



CHALLENGE ELECTRO- APICOLE 2020-2021

esiea
INGÉNIEUR·E·S D'UN NUMÉRIQUE UTILE

Projet RuchESIEA

Acquisition de données pour
aider à la conduite d'une ruche

Manon FOURNIER
Gauthier HEISS



SYNDICAT NATIONAL D'APICULTURE

Table des matières

Etat de l'art	4
Introduction	4
Collecte de la température et de l'humidité de la ruche	4
Pesée de la ruche	4
Antivol	5
Alimentation	5
Analyse des données	5
Communication	5
Tableau récapitulatif de l'état de l'art des solutions commerciales	6
Bibliographie	7
Notre projet	8
Notre équipe	8
Chronologie	8
Choix des fonctionnalités et des caractéristiques techniques	9
Choix des composants principaux	9
Comment ça marche ?	10
Solution finale	12
Mise en œuvre de notre solution	15
Introduction	15
Éléments à acheter	15
Montage de l'électronique	17
Préparation du logiciel intégré	20
Guide d'utilisation	22
Problèmes courants – guide de réparation	23
Conclusion	24
Nos projets pour l'avenir	24
Nous contacter	24
Remerciements	24

Etat de l'art

Introduction

Pour la réalisation de cet état de l'art, nous avons sélectionné les critères qui nous semblaient les plus importants, en partie grâce aux critères de notation du jury du concours mais également en questionnant des apiculteurs. Voici la liste des critères choisis : prix d'achat, prix de l'abonnement, possibilité de faire des relevés de température, d'humidité, du poids de la ruche, fonctionnalité d'antivol, niveaux d'analyse effectuées par le logiciel, type d'alimentation et autonomie et enfin la technologie utilisée pour communiquer. Nous avons rassemblé toutes ces données dans un tableau que vous pouvez consulter à la page 6. Nous avons étudié au total 12 solutions qui nous semblaient variées.

Prix d'achat et d'abonnement

Notre première constatation est simple : le prix des solutions de supervision de ruche déjà existantes sur le marché est très élevé. Le prix moyen des 12 solutions étudiées est de 530€ par unité. Les deux solutions se démarquant sont *B-KEEP* de Hostabee et *BuzzBox* de OSBH mais celles-ci ont des fonctionnalités assez limitées. Pour les majorités des produits, il faut ajouter un abonnement allant jusqu'à 72€ par an, comme pour la solution *Label Abeille* par exemple. Ces prix très élevés pour des produits qui ne sont parfois que gadget les rendent peu attractifs pour des apiculteurs professionnels. Les apiculteurs que nous avons interrogés avaient de forts doutes quant à la rentabilité de ces produits.

Collecte de la température et de l'humidité de la ruche

D'après de nombreux chercheurs^{1,3}, la température et le niveau d'humidité est un élément clé qu'il est important de mesurer pour s'assurer de la bonne santé d'une ruche. Cependant, peu de solutions le proposent aujourd'hui. Sur les 12 solutions que nous avons étudiées, seules 6 mesurent la température intérieure, dont 2 où il s'agit d'une option payante. Seulement 4 solutions proposent de mesurer l'humidité, dont une où il s'agit d'une option payante. Nous sommes assez étonnés que si peu de produit intègrent la mesure de température et d'humidité car elles peuvent s'implémenter très facilement à l'aide d'un large choix sur le marché de capteurs à faible coût et mesurer des indicateurs importants pour la conduite de la ruche.

Pesée de la ruche

La pesée de la ruche est une fonctionnalité que presque toutes les solutions étudiées possèdent. Pour certaines, c'est même la fonctionnalité phare du produit. Le suivi du poids est très pratique pour suivre en temps réel la production de miel et détecter un essaimage quand il a eu lieu. Cependant, d'après un apiculteur que nous avons interrogé, le suivi du poids n'est pas quelque chose qu'il utiliserait car il n'a aucun moyen d'agir sur la production de miel directement.

Antivol

Certaines sociétés proposent en option un antivol permettant pour certains de géolocaliser la ruche en temps réel si elle est volée. Mais pour d'autres il ne s'agit que d'une fonction gadget qui alerte l'apiculteur quand le poids mesuré par la balance du produit devient subitement très faible. Dans cette implémentation d'antivol, son utilisation concrète semble dénuée d'intérêt. Nous n'avons pas souhaité intégrer ce genre de solution à notre projet car nous pensons que c'est hors catégorie pour le challenge.

Alimentation

Toutes les solutions étudiées sont alimentées par des piles ou batteries plus ou moins remplaçable facilement. L'autonomie d'une charge varie entre 3 mois et 10 ans, cette différence est souvent liée à la fréquence d'envoi des données collectées. Par exemple la solution *XLOG Bee* de Micro El ne fait qu'un seul envoi de données par jour, ce qui explique son autonomie si élevée de 10 ans. Seulement 4 solutions sur les 12 étudiées proposent d'ajouter un panneau solaire pour ne jamais à avoir à changer de batterie. Ce choix nous semble là encore assez étrange, tant le prix des petits panneaux photovoltaïque a baissé ces dernières années.

Analyse des données

A notre grande surprise, très peu de solutions proposent une analyse poussée des données récoltées. Dans la plupart des cas, les entreprises ne mettent simplement qu'un panneau de contrôle en ligne avec les graphiques des données récoltées. C'est à l'utilisateur de déduire l'état de santé de ses ruches au vu des graphiques.












Aujourd'hui, les technologies d'intelligence artificielle sont présentes partout dans nos vies. De nombreux chercheurs et universitaires se sont penchés sur l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage automatique sur des ruches d'abeilles avec des résultats très prometteurs^{2,4}. Grâce à l'analyse des sons émis par les abeilles, il est possible de connaître l'état de santé des ruches. Mais aujourd'hui, aucun produit industriel n'a implémenté les recherches effectuées dans le domaine.

Seul le projet OSBH « Open Source BeeHive » propose une implémentation libre d'un de ces algorithmes. Leur produit *BuzzBox Mini* est en phase de levée de fonds via un financement participatif à l'heure où nous rédigeons cet état de l'art.

Communication

Les solutions que nous avons étudiées utilisent des protocoles de communication variés. Deux grandes tendances se dégagent : l'utilisation de protocoles dédiés à la communication entre machines comme Sigfox ou LoRA et l'utilisation du protocole GSM. Seules deux solutions ont opté pour l'utilisation du Wi-Fi. Sigfox a l'avantage d'avoir une grande couverture réseau partout dans le monde mais implique un abonnement obligatoire et une faible fréquence d'envois d'informations aux serveurs.

