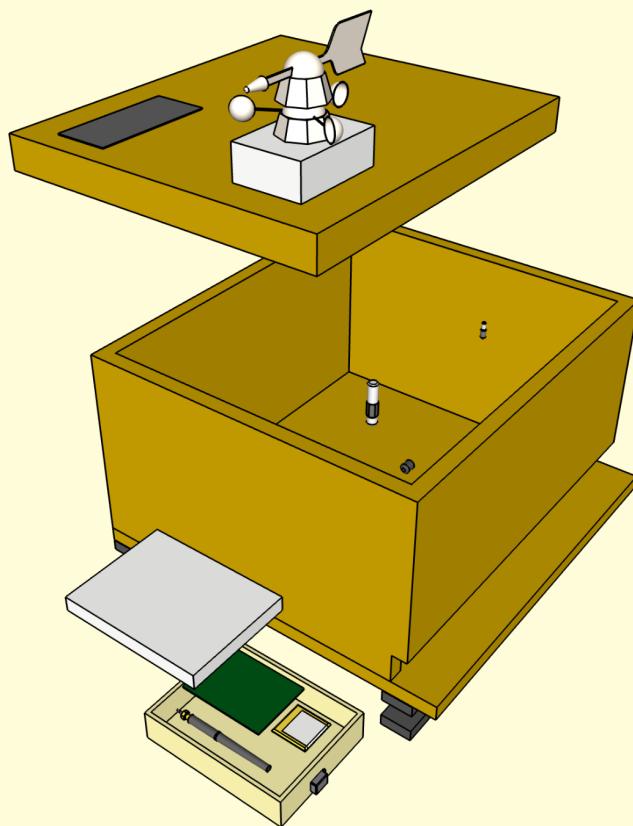
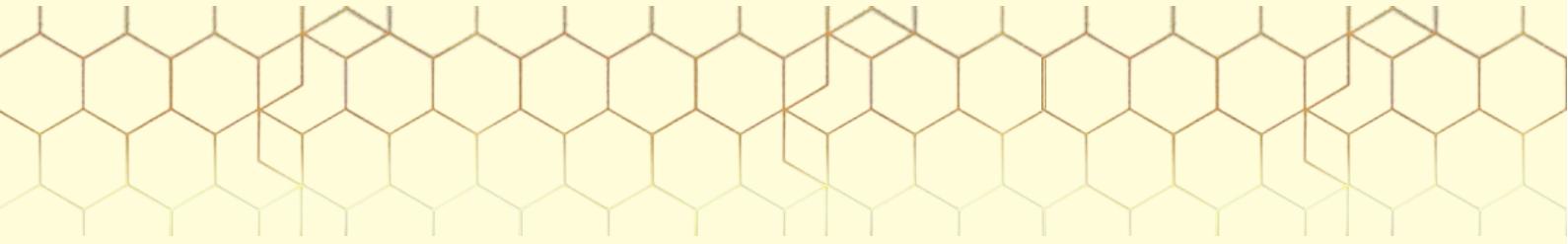
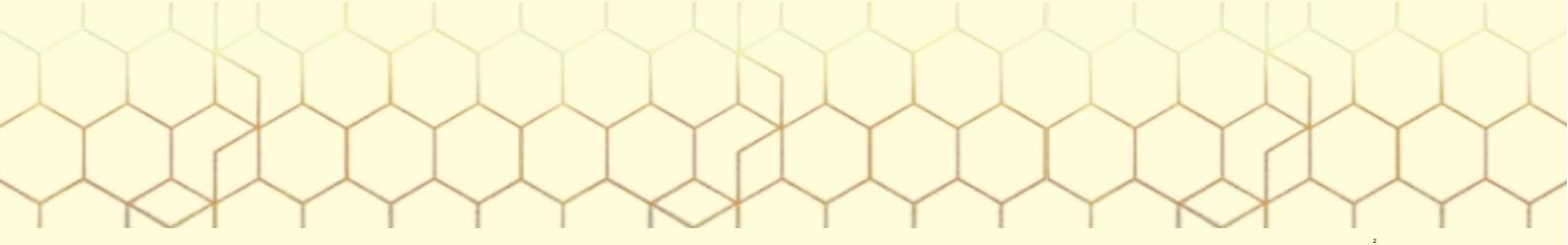

DESCRIPTIF DU PROJET





SOMMAIRE

Présentation du projet	3
Le projet	3
Descriptif du projet	4
Maîtres d'oeuvre	4
Contexte du projet	4
Situation du projet	4
Études déjà effectuées	5
Suites prévues	6
Prestations attendues	6
Parties concernées	6
Expression du besoin	7
Produit recherché et son environnement	7
Énoncé fonctionnel du besoin	8
Exigences spécifiques	8
Exigences fonctionnelles	8
Produit minimum viable	8
Options	9
Exigences non fonctionnelles	9
Contraintes de conception et de réalisation	10
Précontraintes	10
Contraintes	10
Post contraintes	11
Niveaux et caractérisation des critères d'appréciations	11
Résultats obtenus	14
Données	14
Autonomie	19
Annexes	21



Présentation du projet

Le projet

Descriptif du projet

Le projet consiste à équiper une ruche de capteurs intelligents, afin de pouvoir analyser et fournir des données percutantes au propriétaire de la ruche. Ainsi, l'apiculteur aura des informations en temps réel sur l'état de santé de ses abeilles et sur leur productivité. Plusieurs grandeurs physiques seront mesurées puis analysées et rendues disponibles à l'apiculteur à travers une interface homme machine via une application web.

Maîtres d'oeuvre

Notre équipe est constituée de cinq élèves ingénieurs de Polytech Sorbonne. Nous sommes tous en 4ème année dans la spécialité Électronique Informatique et parcours Système Embarqué. Notre professeur référent nous a introduit à la cause des abeilles et nous avons ressenti le besoin de faire plus, d'apporter une réel contribution à cette cause en devenant des acteurs actifs aidant à préserver les abeilles en veillant à leur bien-être.



