nourriture des hommes dépendent directement des pollinisateurs.

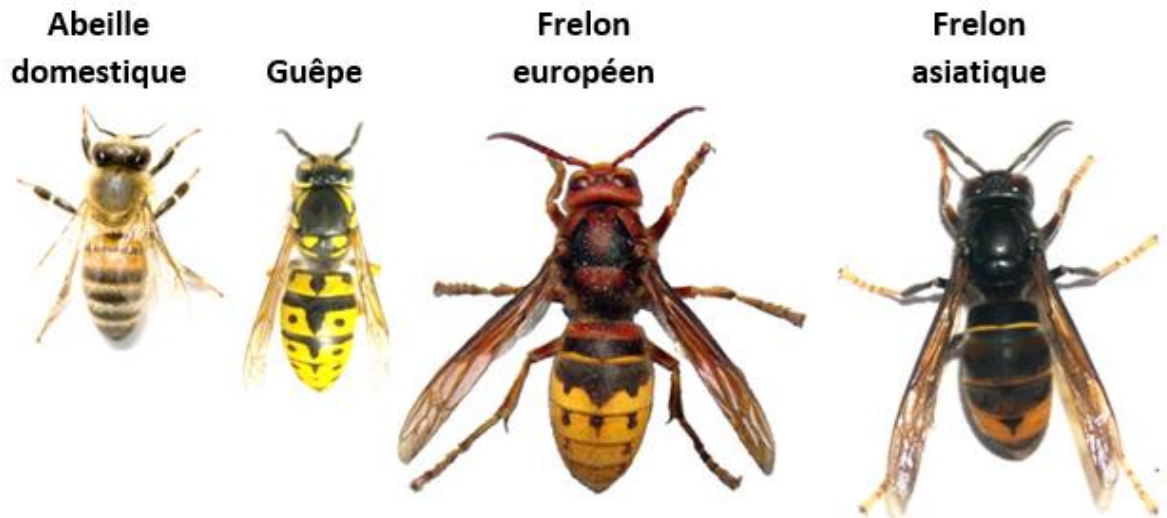
Aujourd'hui les abeilles sont menacées par les nouveaux prédateurs (varroa et frelon asiatique), les insecticides, le vol des ruches et les changements climatiques.

Le varroa a été signalé pour la première fois en France en 1982 et en Belgique en 1984. Cet acarien, originaire d'Asie orientale, parasite les abeilles et fait partie des causes favorisant le syndrome d'effondrement des colonies d'abeilles domestiques.



Le Frelon à pattes jaunes, *Vespa velutina* (souvent appelé Frelon asiatique), est un frelon invasif d'origine asiatique dont la présence en France a été signalée pour la première fois dans le Lot-et-Garonne en 2006.

Pour capturer les abeilles domestiques, il se place en vol stationnaire à l'entrée d'une ruche ou patrouille au-dessus des fleurs fréquentées par les abeilles. Sa taille plus importante et ses grandes pattes lui permettent de saisir une abeille et de l'emporter avec lui. Il ne gardera de l'abeille que le thorax et en fera une boulette qu'il emportera pour nourrir les larves de sa colonie. C'est un nouveau facteur d'affaiblissement des ruches.



Les néonicotinoïdes, introduit dans les années 90, sont une classe d'insecticides agissant sur le système nerveux central des insectes. Ces substances sont utilisées principalement en agriculture pour la protection des plantes (produits phytosanitaires) et par les particuliers ou les entreprises pour lutter contre les insectes nuisibles à la santé humaine et animale (produits biocides).

Leur faible biodégradabilité, leur effet toxique persistant et leur diffusion dans la nature (migration dans le sol et les nappes phréatiques) commencent au bout de vingt ans à poser d'importants problèmes d'atteinte à des espèces vivantes qui n'étaient pas ciblées : insectes (abeilles, papillons...), prédateurs d'insectes (oiseaux, souris, taupes, mulots, chauve-souris) et agents fertilisants des sols (vers de terre).

De nombreux apiculteurs mettent en cause ces molécules pour expliquer le syndrome d'effondrement des colonies d'abeilles. La Commission européenne a suspendu 3 néonicotinoïdes en 2013 sur la base des travaux de l'AESA (Autorité Européenne de Sécurité des Aliments). Plusieurs études scientifiques ont mis en évidence la toxicité de ces insecticides sur les abeilles et bourdons.