Tableau récapitulatif de l'état de l'art des solutions commerciales

Image	Entreprise	Produit	Prix (achat)	Prix (abonnement)	Température	Humidité	Poids	Antivol	Analyse des données	Alimentation	Autonomie	Communication
	hostabee	B-KEEP	96,00 €	36€/an	Intérieur	Intérieur	Non	Non	Non	Piles	2 ans	Sigfox ou LoRA
	Label Abeille	La ruche connectée	768,00 €	6€/mois	Extérieur	Extérieur	Oui	Oui	Basique	Batterie Panneaux solaires en option	1 an	Sigfox ou GSM
	BeeZbee	BeeZbee Pro	600,00 €	15€/an	Extérieur	Extérieur	Oui	En option	Non	Piles	3 ans	LoRA
	ConnectedBeekeeping	BS4R	399,00 €	24€/an	En option	En option	Oui	Non	Non	Batterie Panneaux solaires	Illimité	Sigfox ou Wi-Fi
	BeeGuard	Balance + station météo + antivol	688,00 €	36€/an	Extérieur	Extérieur	Oui	Oui	Basique	Piles	2 ans	GSM
	Optibee	Optibee	598,80 €	40,80€/an	Non	Non	Oui	Oui	Basique	Batterie	2 ans	Sigfox
	Micro EI	XLOG bee	950,00 €	Carte SIM à prévoir	Extérieur Intérieur (en option)	Extérieur	Oui	En option	Non	Batterie	10 ans	GSM
	Bee2Bee	Bee2Bee	175,00 €	50,00€/an	Extérieur	Extérieur	Oui	Oui	Non	Piles	1 an	Sigfox
	HelpBees	HelpBees	429,00 €	29,99€/an	Intérieur Extérieur	Extérieur	Oui	En option	Basique	Batterie Panneaux solaires	Illimité	Sigfox
	OSBH	BuzzBox Mini	130,00 €	Aucun	Intérieur	Intérieur	Non	Oui	IA	Batterie Panneaux solaires	Illimité	Wi-Fi
	3bee	Hive-Tech Pro V.2	618,00 €	Aucun	Intérieur Extérieur	Intérieur Extérieur	Oui	Oui	Basique	Batterie Panneaux solaires	Illimité	GSM

Bibliographie

Sites internet des produits étudiés

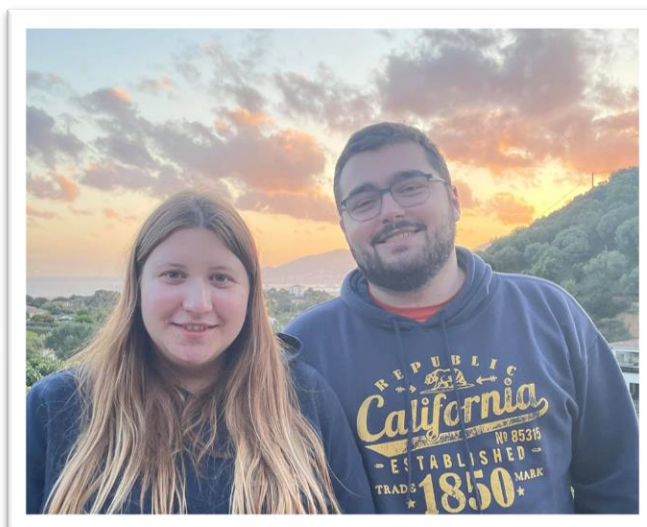
- HostaBee - <https://hostabee.com>
- Label Abeille - <https://www.label-abeille.org>
- BeeZbee - <https://www.beezbee.fr>
- Connected Beekeeping - <https://www.connectedbeekeeping.fr>
- BeeGuard - <https://www.beeguard.fr>
- Optibee - <https://www.optibee.fr>
- Micro EL - <http://www.microel.hr>
- Bee2Beep - <https://bee2beep.com>
- HelpBees - <https://ruche-connectee.com>
- OSBH - <https://www.osbeehives.com>
- 3bee - <https://www.3bee.com>

Articles scientifiques

- ¹Internal Temperatures in a Honey Bee Hive, Millers Homestead LLC, 2016. Consultable sur <http://www.millershomestead.com/NCBroodHeatingCooling.pdf>
- ²Monitoring of swarming sounds in bee hives for early detection of the swarming period, divers auteurs, 2008. Consultable sur https://www.researchgate.net/publication/229224190_Monitoring_of_swarming_sounds_in_bee_hives_for_early_detection_of_the_swarming_period
- ³A Smart Sensor-Based Measurement System for Advanced Bee Hive Monitoring, divers auteurs - Università Politecnica delle Marche, 2020. Consultable sur https://www.researchgate.net/publication/341304426_A_Smart_Sensor-Based_Measurement_System_for_Advanced_Bee_Hive_Monitoring
- ⁴On the Importance of the Sound Emitted by Honey Bee Hives, divers auteurs - Università Politecnica delle Marche, 2020. Consultable sur https://www.researchgate.net/publication/346499008_On_the_Importance_of_the_Sound_Emitted_by_Honey_Bee_Hives

Notre projet

Notre équipe



Nous sommes Manon Fournier et Gauthier Heiss, deux étudiants en apprentissage à l'ESIEA. Manon est en 4^{ème} année et Gauthier en 5^{ème} année. Nous nous sommes tous les deux spécialisés en cybersécurité. Manon est en alternance chez [Quarkslab](#) et Gauthier chez [Orange Cyberdefense](#). Passionnés d'informatique, d'électronique mais aussi d'apiculture, nous sommes ravis de vous présenter notre projet pour ce Challenge Electro-Apicole.

Chronologie

Notre participation à ce challenge ne s'est pas faite dans le cadre d'un projet scolaire mais dans le cadre d'un projet sur notre temps libre. Notre statut d'apprentis ne nous laissant pas énormément de temps, le développement du projet a été assez irrégulier au cours de l'année. Les ruches de notre école ont été installées il y a moins d'un an, nous sommes les premiers à réaliser un projet dessus.

Fin 2020, nous avons réalisé notre état de l'art. Il nous semblait important de le faire avant toute chose pour se rendre compte des produits déjà proposés sur le marché et du statut actuel de la recherche universitaire. C'est suite à cet état de l'art que nous avons choisi les fonctionnalités que nous souhaitons implémenter. Nous avons acheté en conséquence les composants électroniques nécessaires.

De janvier à avril 2021, nous avons été assez inactifs sur le projet faute de temps. Durant cette période, nous avons seulement expérimenté l'utilisation de certains composants que nous avons commandés. C'est en avril 2021 que nous avons entrepris le développement de la partie électronique et du logiciel intégré. Fin avril, nous avons installé nos 10 premiers prototypes sur différentes ruches à Ivry-sur-Seine.

Début mai, nous avons développé le site internet permettant de collecter les données des ruches. Nous avons également installé 10 autres prototypes. C'est ensuite mi-mai que nous avons rédigé ce rapport.