DEAC Alexandra



BENNIS Ismail



KIRADY Amélie



SHEHADEH Fadi



WEI YongTao

alexandradead44@gmail.com
+33651565692

bennismail9@gmail.com
+33650812310

ameliekirady@gmail.com
+33619177155

shehadehfadi@orange.fr
+33767936454

wyt1093763354@gmail.com
+33668109365

Contexte du projet

Situation du projet

Ce projet s'inscrit dans un double enjeu. D'un point de vue scientifique, la ruche connectée permet d'avoir un aperçu objectif des conditions de vie des abeilles et de la qualité de leur environnement. L'apiculteur peut ainsi essayer d'adapter ses méthodes de travail et de production, de manière à préserver l'état de santé de ses insectes. Concernant les aspects économiques, la ruche connectée est l'outil idéal pour optimiser le rendement. En effet l'apiculteur réalise une économie de temps et de déplacement particulièrement importante. Enfin, la détection de l'essaimage est économiquement importante pour l'apiculteur. L'essaimage est le départ de la reine et d'une partie des abeilles de la ruche pour former une nouvelle colonie. L'essaim forme alors un nuage d'abeilles qui peut atteindre une vingtaine de mètres de long et qui parcourt son territoire à la recherche d'un nouvel endroit pour reformer une colonie. Les premières heures sont cruciales pour retrouver l'essaim et le placer dans une ruche vide. Ainsi l'apiculteur peut rapidement perdre l'essaim qui coûte aux alentours de 200 à 300€.

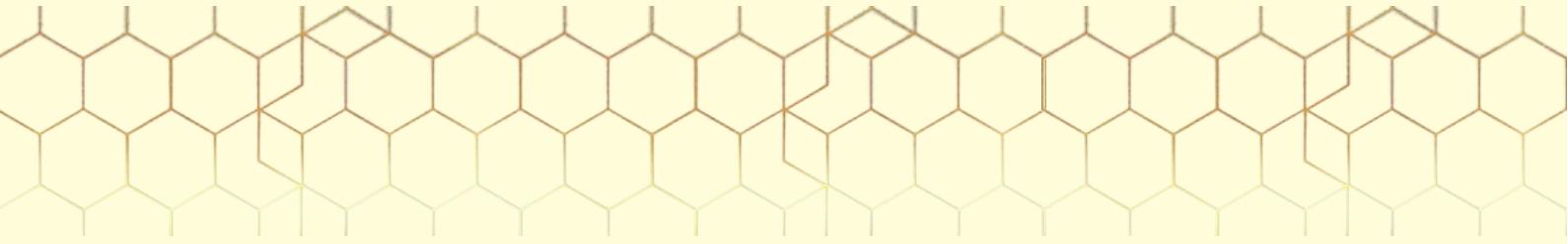
Études déjà effectuées

Un état de l'art exhaustif a été réalisé et se trouve dans le document qui a pour intitulé "Etat de l'art". A travers nos recherches, on a pu voir notamment qu'il existe actuellement de nombreux systèmes sur le marché permettant la surveillance de ruche d'abeilles :

Label Abeille avec sa balance placée sous une ruche, permet d'avoir accès à des informations comme la lumière, la température, la masse, l'humidité, la pression atmosphérique ou encore l'orientation de la ruche.



Smart Hive a également conçu une ruche intelligente qui contient une sonde, une balance, mais aussi un capteur qui décompte les entrées et les sorties de chaque insecte de la ruche.



CitizenBee propose une ruche connectée urbaine qui grâce à une dizaine de capteurs situés à l'intérieur et à l'extérieur de la ruche, offre la possibilité de suivre en temps réel de n'importe où, l'état de la ruche. De plus, des caméras permettent d'observer ce qu'il se passe dans l'environnement de la ruche, de chaque côté.

CitizenBees

Toutes ces solutions coûtent entre 250€ et 700€ avec parfois un abonnement au service en ligne d'environ une dizaine d'euros.

Suites prévues

La finalité de ce projet est la réalisation d'un prototype fonctionnel et testé sur le terrain. Nous avons décidé de rendre notre projet disponible en open source afin qu'il soit accessible à toutes les communautés et permettre ainsi à notre projet, d'avoir la possibilité de rejoindre une dynamique collaborative et encourager de nouvelles contributions et améliorations.

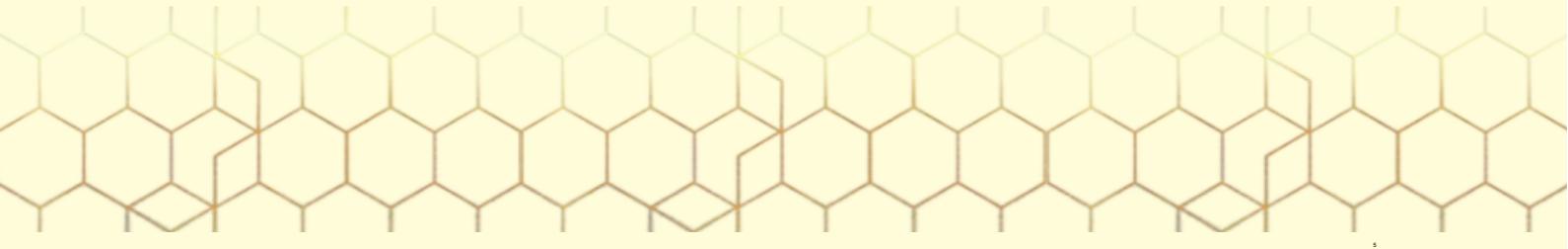
Prestations attendues

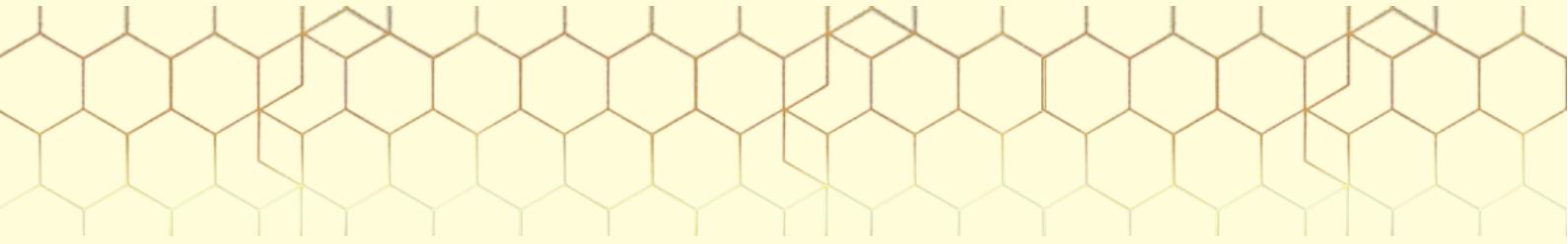
Pour fournir des données percutantes et fiables au futur propriétaire de la ruche connectée, plusieurs livrables sont attendus, tout d'abord concernant le produit :

- ❖ Un prototype sur **Printed Circuit Board** fonctionnel.
- ❖ Un **prototype final testé en conditions réelles**, avec des protocoles de tests.
- ❖ Une **Interface Homme-Machine**, qui est personnalisable par l'utilisateur et lui permet de consulter les données récoltées et analysées.