Pour faire face à ses nouvelles menaces, l'apiculteur doit suivre leur activité plus finement. La solution : l'apiculture de précision grâce au suivi à distance des ruches.

2.2 Objectif

L'objectif de ce projet est donc de réaliser un système connecté munis de capteurs qui permettent de suivre à distance l'évolution d'une colonie d'abeille. Les données doivent être accessible sous forme graphique à partir d'une interface web sur ordinateur ou téléphone portable. Le système doit également pouvoir envoyer des alertes (SMS ou Mail) lorsque des comportements anormaux sont détectés.

Le boîtier et la ruche doivent être équipés de capteurs destinés à analyser et à fournir des données sur l'état de santé des abeilles et leurs productivités.

2.3 Spécifications techniques :

Autonomie du système

- Batterie LiPo rechargeable

- Panneaux solaires comme source d'énergie

Communication

- Transmission des informations via réseau LPWAN (LoRaWAN)
- Envoi des données toutes les 10 minutes (valeur éventuellement paramétrable)

Interface matérielle

- Bouton on/off
- LED ou buzzer activé quelques secondes au démarrage (signal lumineux ou sonore)

Visualisation des données

- Affichage des données sous forme graphique sur une application internet : Datacake pendant la phase de développement et BEEP Monitor (app.beep.nl) pour le rendu final du projet.

2.3 Cahier des charges – Synthèse des exigences

Niveau d'exigence fort

- **Poids de la ruche** : précision 100 g, résolution 10 g, plage 0–120 kg.
Tare obligatoire en laboratoire.
- **Température intérieure** : précision 0,5 °C ; résolution 0,1 °C ; plage –10 °C à 85 °C.
Sonde avec câble de 1,5 m.
- **Humidité intérieure** : précision 2 %, résolution 0,1 %, plage 0–100 %.
- **État de la batterie** : affichage en %, précision 1 %, résolution 1 %.
- **Détection visuelle embarquée (IA – Vision – Edge Computing)** :
Le système doit détecter et classer en temps réel les éléments situés devant la ruche (planche d'envol).
Modèle embarqué capable d'identifier au minimum 3 classes :
 1. Abeilles isolées
 2. Grappe d'abeilles
 3. Frelons asiatiquesFonctions associées :
 - comptage automatique des frelons asiatiques,
 - génération d'alertes (seuil configurable).
- **Analyse acoustique par Edge Computing (IA embarquée)** :
Classification locale de quatre classes sonores :
 1. Colonie avec reine
 2. Colonie sans reine
 3. Colonie vide / absence d'abeilles
 4. Présence de frelons asiatiquesTraitement entièrement embarqué pour réduire les transmissions et générer des alertes en temps réel.

Niveau d'exigence moyen

- **Température intérieure** : jusqu'à 2 capteurs supplémentaires.
- **Luminosité extérieure** : exprimée en lux.

Niveau d'exigence faible

- **Température extérieure** : précision 0,5 °C, résolution 0,1 °C.
- **Humidité extérieure** : précision 2 %, résolution 1 %.
- **Téléconfiguration via downlinks** depuis l'application web :
 - modification de la fréquence d'envoi (1–60 min, pas 1 min),
 - calibration distante des capteurs (poids, température, humidité...).

Alertes à générer

- **Essaimage**
- **Présence de frelon asiatique** (analyse acoustique et/ou visuelle)
- **Absence de reine** (analyse acoustique)
- **Chute ou vol de la ruche**

3. Éléments de cadrage :

Pour ces 2 projets, le système devra être autonome énergétiquement à l'aide d'une batterie et d'une petite cellule solaire.

Il faudra dans un premier temps faire un prototype sur carte de prototypage.

Les données capteurs devront être reporté sur une plateforme de visualisation des données avec un tableau de bord qui permet de voir évoluer les grandeurs dans le temps et éventuellement générer des alarmes (mail ou SMS). Pendant le développement, on vous conseille d'utiliser la plateforme Ubidots STEM ou DataCake qui est simple d'utilisation, gratuite dans le cadre de l'éducation et propose beaucoup de solution pour faire des tableaux de bords.

Pour le rendu final du projet Open Ruche, il faudra utiliser la plateforme BEEP Monitor (beep.app.nl) qui doit rassembler sur un même compte les données de tous les prototypes de la classe (login : or2021@yopmail.com, mdp : Sigfox21#)

Ensuite il faudra réaliser un circuit électronique (PCB) avec la graveuse et un boîtier pour avoir un produit robuste qui puisse être utilisé en extérieur.