Choix des fonctionnalités et des caractéristiques techniques

Après nos différents échanges avec des apiculteurs et l'état de l'art que nous avons réalisé nous avons décidé de sélectionner les fonctionnalités clés de notre projet. Les voici :




- Mesure de la température et de l'humidité à l'intérieur de la ruche
- Enregistrement audio et analyse avec une intelligence artificielle du son de la ruche
- Mesure du poids de la ruche
- Cartographie internes des cadres (détection du miel, du couvain, etc)
- Chargement de la batterie par panneaux solaires
- Utilisation du Wi-Fi pour communiquer car peu de coût supplémentaire


Nous avons également choisi plusieurs objectifs techniques :

- L'implémentation de toutes ces fonctionnalités devra coûter moins de 45€ HT par ruche
- L'autonomie d'une charge de batterie (sans compter les panneaux solaires) avec toutes les fonctionnalités activées devra dépasser 6 mois
- N'utiliser que des technologies connues, bien documentées et très accessibles
- Faire toutes les analyses de l'intelligence artificielle en local dans la ruche et non sur un serveur central

Choix des composants principaux

Voici la liste des composants que nous avons sélectionnés :

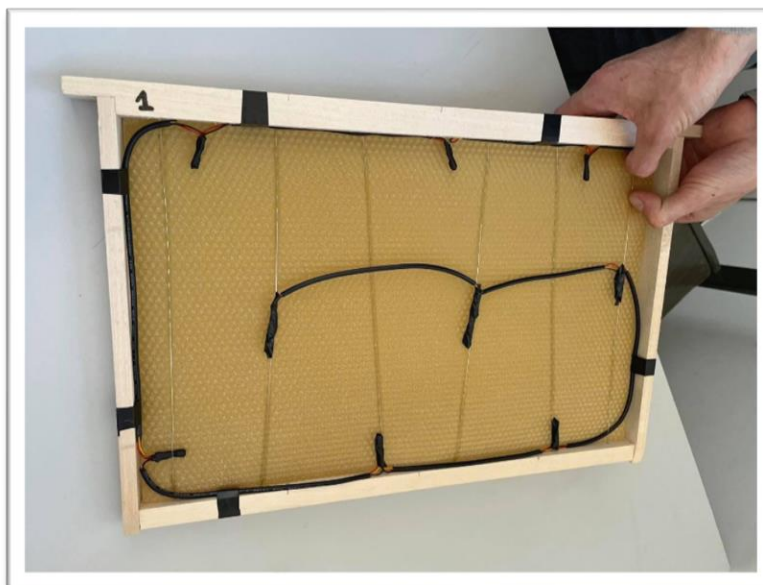
Illustration	Nom	Description
	ESP32 Lolin32 lite	Nous avons choisi la plateforme ESP32 pour son rapport fonctionnalités/prix indétrônable. La carte Lolin32 lite intègre sur une petite carte une antenne Wi-Fi et Bluetooth ainsi qu'un contrôleur de charge de batterie pour moins de 2,50€ unité.
	DHT22	Pour mesurer la température et l'humidité de la ruche, nous avons choisi le DHT22. Son prix est assez élevé (2,80€) par rapport aux autres capteurs mais il est fiable et facile à intégrer.
	Microphone I2S	Pour prendre des mesures audios de la colonie nous avons choisi d'utiliser un microphone I2S. Son prix est très intéressant et il existe plusieurs modèles faciles à intégrer également. La qualité du son est largement suffisante pour nos analyses.

	HX711 et 4 cellules de charge 50kg	Grâce à ces modules de pesée à faible coût, nous pouvons mesurer avec une précision de 10g la ruche jusqu'à 200kg.
	Panneau solaire USB (type caméra de surveillance)	Ces petits panneaux solaires sont largement assez puissants (3W) pour alimenter tout l'électronique même à faible luminosité. Plusieurs modèles existent sur le marché avec les mêmes caractéristiques. Un seul nous suffit par ruche.
	Boîtier étanche de dérivation	Nous utilisons ces petits boîtiers à faible coût (moins de 2€) car ils sont étanches et assez grands pour contenir tout l'électronique de notre solution.
	Capteur de température OneWire 18B20	Ces petits capteurs sont utilisés pour la cartographie des cadres. Le protocole OneWire permet de brancher l'intégralité des capteurs sur un seul et même câble.
	Batterie lithium 18650 3400mAh 3.7V (avec circuit de protection de préférence)	Cette petite batterie, facilement achetable, est suffisante pour alimenter toutes les fonctionnalités pendant 6 mois (si le panneau solaire est absent ou hors service).

Comment ça marche ?

Voici comment fonctionne le micrologiciel que nous avons conçu pour notre boîtier et les actions réalisées lorsque toutes les fonctionnalités sont activées :

1. La carte électronique s'allume et lie sa configuration interne (liste des fonctionnalités actives, configuration Wi-Fi, etc).
2. Un enregistrement de 30s d'audio est stocké sur la mémoire interne de la carte électronique.
3. L'intelligence artificielle analyse l'enregistrement audio et en déduit l'état de santé de la ruche. Cette intelligence artificielle est basée sur le projet [OpenSource BeeHive](#). Nous l'avons simplement rendu utilisable sur notre carte électronique à faible consommation et réduit ses fonctionnalités à l'essentiel. Ainsi, l'analyse de 30s de son ne prend que 15 à 20s tout en consommant une quantité ridiculement faible d'énergie.



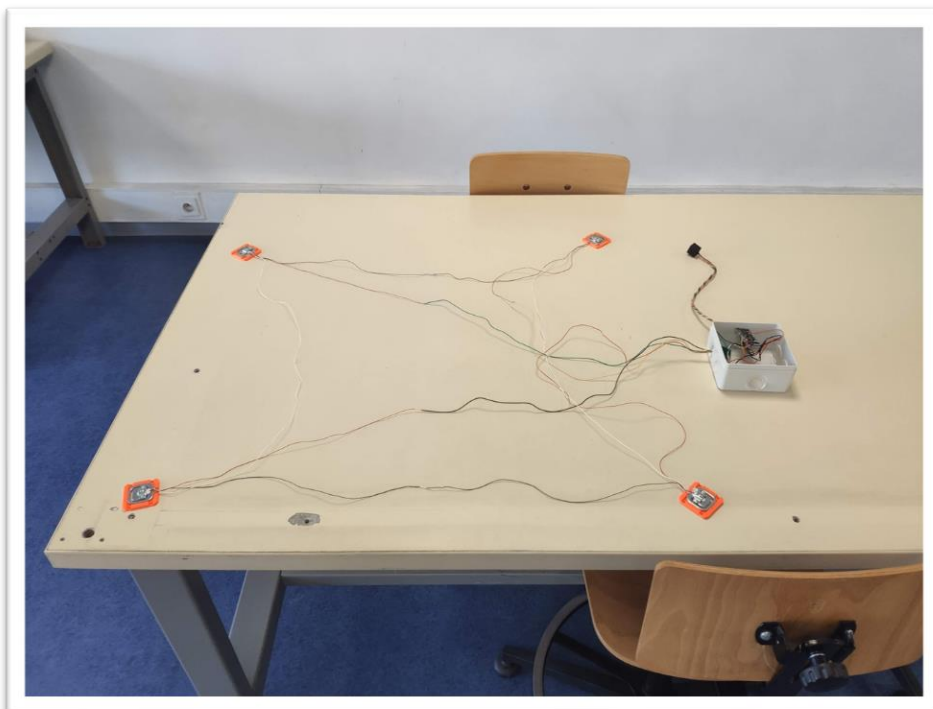
Cadre de ruche avec de multiple capteurs de température OneWire