Puis d'autres livrables, concernant la documentation de ce produit et dans quel environnement et quelles conditions il s'inscrit :

- ❖ Un **état de l'art**, permettant à l'utilisateur de savoir sur quelles recherches et hypothèses déjà effectuées son produit s'appuie, ainsi que les produits présents sur le marché.
- ❖ Un **descriptif du projet**, présentant le projet, ses exigences fonctionnelles et non-fonctionnelles, ainsi que les résultats obtenus concernant les données récoltées et l'autonomie du projet
- ❖ Une **notice d'utilisation**, complétée par des vidéos explicatives et permettant à l'utilisateur de mettre en place son prototype lui-même et de savoir comment le prototype fonctionne dans le détail.





Parties concernées

Plusieurs parties sont concernées par ce projet :

- ❖ **Maîtres d'ouvrages** : Les apiculteurs
- ❖ **L'équipe pédagogique** : Yann DOUZE (responsable de la filière et apiculteur amateur), Tarik LARJA (professeur de management) et Sylvain FERUGLIO (professeur en électronique analogique).
- ❖ **Expert technique** : Sylvain VIATEUR (ingénieur)
- ❖ **Maîtres d'œuvre** : Ismaïl BENNIS, Alexandra DEAC, Amélie KIRADY, Fadi SHEHADEH et YongTao WEI.

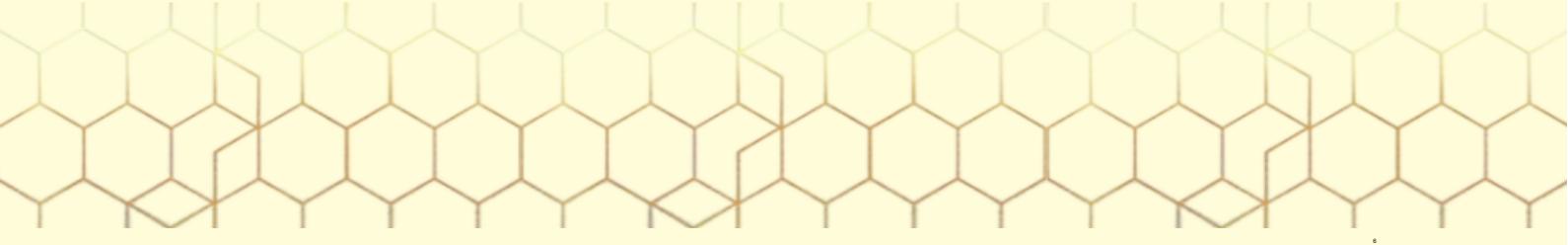
Expression du besoin

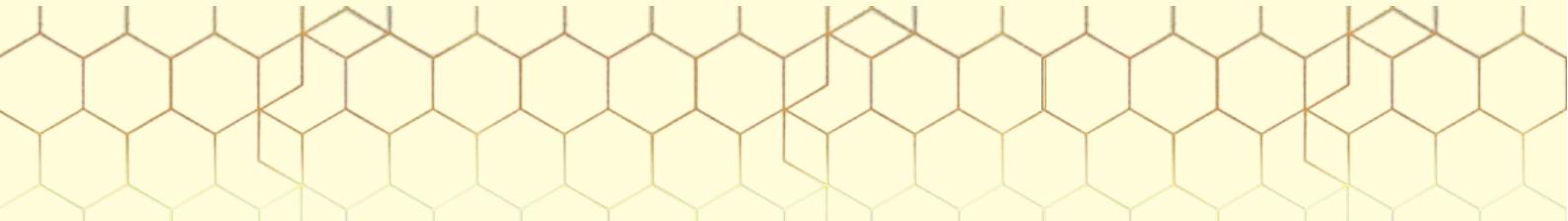
Le besoin de ce projet consiste à surveiller une ruche dans le but d'aider l'apiculteur à adopter les meilleures méthodes de travail et de production possibles, tout en lui faisant gagner du temps et de l'énergie. L'état interne de la ruche est un facteur primordial dont l'apiculteur a besoin pour conduire sa ruche et maintenir un bon rendement. Pour cela, avant de les traiter, il faudra acquérir les données suivantes :

- ❖ La température
- ❖ L'humidité
- ❖ Le poids
- ❖ Le son de la ruche

Toutes les données analysées seront ensuite rendues disponibles à l'utilisateur à travers une interface Homme-Machine. Cette interface alertera l'utilisateur par message dans certains cas, comme une attaque de prédateur, une évolution du poids significative ou d'un changement de comportement des abeilles. Toutes ces alertes seront personnalisables par l'utilisateur, en fonction de ses besoins.

→ Voir Annexe 1 : Analyse fonctionnelle du besoin





Produit recherché et son environnement

Le produit recherché est une ruche, à laquelle s'ajoutent différents capteurs :

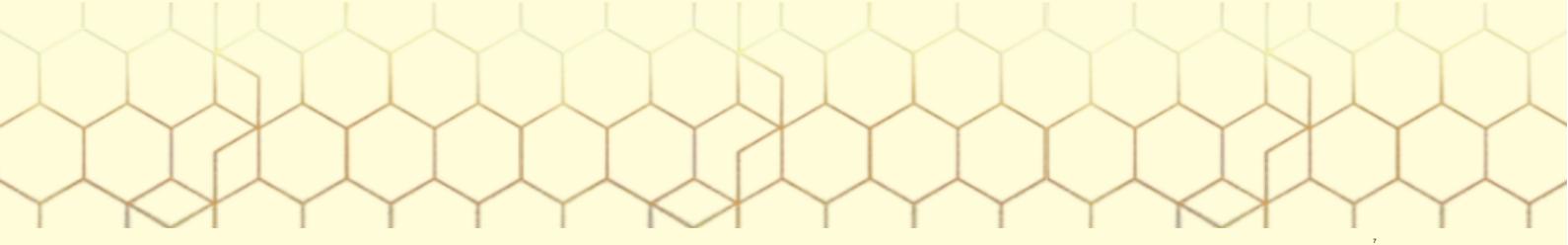
- ❖ Température interne
- ❖ Température externe
- ❖ Humidité interne
- ❖ Humidité externe
- ❖ Anémomètre / Girouette
- ❖ Microphone
- ❖ Panneau solaire
- ❖ Poid
- ❖ Accéléromètre

Tous ces capteurs sont contrôlés par le microcontrôleur et les données récoltées par celui-ci seront accessibles à l'utilisateur à travers une interface web. Enfin, le système sera entièrement autonome et donc alimenté par une batterie qui sera elle-même rechargée par un panneau solaire.