Plusieurs soutenances intermédiaires seront organisées afin de vérifier la fonctionnalité et les caractéristiques de votre prototype.

Composition des groupes :

- 29 élèves = 5 groupes de 4 élèves et 3 groupes de 3 élèves
- Si possible 1 fille par groupe

Planning des revues de projet :

17/02 : 1^{ère} revue de projet

Livrables :

- Charte d'équipe
- Tableau de bord
- Gestion des risques
- Outils de gestion de projet utilisé
- Budget prévisionnel
- Bibliographie,
- Liste du matériel nécessaire,

- Schéma fonctionnel de la solution

Critères d'évaluation :

- Organisation de l'équipe projet formalisée (rôles et responsabilités, modalités de collaboration et de communication)
- Pertinence de l'exploitation de l'outil de gestion de projet (planification du projet et des sprints)
- Pertinence de l'analyse de risque et des options identifiées pour les traiter
- Qualité du tableau de bord et pertinence des indicateurs (dont burndown chart)
- Budget prévisionnel établi
- Liste du matériel à commander
- Qualité du schéma de la solution
- Qualité de la bibliographie
- Qualité du diaporama
- Qualité de la présentation

10/03 : 2^{ème} revue de projet

- Démo du prototype fonctionnant sur carte de prototypage ou PCB + visualisation des données sur plateforme Cloud (beep.nl, Ubidots ou solution équivalente)
- MAJ des outils de gestion de projet : sprint planning, gestion des risques, tableau de bord
- Rétrospective (constats sur le fonctionnement de l'équipe et apprentissages / actions à mettre en place)

Critères d'évaluations :

- Qualité de la démonstration,
- Précision des données mesurées par les capteurs,
- Communication des données par LPWAN,
- Qualité de l'IHM sur la plateforme Cloud,
- Schémas de câblage,
- Qualité de la démonstration,
- Mesure de la consommation électrique du système
- Evaluation de l'autonomie du système et amélioration envisageable
- Qualité de l'analyse du fonctionnement de l'équipe et pertinence des actions mises en œuvre
- Pertinence du sprint planning
- Qualité du tableau de bord et pertinence de l'analyse des indicateurs
- Qualité du diaporama
- Qualité de la présentation

30/03 : 3^{ème} revue de projet

- Démo du prototype sur PCB dans un boîtier étanche
- MAJ des outils de gestion de projet : sprint planning, gestion des risques, tableau de bord
- Rétrospective (constats sur le fonctionnement de l'équipe et apprentissages / actions à mettre en place)

Critères d'évaluations :

- Qualité du PCB,
- Qualité du prototype (robustesse, facteur de forme, esthétique),
- Mesure de la consommation électrique du prototype final,
- Optimisation réalisée sur la consommation électrique,
- Estimation de l'autonomie du système, explication de la méthode utilisée.
- Précision des données mesurées par les capteurs sur PCB,
- Affichage des données sur la plateforme Cloud (Ubidots et BEEP)

- Communication des données par LPWAN,
- Qualité de l'IHM sur la plateforme Cloud,
- Schémas électronique,
- Qualité de la démonstration,
- Qualité de la présentation.
- Qualité du diaporama
- Qualité de l'analyse du fonctionnement de l'équipe et pertinence des actions mises en œuvre
- Pertinence du sprint planning

Mardi 7 avril : installation des prototypes à St-Cyr l'école**14/04 : Soutenance finale de projet**

- Prototype final, résultat des tests sur le terrain
- Critères d'évaluations : validité des tests, méthode de test, précision des mesures capteurs, mesure de la consommation, optimisation de la consommation, qualité du prototype final, qualité de la démonstration, qualité du retour d'expérience

Présentation :

- Présentation des résultats finaux
- Démonstration
- Retour d'expérience

Rendu

- Guide utilisateur
- Document de test
- Rapport de bilan du projet (REX)

Modalités d'évaluation :

15 % pour la première revue de projet

15 % pour la deuxième revue de projet

15 % pour la troisième revue de projet

15 % pour la soutenance et démonstration finale.

30 % pour la qualité du prototype final (robustesse, fiabilité, facteur de forme, fonctionnalités)

10 % pour la qualité des livrables qui devront être fournis sur Github.