4. Les mesures des données physiques (température, humidité, poids) sont faites ainsi que celles des cadres. Grâce aux mesures des capteurs de température des cadres, nous pouvons établir une cartographie de ces derniers. En effet, chaque élément du cadre (miel, couvain, etc) est conservé à une température bien précise par les abeilles. Par exemple le couvain est conservé à 35°C à plus ou moins 1°C.
5. La connexion Wi-Fi est établie. Le boîtier va ensuite se connecter à un serveur pour lui transmettre toutes les données collectées. Il va également récupérer de potentielles mises à jour du micrologiciel intégré et les installer ou encore exécuter une commande distante comme tarer la balance par exemple.
6. La connexion Wi-Fi est coupée. La carte électronique passe en veille profonde pendant la durée souhaitée entre chaque mesure. Elle va ensuite refaire toutes les actions précédentes en boucle.

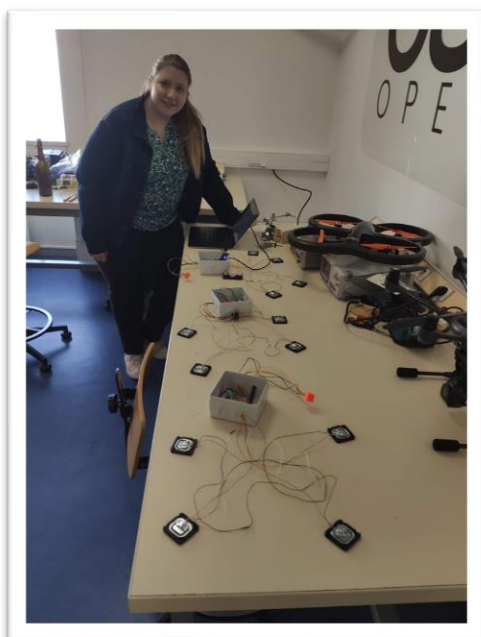
Le temps d'exécution de tout ce processus prend moins d'une minute. C'est grâce à cela que nous pouvons assurer une telle autonomie. En mode veille profonde, la carte électronique ne consomme que quelques μA . En fonctionnement, elle consomme environ 60mA avant de se connecter au Wi-Fi et jusqu'à 200mA lorsque la carte est connectée. Ces mesures de consommation peuvent varier en fonction du nombre de capteurs et de la distance au point d'accès Wi-Fi.

Au sujet de la connectivité Wi-Fi, la consommation de données est très limitée, moins de 500 octets par relevé. Si le boîtier est situé à proximité d'un point d'accès Wi-Fi, il peut s'y connecter tant que ce dernier supporte la fréquence 2,4Ghz (la plus courante). Si le boîtier est en pleine nature, une simple clé 3G avec un petit forfait de données convient. C'est pour cela que nous avons préféré cette solution à l'utilisation du réseau Sigfox que nous jugeons trop coûteuse. Nous pensons dans le futur prévoir un boîtier tout en un avec une carte SIM libre pour communiquer par SMS. Cela pourrait être, dans certains cas, un petit peu moins coûteux qu'une connexion de données cellulaires.

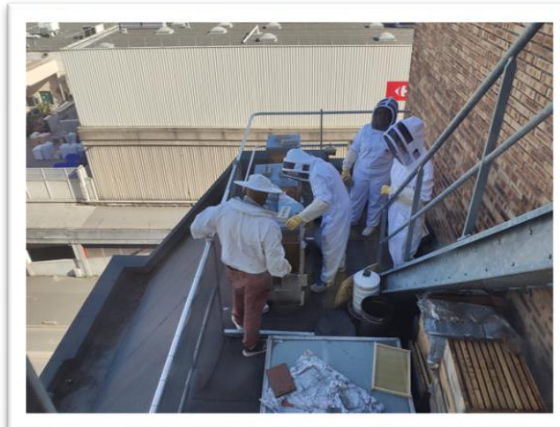
Solution finale



Voici notre solution finale (hors cadres). Celle-ci est relativement compacte et possède toutes les fonctionnalités que nous avons prévues. Le boîtier se place sous la ruche, les 4 modules de pesée se positionnent aux 4 coins de la ruche et le micro peut se placer à l'entrée ou sous la ruche. Nous pensons pouvoir installer 50 boîtiers avant le début de l'été. Une partie sera notamment installée à Laval en Mayenne, au second campus de l'ESIEA mais également chez un apiculteur qui nous a conseillé durant la réalisation du projet. Nous sommes déjà à une vingtaine de boîtiers déployés.



Préparation de nos boîtiers



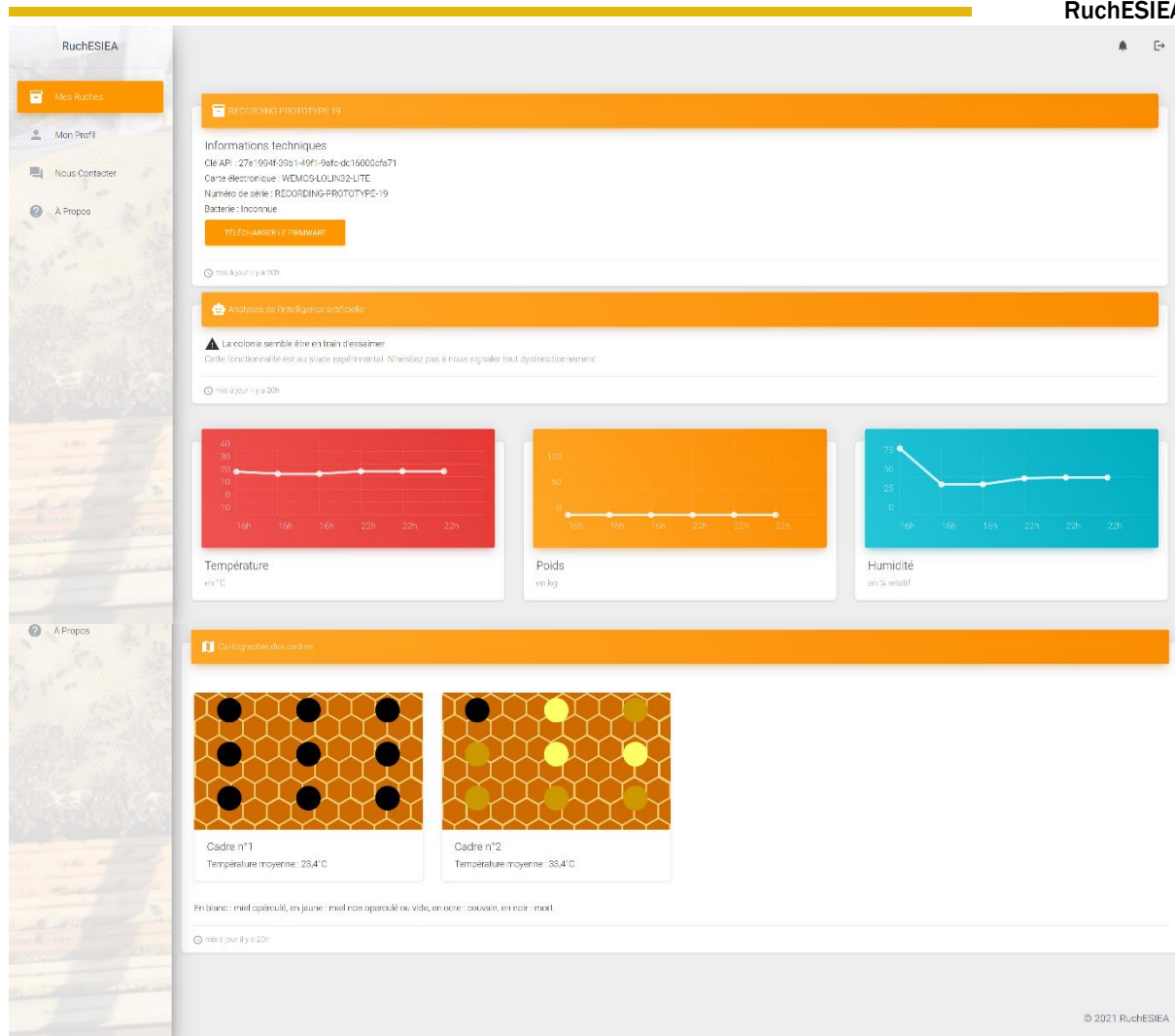
Installation de nos boitiers au Studio AFL à Ivry sur Seine