→ Voir Annexe 2 : PBS (Product Breakdown Structure)

Tous ces éléments devront s'intégrer à la ruche et à l'environnement, sans gêner les abeilles ni l'apiculteur dans son travail.

→ Voir Annexe 3 : Analyse fonctionnelle de l'environnement du produit



Énoncé fonctionnel du besoin

Exigences spécifiques

→ Voir Annexe 4 : Analyse FAST

Exigences fonctionnelles

Produit minimum viable

Le but premier du projet est de permettre à l'apiculteur d'avoir un suivi permanent de l'état de sa ruche, sans qu'il ne doive constamment se déplacer. Pour cela, les informations relatives à la vie de sa ruche sont mesurées, analysées et envoyées directement sur son Smartphone pour l'informer dans le cas où sa ruche est déplacée, si elle subit une variation de poids anormale ou si le comportement des abeilles évolue.

Pour répondre aux besoins de l'apiculteur et l'aider à entretenir sa ruche, des mesures à l'aide de capteurs seront effectuées :

- ❖ La température intérieure et extérieure
- ❖ L'humidité intérieure et extérieure
- ❖ Le poids pour le suivi de la production de miel

Toutes ces données mesurées seront analysées puis envoyées sur un serveur de type Cloud grâce à la technologie longue portée et basse consommation de Sigfox (LPWAN). Elles seront ensuite accessibles sous forme graphique à partir d'une page web à travers une interface homme machine (IHM). L'apiculteur recevra des alertes envoyées par le dispositif lorsque des comportements anormaux seront détectés concernant les facteurs mesurés.

Options

Pour aider l'apiculteur dans son travail, d'autres capteurs ont été ajoutés au prototype pour effectuer d'autres mesures complémentaires telle que :

- ❖ La position de la ruche pour savoir si celle-ci est tombée ou si elle a été volée, avec un accéléromètre

- ❖ Le son de la ruche produit par les abeilles à l'aide d'un micro, pour connaître l'état de santé des abeilles et leur humeur
- ❖ Le niveau de la batterie pour que l'utilisateur soit assuré que le dispositif est toujours en bon fonctionnement et que la batterie est chargée

De la même manière que les précédentes données présentées, celles-ci seront analysées puis envoyées sur le même serveur, pour être accessibles sous forme d'images claires et facilement compréhensibles sur la même interface homme machine. Des alertes pourront également être créées concernant ces données.

Exigences non fonctionnelles

En plus de ses exigences fonctionnelles, le système doit répondre à certaines caractéristiques non fonctionnelles liées à la qualité du produit fourni. Le produit fournira intégrera les caractéristiques suivantes :

- ❖ La durabilité : le système doit être solide pour résister aux intempéries ou au vent, la batterie et le matériel doivent également avoir une durée de vie minimum de 6 mois). Les capteurs mis à l'intérieur de la ruche ou à l'extérieur du boîtier doivent également être robustes.
- ❖ L'utilisabilité : le système doit être ergonomique et facile d'utilisation pour tout type d'utilisateur. En effet, l'utilisateur doit pouvoir prendre facilement en main le système, qui lui doit être totalement fiable et satisfaisant.
- ❖ La maintenabilité : les codes doivent être lisibles et intelligibles afin de faciliter son évolution dans le temps, d'autant plus qu'ils sont disponibles en open source. Les composants doivent avoir la capacité d'être maintenus en bon état de fonctionnement durant toute la durée de vie du prototype.

Contraintes de conception et de réalisation

Précontraintes

Une des principales contraintes est le bien être des abeilles. Le système doit impérativement respecter les conditions de vie des abeilles. Dans un premier temps, il ne doit pas perturber l'organisation de la ruche et dans un deuxième temps, les capteurs ne doivent pas représenter un obstacle pour les abeilles, c'est-à-dire ne pas boucher un passage par exemple.

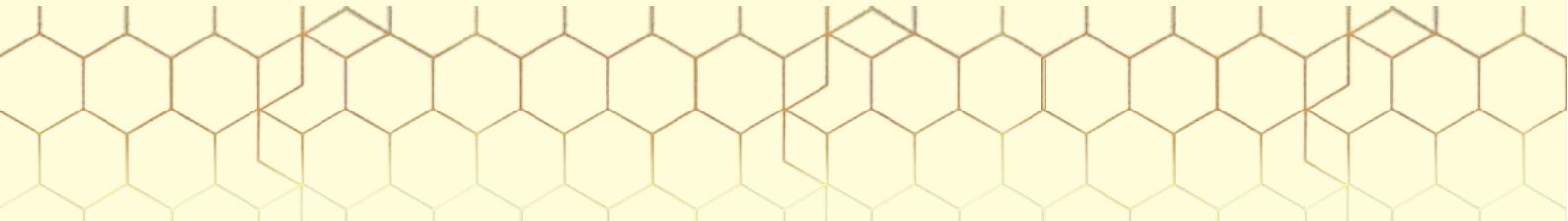
Cette contrainte rejoint l'idée de la miniaturisation du système. En effet, plus le système sera petit, plus il sera discret et s'intégrera dans l'environnement, notamment pour l'esthétique, mais aussi pour une portabilité pratique.

Contraintes

Il y a également des contraintes que l'on s'impose à nous même dans le but de rendre le client le plus satisfait possible. L'acquisition des données doit être la plus précise possible pour qu'elles soient exploitable et plus pertinentes. La précision dépend des capteurs choisis. Pour répondre à ce critère nous avons choisi des capteurs spécifiques qui répondent à nos besoins:

Capteur	Précision
Température intérieure DS18B20	$\pm 0,5\%$
Température intérieure SEN0227	$\pm 0,3^\circ\text{C}$
Température extérieure SHT31	$\pm 0,2^\circ\text{C}$
Humidité intérieure SEN0227	$\pm 3\%$
Humidité extérieure SHT31	$\pm 2\%$
Poids	$\pm 100 \text{ g}$

Ces capteurs doivent pouvoir résister aux intempéries et à différentes températures extrêmes : leur température est comprise entre -40°C et 80 °C, ce qui est largement suffisant.



En ce qui concerne l'interface, nous utiliserons Ubidots combiné au module sigfox pour sa fluidité et sa clarté des informations. Dans l'idéal, il faut une mise à jour des données au maximum toutes les 30 minutes.