Installation de nos cadres connectés à l'ESIEA campus d'Ivry sur Seine



Installation de nos boitiers chez un amateur à Antony



Site internet que nous avons créé pour afficher les données (illustration uniquement)

Mise en œuvre de notre solution

Introduction

La liste de nos fonctionnalités étant large et pas nécessairement utile à tous, nous avons divisé tout notre projet en modules. Ainsi, pour la suite des instructions et des composants à acheter, nous vous indiquerons dans quel cas ils seront nécessaires par rapport à vos besoins. Les modules sont les suivants :

- Module de base avec analyse audio (obligatoire)
- Module de pesée
- Module de température et d'humidité de la ruche
- Modules de cadres pour cartographie



Éléments à acheter

Voici la liste des composants à acheter pour pouvoir mettre en œuvre notre solution. Si un lien devient inaccessible ou un produit indisponible, n'hésitez pas à nous contacter. Veuillez noter que les prix renseignés sont ceux tels que présentés le 14/05/2021, ils sont susceptibles d'évoluer avec le taux de change. Certaines pièces sont imprimées en 3D. Les plans sont fournis avec nos autres travaux. Vous pouvez utiliser n'importe quel matériau vous-même mais si vous préférez une impression 3D et que vous n'avez pas accès à une imprimante, l'Openlab ESIEA se propose de vous vendre les pièces imprimées à prix coutant. C'est le prix qui est indiqué pour ces pièces.




- Module de base avec analyse audio (obligatoire) – 7,32€

Illustration	Nom	Prix	Lien
	ESP32 Lolin32 lite	2,30€	Aliexpress.com
	Porte batterie 18650	0,30€	Aliexpress.com
	Batterie 18650 3,7V 3400mAh	2,00€	Aliexpress.com
	Boitier étanche	1,19€	Leroymerlin.fr
	Microphone I2S	1,53€	Aliexpress.com
	Cache microphone imprimé en 3D	0,30€	Openlab ESIEA

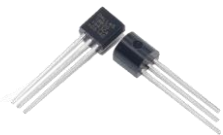

- Module de pesée – 4,59€

	Carte HX711 + 4 cellules de charges de 50kg	3,69€	Aliexpress.com
	4 supports imprimés en 3D	0,90€	Openlab ESIEA

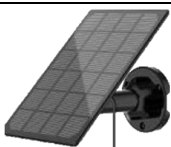
- Module de température et d'humidité – 3,68€

	DHT22	2,81€	Aliexpress.com
	1 résistance 4,7kΩ	0,42€	Aliexpress.com (lot, « 4.7 »)
	Cache imprimé en 3D	0,45€	Openlab ESIEA

- Modules de cadre pour cartographie – 0,42€ + 2,34€ par cadre

	Capteur de température OneWire 18B20. Il en faut 9 par cadre.	0,26€	Aliexpress.com
	1 résistance 4,7kΩ (une seule est requise, quelque soit le nombre de cadre)	0,42€	Aliexpress.com (lot, « 4.7 »)

- Alimentation solaire

	Panneau solaire étanche micro-USB 3W	14,40€	Aliexpress.com (« only solar panel »)
---	--------------------------------------	--------	---

- Outillage électronique à avoir
 - Fer à souder pour électronique
 - Etain pour soudure
 - Fil électrique étamé fin
 - Connecteurs Dupont mâle-femelle
 - Gaines thermo rétractables
 - Pince coupante
 - Pince à dénuder
 - Câble électrique avec 3 fils (pour les cadres)

Montage de l'électronique

Toutes les instructions de montage présentes ci-dessous vous sont également proposées en vidéo commentée. Comme pour les articles à acheter, cette partie sera divisée par rapport aux différents modules. Vous trouverez ci-dessous un condensé de la vidéo de montage avec les schémas et quelques explications. Ne seront montrés sur les schémas que les branchements d'un module à fois, les autres seront masqués.

- Module de base avec analyse audio (obligatoire)