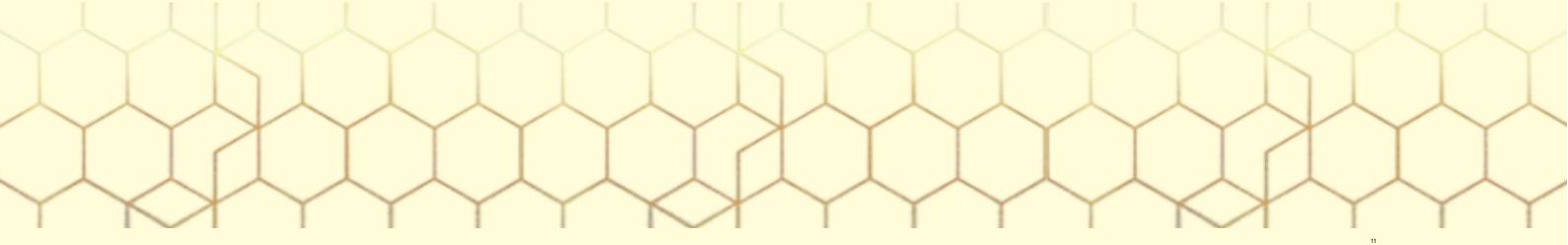
Post contraintes

L'autonomie et la durabilité du système sont également un point essentiel : la ruche connectée doit pouvoir tenir dans le temps concernant la consommation d'énergie mais également concernant la résistance. Cela permettra à l'apiculteur d'interagir physiquement et de se déplacer le moins possible avec la ruche.

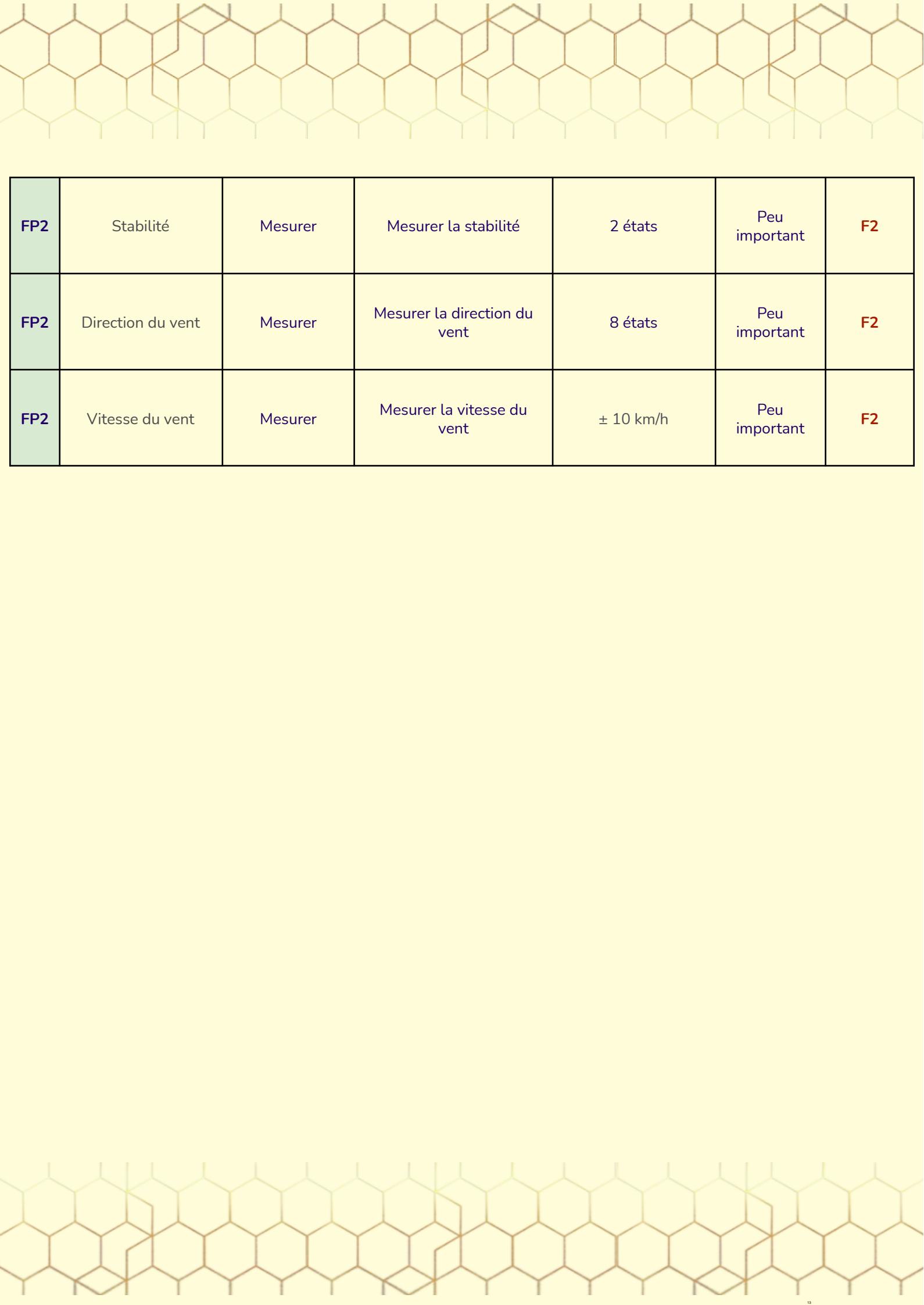
Niveaux et caractérisation des critères d'appréciations

La ruche doit être capable d'acquérir et interpréter des données sur le comportement des abeilles et sur leur organisation dans la ruche. Nous considérons notre système abouti et viable s'il permet de répondre précisément aux critères et surtout aux niveaux définis dans le tableau ci-dessous.

En ce qui concerne les critères d'appréciation et de réussite, nous avons dressé le tableau suivant afin d'avoir une vision globale sur nos attentes. Il est important de noter que le budget se limite à 100 euros.



N°	Intitulé	Mot détaillé	Critère	Niveaux et limites	Importance	Flexibilité
FP1	Fréquence et amplitude du son	Mesurer	Mesurer la fréquence et l'amplitude du son	$\pm 1 \text{ dB}$	Très important	F0
FP1	Température intérieur	Mesurer	Mesurer la température intérieur	$\pm 0,1^\circ$	Très important	F0
FP1	Température extérieure	Mesurer	Mesurer la température extérieure	$\pm 1^\circ$	Très important	F0
FP1	Humidité intérieur	Mesurer	Mesurer l'humidité intérieur	$\pm 1\%$	Très important	F0
FP1	Humidité extérieur	Mesurer	Mesurer l'humidité extérieur	$\pm 10\%$	Très important	F0
FP1	Poids	Mesurer	Mesurer le poids	$\pm 100\text{g}$	Très important	F0
FP2	Autonomie	Très basse consommation	Système 100% autonome en énergie	5 semaines pour une charge	important	F1
FP2	Interface	Communiquer	Communiquer les données via Ubidot	Mise à jour toutes les 30mins	important	F1
FP2	Réseau	Envoyer et Recevoir	Envoyer et recevoir des données via LPWAN	1 message toutes les 30 minutes	important	F1



FP2	Stabilité	Mesurer	Mesurer la stabilité	2 états	Peu important	F2
FP2	Direction du vent	Mesurer	Mesurer la direction du vent	8 états	Peu important	F2
FP2	Vitesse du vent	Mesurer	Mesurer la vitesse du vent	$\pm 10 \text{ km/h}$	Peu important	F2

Résultats obtenus

Nous avons pu tester notre prototype sur le terrain à partir du 17 avril 2021 sur le rucher école de Plaisir (78). Les données présentées par la suite ont été récoltées sur une période de 3 semaines (du 17 avril au 8 avril 2021). A ce jour, il est toujours mis en place sur le rucher.

Données

Toutes les données sont accessibles à travers l'interface Ubidots. Pour la température, l'humidité et le poids, ces données sont représentées sous forme de courbe pour avoir un suivi de l'évolution de l'état de la ruche et non son état à un instant t. Nous allons consulter ces données :

❖ La température intérieure



Courbes des températures intérieures de la ruche

_____ Nous observons tout d'abord que les deux températures intérieures ne sont pas égales : cela s'explique par le fait que les deux capteurs ne sont pas positionnés au même endroit dans la ruche. Le SEN0227 (courbe orange) était trop gros pour aller à l'intérieur du couvain, il est donc placé plus proche de l'extérieur que le DS18B20 (courbe jaune), qui lui se trouve au centre de la ruche. Nous pouvons voir que la température au centre de la ruche est relativement constante et autour de 34.8°C, ce qui est cohérent avec la température de vie des abeilles dans la ruche et bon signe, puisqu'elles maintiennent cette température.

Concernant la température à l'extrême, nous pouvons observer qu'elle est bien inférieure et qu'elle subit beaucoup plus de variations : cela est dû au fait que la température extérieure a beaucoup varié sur la période de test. Nous pouvons conclure que malgré que la température extérieure varie, la température intérieure au niveau du couvain reste quant à elle constante.

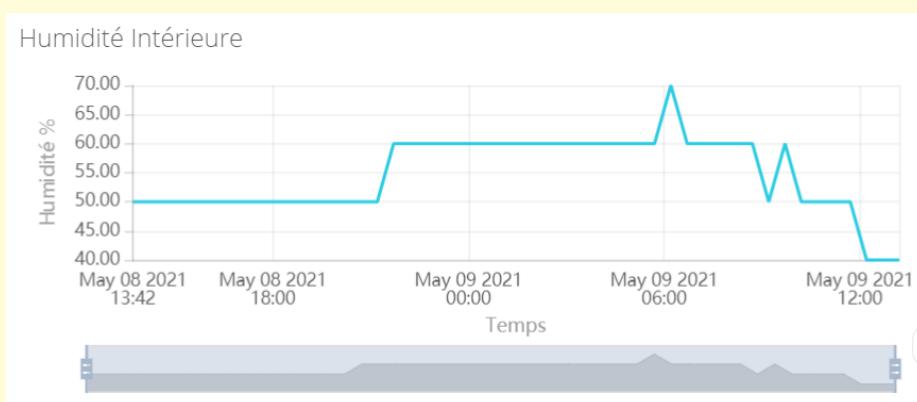
❖ La température extérieure



Courbe de la température extérieure

Nous observons que la température extérieure a subi de nombreuses variations sur la période de test passée, et qu'elle diminue fortement la nuit. Cela est cohérent avec les conditions réelles extérieures. Notons que la température a fortement augmenté durant les dernières mesures.

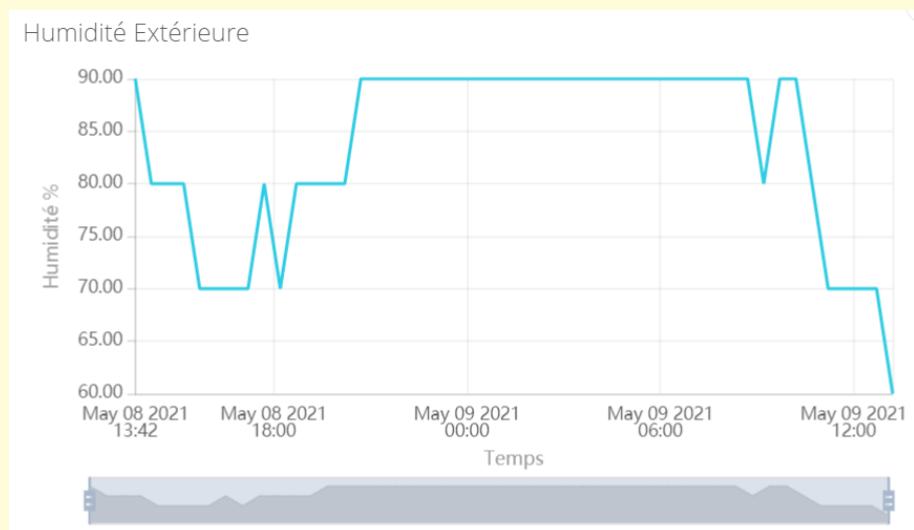
❖ L'humidité intérieure



Courbe de l'humidité intérieure

Nous observons que l'humidité intérieure de la ruche est assez proche de l'humidité extérieure observée par la suite : cela est dû au fait que le capteur n'est pas placé au centre de la ruche mais proche de l'extérieur. La courbe observée est donc cohérente par rapport aux conditions extérieures.