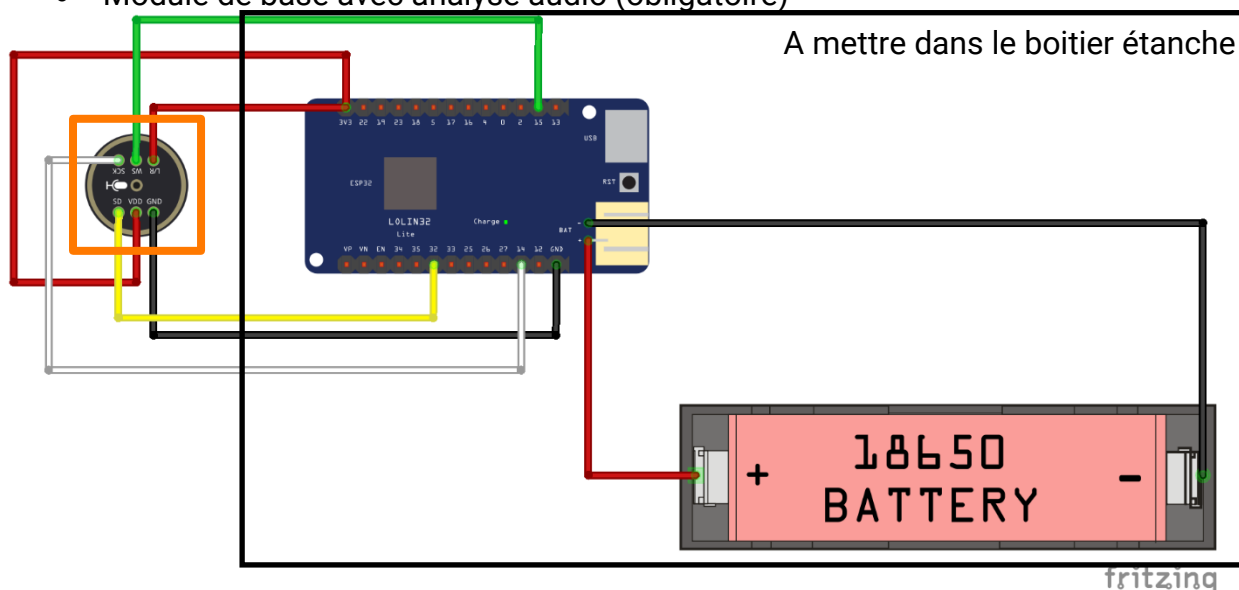


Schéma de branchement du module de base

Voici les branchements à effectuer pour le module de base. Pour souder les fils du porte batterie à la carte électronique, vous devez utiliser une pince pour retirer le connecteur plastique blanc. Veuillez également noter que les connecteurs « 3V » (fils rouge) et « G » (fil noir) seront réutilisé pour les autres modules, il ne faut pas donc tout de suite mettre de gaine thermo rétractable. Le reste des fils peuvent être directement soudés.

N'oubliez pas de prévoir des fils assez longs pour pouvoir déporter le micro à la position souhaitée lors de l'installation du boîtier dans la ruche. Il est déconseillé de mettre la batterie dans le porte batterie tant que l'assemblage de tous les modules n'est pas terminé.

- Module de pesée

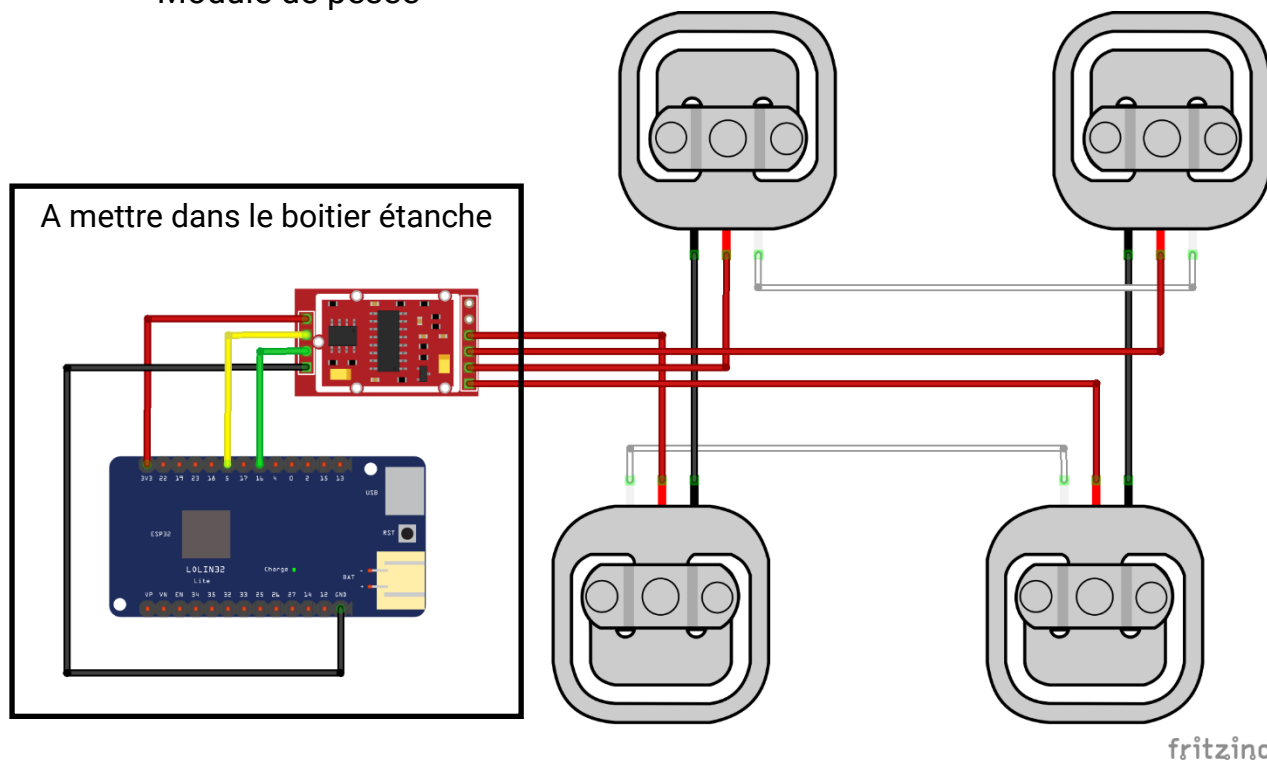


Schéma de branchement du module de pesée

Les fils présents sur les charges de poids peuvent être assez fragiles, il faut donc les manier avec précaution. Il faut également prévoir de rallonger les fils rouges des cellules pour avoir assez de marge lors du placement sous la ruche. Enfin, les fils des cellules ont tendance à s’emmêler assez vite, faites attention.