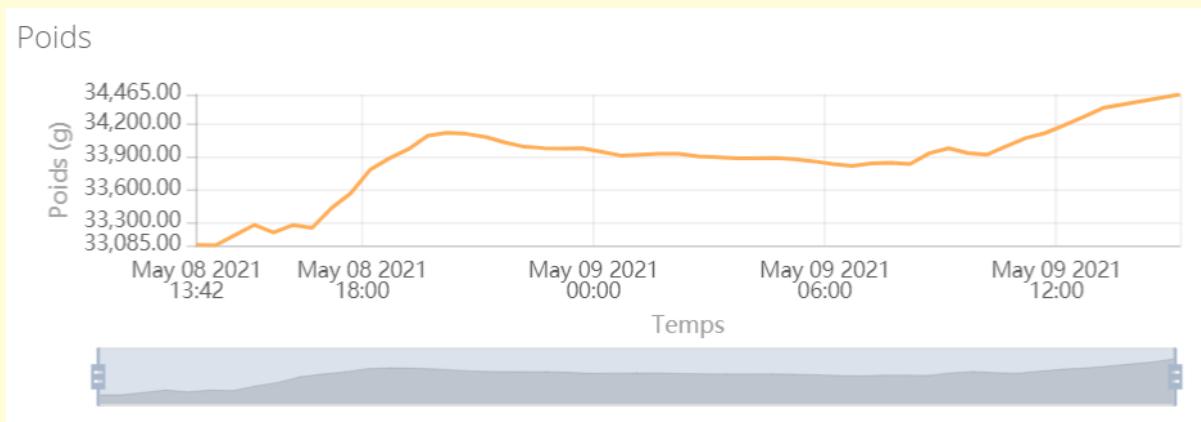
❖ L'humidité extérieure



Courbe de l'humidité extérieure

_____ Nous observons que l'humidité est assez élevée. Cela est cohérent avec les conditions réelles de test de la période et également avec les températures mesurées pour la région.

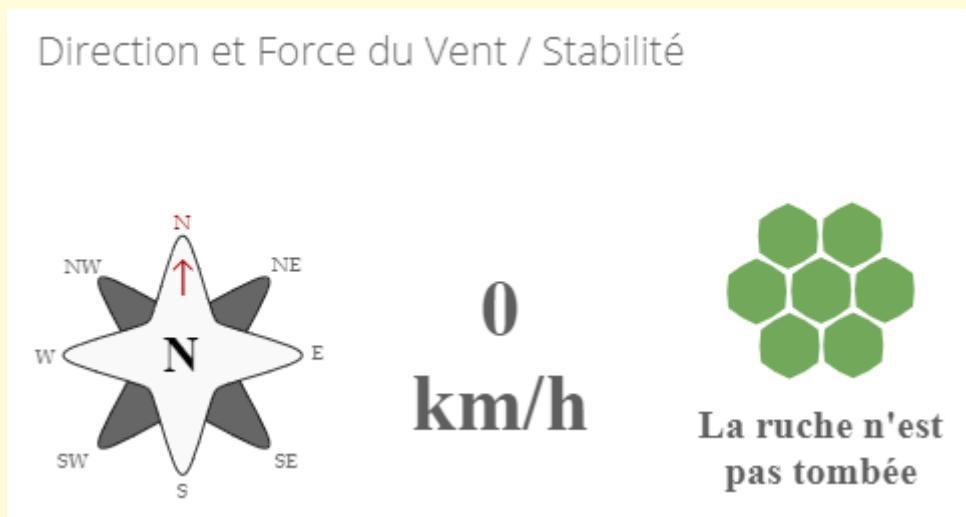
❖ Le poids



Courbe de l'évolution du poids de la ruche

Nous observons que le poids a beaucoup augmenté par rapport au début de la phase de test : il a triplé par rapport au début et a atteint au moment de la mesure environ 34,5kg. On observe également qu'il diminue légèrement la nuit. Dans les dernières mesures, nous observons qu'il augmente de plus en plus et que cela rejoint les conditions de température et d'humidité extérieure, ayant respectivement augmenté et diminué.

❖ La position de la ruche et la direction du vent



Widget de la direction et de la force du vent et de la position de la ruche

Nous observons que la ruche n'est pas tombée, ce qui est cohérent avec l'état de la ruche qui est toujours placée au rucher école de Plaisir. On observe que la direction est celle

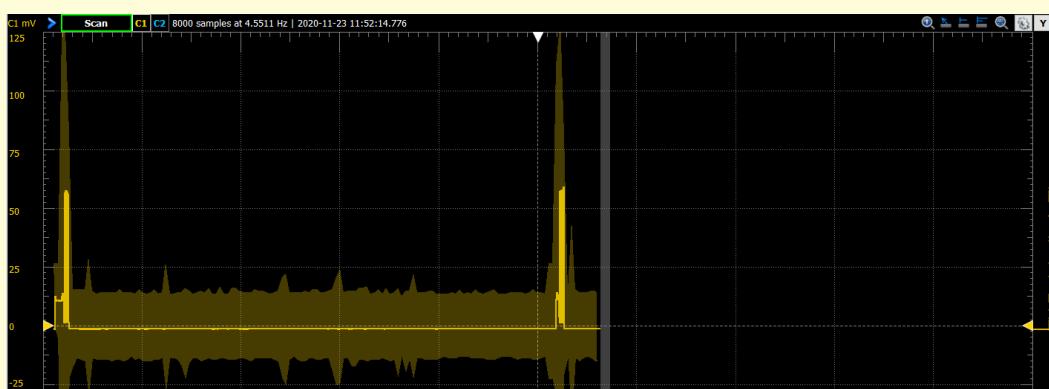
du Nord et qu'il est de 0 km/h. Cela est cohérent avec les conditions météorologiques du moment où cette mesure a été prise.

Autonomie

La consommation de notre système a été mesurée à l'aide de l'Analog Discovery 2, un outil de mesure de la consommation de courant. Grâce à une résistance de 1 Ohm mise en série dans le circuit, il est possible de mesurer à l'aide du logiciel WaveForm le courant consommé. L'autonomie de la batterie étant d'une semaine et notre prototype étant très basse consommation, de 270 µA/h en conditions normales (au-dessus de 40% d'ensoleillement par jour) : son autonomie est estimée supérieure à 6 mois. Hors conditions normales, son autonomie est garantie de 5 semaines minimum, ce qui correspond au temps de la charge.

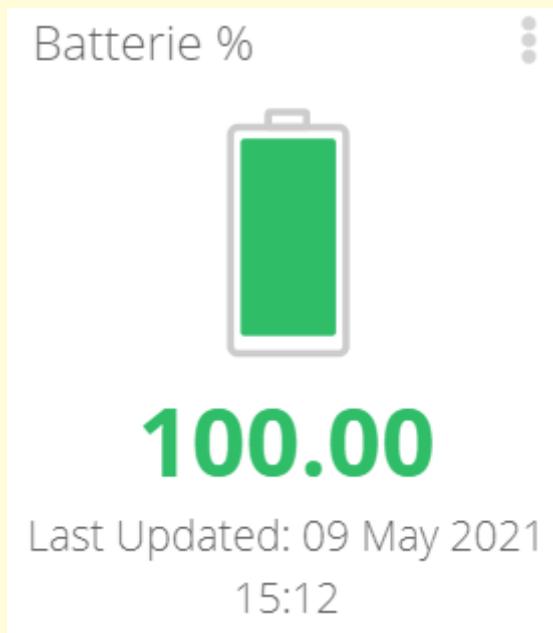


Photo de l'Analog Discovery 2



Résultats de la consommation mesurée visible sur WaveForm

Durant notre phase de test sur le terrain, nous avons pu observer l'état de la batterie. Nous avons fréquemment consulté l'interface et avons vu que la batterie était toujours "chargée" à 100%, en tout cas jamais en-dessous de 80%, comme suit :



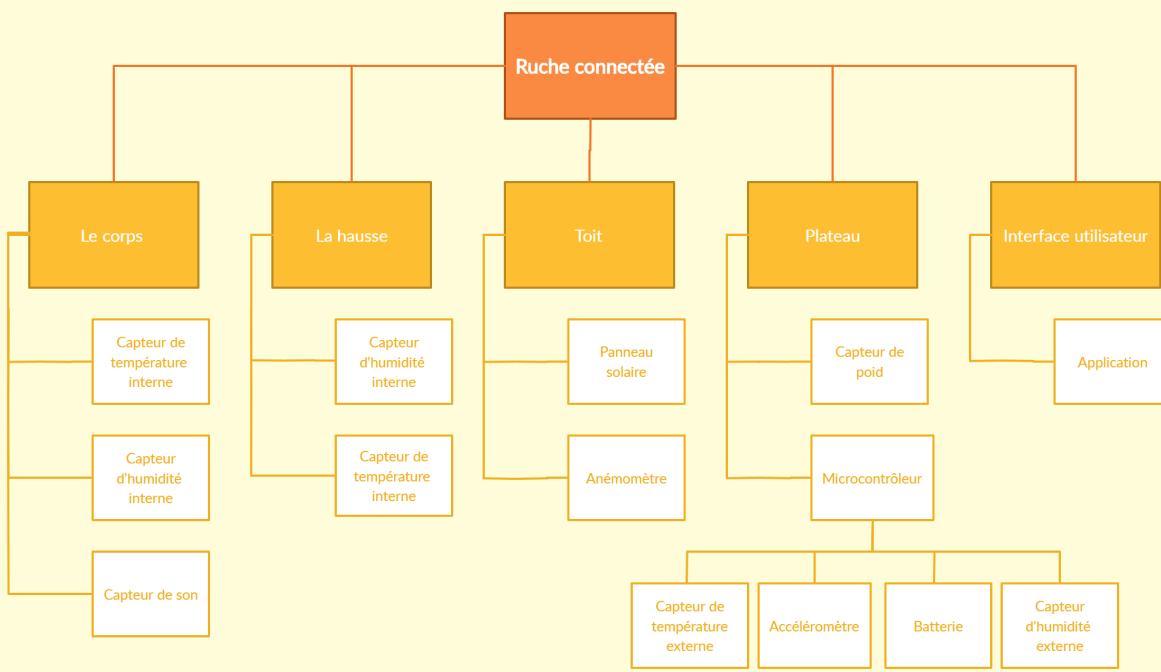
Nous pouvons en conclure que notre système a une très bonne autonomie : sa consommation est optimale, elle est assez faible pour que le système se décharge très peu dans un cycle d'une journée dans les conditions actuelles, c'est-à-dire avec un ensoleillement relativement élevé en saison printanière. Notre prototype est donc resté allumé et chargé tout au long de la phase de test.

Annexes

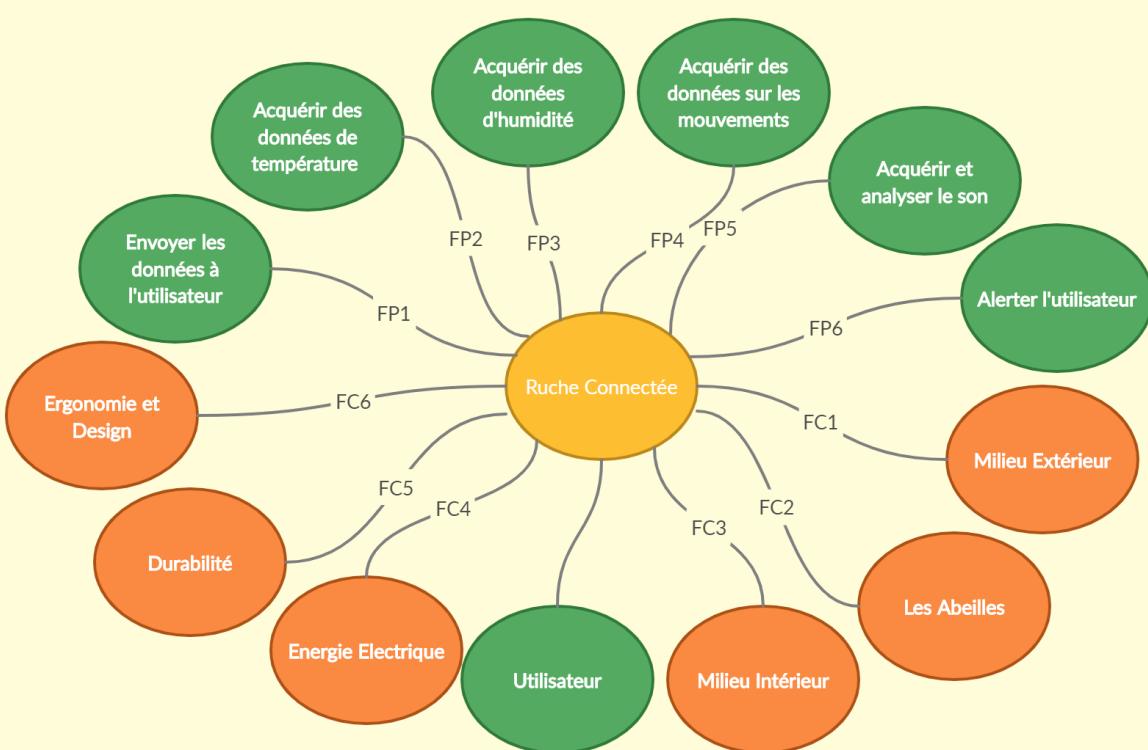
- Annexe 1 : Analyse fonctionnelle du besoin



- Annexe 2 : PBS (Product Breakdown Structure)



- Annexe 3 : Analyse fonctionnelle de l'environnement du produit



- Annexe 4 : Analyse FAST