- Module de température et d’humidité

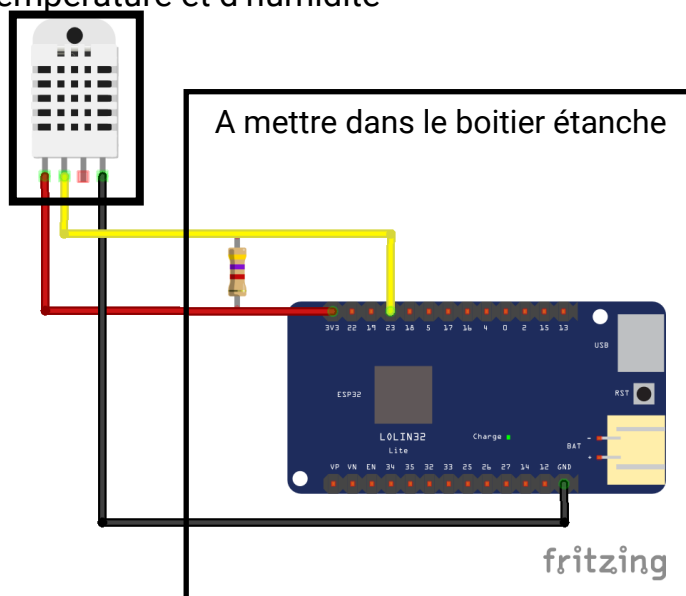


Schéma de branchement du module de température et d’humidité

- Modules de cadre pour cartographie

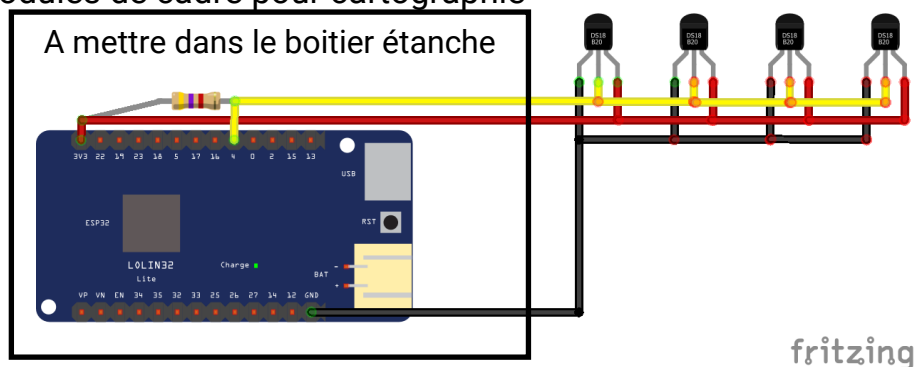
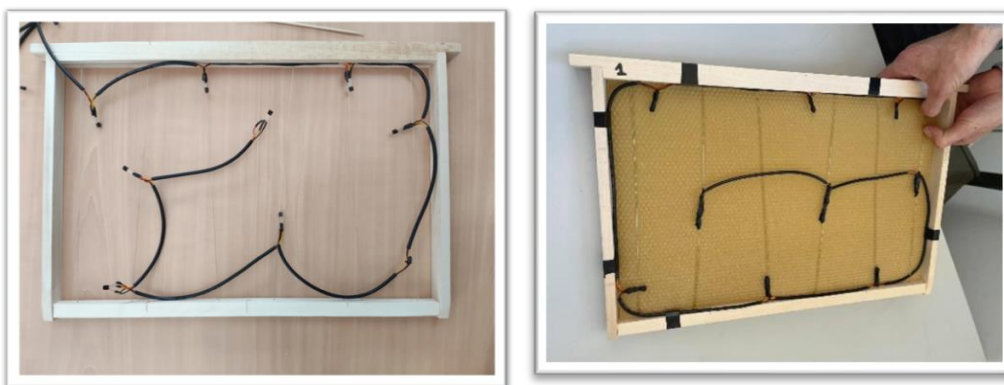


Schéma des modules de cadre pour cartographie

Le schéma ci-dessus présente comment brancher une série de 4 capteurs mais vous pouvez en rajouter autant que nécessaire. Il faut mettre 9 capteurs par cadre et les cadres peuvent être branchés directement les uns après les autres en suivant la notice de branchement. Il suffit ensuite d'accrocher les capteurs au cadre et de le cirer.



Assemblage des capteurs OneWire sur un cadre

Nous avons essayé plusieurs techniques pour assembler les capteurs de températures OneWire sur des cadres. La manière la plus efficace que nous avons trouvé consiste à accrocher les capteurs aux supports des cadres et de faire 3 rangées de 3 capteurs.



Nos cadres de test dans des ruches

Faites attention à bien tendre des fils pour ne pas gêner les abeilles comme sur la photo de gauche. Ainsi les abeilles pourront bien construire comme sur la droite.

- **Panneau solaire**

Pour connecter le panneau solaire rien de plus simple, il suffit de faire passer le câble micro-USB au travers du boîtier étanche et de le brancher sur la carte électronique. Au soleil, si une batterie est branchée une LED bleue sur la carte devrait s'allumer et rester statique. Sinon, cette LED bleue devrait clignoter. Vous devriez remarquer que même à une faible luminosité le panneau solaire suffit à alimenter le boîtier.

Préparation du logiciel intégré

Pour la préparation du logiciel intégré, vous devez d'abord vous connecter à la plateforme RuchESIEA. Vous avez alors deux options :

1. Installer vous-même une instance du site RuchESIEA sur votre ordinateur ou serveur
2. Utiliser gratuitement l'instance de notre site RuchESIEA hébergé par l'ESIEA à l'adresse <https://ruch.esiea.fr> (conseillé)

Dans le premier cas, vous devez vous munir du code source du site RuchESIEA qui est joint avec ce rapport. Les instructions d'installation sont dans le fichier « README ». Une fois installé, vous pouvez vous inscrire sur votre plateforme et suivre la suite des instructions.

Dans le deuxième cas, vous n'avez qu'à créer un compte à l'adresse suivante <https://ruch.esiea.fr/register> puis suivre la suite des instructions.

Une fois connecté sur la plateforme web, il faudra cliquer sur « Ajouter une nouvelle ruche ». Il vous faudra alors lui donner un nom et une photo facultative. Une fois créée, vous pouvez cliquer dessus. Vous arriverez alors sur la page d'information de la ruche. Une clé API sera présente, vous devez la noter, vous en aurez besoin plus tard dans les instructions. Vous pouvez également télécharger la dernière version du firmware en cliquant sur le bouton dédié si vous essayez notre solution en dehors du contexte du challenge. Sinon, le micrologiciel est joint avec le rapport.

Le firmware se présente sous la forme d'un dossier compressé ZIP, vous devez l'extraire à l'emplacement de votre choix. Une fois extrait, vous devez installer le logiciel Arduino, téléchargeable ici : <https://www.arduino.cc/en/software>. Une fois installé, ouvrez le fichier « RuchESIEA.ino » présent dans le dossier du firmware extrait précédemment.

Dans un premier temps, nous allons ajouter la configuration de base de la carte électronique dans le logiciel Arduino. Rendez-vous dans Fichier > Préférences. Dans le champ « URL de gestionnaire de cartes supplémentaires », inscrivez l'URL suivante et validez : https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package_esp32_index.json

Une fois cela fait, rendez-vous dans Outils > Type de carte > Gestionnaire de cartes. Dans la zone de texte, rentrez « ESP » et installez le paquet proposé. Veuillez ensuite patienter que le tout s'installe. Vous pouvez ensuite fermer la fenêtre d'installation. Dans le menu Outils > Type de carte, sélectionnez en bas la carte « WEMOS Lolin32 lite ».

Nous allons maintenant installer les bibliothèques nécessaires. Rendez-vous dans le menu Outils > Gérer les bibliothèques. Vous aurez besoin de chercher et installer les bibliothèques suivantes. Attention, les résultats de recherche sont simplement triés par ordre alphabétique.

- « esp32_ftpclient » by Leonardo Bispo
- « LittleFS_esp32 » by lorol
- « HX711 » by Rob Tillaart
- « OneWire » by Jim Studt, Tom Pollard, Robin James, ...
- « DHT sensor library » by Adafruit
- « Adafruit Unified Sensor » by Adafruit

Une fois toutes les bibliothèques installées, vous devriez être en mesure de compiler le micrologiciel en cliquant sur « vérifier » (bouton en haut à gauche ✓). Si une erreur se produit, vérifiez que toutes les bibliothèques mentionnées ci-dessus sont installées et que d'autres avec un nom similaire n'ont pas été installées par erreur.

Il est maintenant l'heure de configurer votre boîtier par rapport à votre réseau Wi-Fi et les modules que vous avez montés. Sur le logiciel Arduino, rendez-vous dans l'onglet « config.h ». Dans la partie « Modules » en haut du fichier. Vous pouvez écrire « false » (pour désactiver) ou « true » (pour activer) chaque fonctionnalité. Voici à quoi chaque ligne correspond :

- FTP_UPLOAD : mettre en ligne les fichiers audios enregistrés par votre boîtier, à laisser sur « false » sauf si vous voulez écouter l'audio de votre ruche.
- ONE_WIRE : module de cartographie des cadres
- AI : intelligence artificielle d'étude des sons de la ruche
- DHT22 : module de température et d'humidité de la ruche
- SCALE : module de pesée
- OTA : mise à jour automatique à distance, à désactiver pour le challenge

Plus bas dans le fichier de configuration, cherchez la ligne « API_KEY ». Veuillez remplacer le texte à l'intérieur des guillemets par la clé API que vous avez noté plus tôt. Enfin, aux lignes « WIFI_SSID » et « WIFI_PASSWORD », vous devez entrer à l'intérieur des guillemets le nom de votre réseau Wi-Fi et son mot de passe. À noter que si vous êtes dans une université ou une entreprise avec une authentification 802.1x, vous devez utiliser « WIFI_LOGIN » pour inscrire le nom d'utilisateur, sinon laissez vide ce champ.

Si vous avez vous-même installé votre instance du site RuchESIEA, vous devez également aller à la ligne « HTTP_SERVER » pour remplacer ruch.esiea.fr par votre adresse (IP ou URL).

Vous pouvez maintenant brancher la carte électronique du boîtier sur votre ordinateur via le port micro-USB. Une fois branchée, attendez quelques instants que votre ordinateur la détecte puis cliquez sur « téléverser » (bouton en haut à gauche →).

Le micrologiciel est maintenant sur votre carte électronique. Pour vous assurer que tout fonctionne bien, vous pouvez ouvrir le « Moniteur série » (bouton en haut à droite). Une fenêtre va s'ouvrir. Elle contient tous les messages que la carte envoie pour vous informer de son fonctionnement. Si rien n'apparaît et que la fenêtre est blanche, vous pouvez appuyer sur le petit bouton « reset » présent sur la carte électronique entre le port micro-USB et le connecteur pour batterie.

Si une erreur survient, n'hésitez pas à nous contacter, nous serons ravis de pouvoir vous aider !

Guide d'utilisation

Une fois que votre boîtier assemblé est prêt, il ne vous reste plus qu'à l'installer dans votre ruche. Pour cela, positionnez les 4 cellules de pesée en dessous des 4 coins de la ruche. Il est important que le poids repose uniquement dessus. Posez le microphone à l'entrée ou en dessous de la ruche au niveau des aérations. Assurez-vous que la batterie est bien connectée. Vous pouvez maintenant fermer le boîtier et attendre que les mesures apparaissent. Par défaut, le relevé se fait toutes les heures. Si vous voulez forcer un relevé, vous n'avez qu'à appuyer sur le bouton reset de la carte électronique (entre les connecteurs USB et de batterie). Si vous voulez que le relevé se fasse à une fréquence différente, vous pouvez modifier la ligne « TIME_TO_SLEEP » et inscrire la durée en seconde.

Pour accéder à vos données, rendez-vous sur le site RuchESIEA mentionné plus tôt. Vous aurez alors accès aux graphiques de température, d'humidité et de poids mais également aux résultats d'analyse de l'intelligence artificielle et de la cartographie des cadres si vous l'avez activé.

Problèmes courants – guide de réparation

Problème	Solution
La carte n'envoie pas de données au site internet	Vérifiez en connectant le boîtier à votre ordinateur et en ouvrant le moniteur série que la carte arrive bien à se connecter à votre réseau Wi-Fi.
Un fil de balance s'est cassé	Pas de panique, il suffit de dénuder et ressouder le fil cassé. Une gaine thermo rétractable suffit à consolider le tout.
La carte envoyait des données mais ne le fait plus subitement	Vérifiez qu'elle arrive toujours à se connecter au Wi-Fi et vérifiez la charge de la batterie. Si vous avez un voltmètre, la tension de la batterie doit se situer entre 3,2 et 4,7V. Branchez la carte en USB pour la recharger si besoin.
Les mesures sont délirantes	Vérifiez que tous les capteurs sont bien connectés/soudés. N'hésitez pas à brancher la carte à votre ordinateur pour obtenir les relevés de données brutes.
La mesure de poids est nulle	Vérifiez que le poids de la ruche repose bien sur la pointe métallique des cellules de poids et qu'aucun fil n'est cassé.
Les résultats de l'intelligence artificielle ne reflètent pas l'état de santé de ma ruche	L'intelligence artificielle est encore à l'état de prototype. N'hésitez pas à nous signaler tout résultat étrange pour nous permettre de l'améliorer.

Conclusion

Nous sommes ravis d'avoir pu participer à ce challenge et espérons que nos travaux plairont. Nous avons travaillé sur ce projet avec passion.

Nos projets pour l'avenir

Pour rendre ces technologies accessibles au plus grand nombre d'apiculteurs possibles, nous souhaitons continuer à travailler dessus. Nous aimerions l'améliorer dans un premier temps avec les retours que nous aurons du challenge. Mais surtout, nous voudrions transformer ce prototype en un vrai produit industriel et le produire à grande échelle à l'aide d'une campagne de financement participatif.

Nous contacter

Si vous avez des questions ou des remarques, nous serions ravis de pouvoir discuter avec vous. Vous trouverez ci-dessous nos adresses emails.

- Manon FOURNIER – fournier@et.esiea.fr
- Gauthier HEISS – heiss@et.esiea.fr

Remerciements

Même si notre équipe n'est composée officiellement que de deux étudiants, de nombreuses personnes nous ont aidés de prêt ou de loin. Nous souhaitons les remercier ici.

- Loïc Roussel, directeur général du groupe ESIEA
- Sophie Poirier, responsable associations et vie étudiante du groupe ESIEA
- Bastien Quelen, directeur technique du groupe ESIEA
- Frédéric Lebard, directeur du Studio AFL à Ivry sur Seine
- Julien, Apiculteur à Laval
- Alexandre, Charles et Mathis, étudiants à l'ESIEA
- Les organisateurs de ce concours et leurs partenaires pour nous avoir permis de réaliser ce projet :

