

Document Test - Open Ruche Monitoring - Miel Tech

Introduction

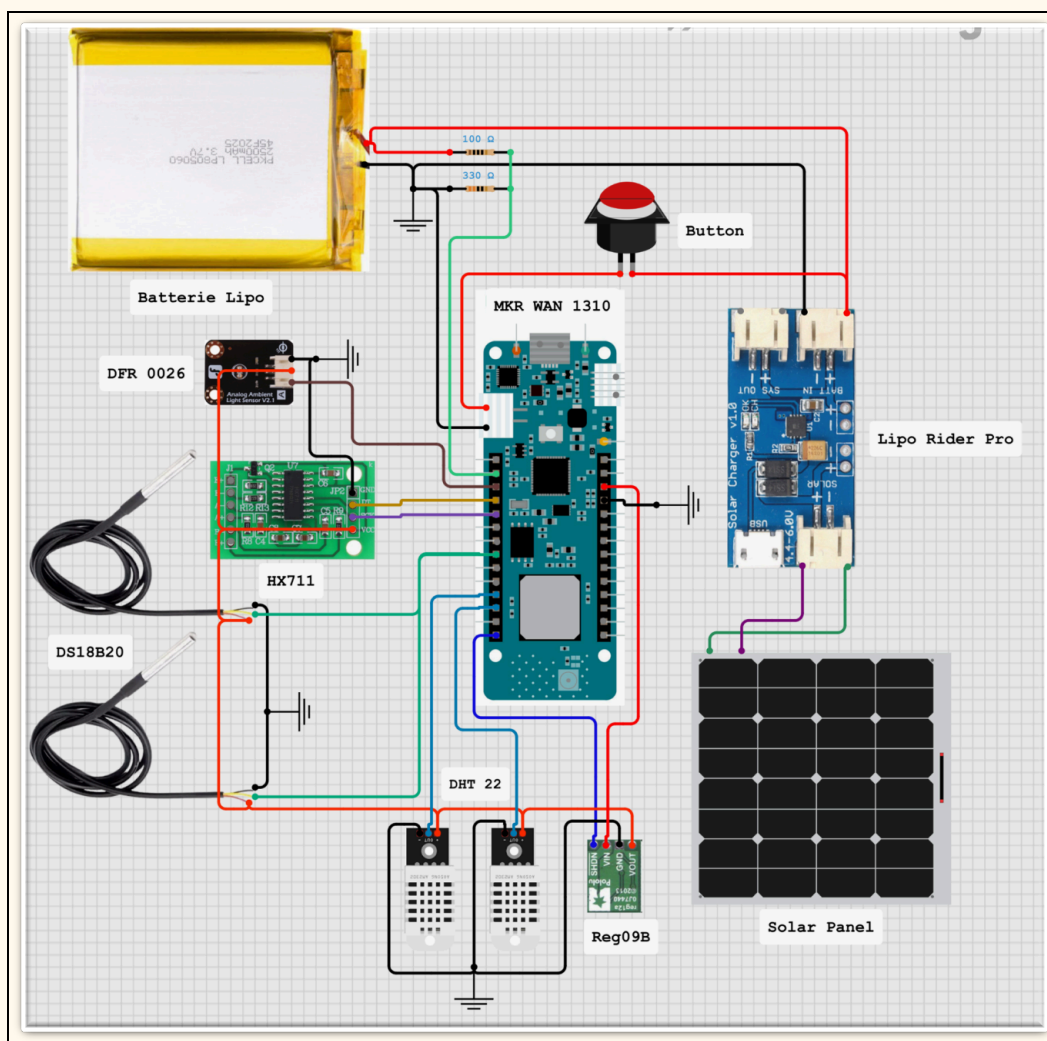
La ruche connectée « MielTech » vise à fournir aux apiculteurs un suivi en temps réel de paramètres essentiels comme la température, l'humidité, le poids de la ruche et l'état de la batterie. Les tests présentés ici ont pour objectif de vérifier la validité scientifique des mesures (en évaluant la marge d'erreur et la fiabilité) ainsi que la robustesse globale du système dans un contexte étudiant, avec des protocoles simples et réalisables en peu de temps.



Présentation du Système

Le prototype repose sur un Arduino MKR WAN 1310 chargé de collecter des données issues de divers capteurs (DHT22 et DS18B20 pour la température et l'humidité, HX711 pour la mesure du poids) et de transmettre les informations via un module LoRa. L'alimentation est assurée par une batterie LiPo associée à un panneau solaire et à un module de gestion LiPo Rider Pro. Pour surveiller la tension de la batterie, nous utilisons un pont diviseur constitué de deux résistances (100 k Ω et 330 k Ω) dont le rôle est de ramener la tension aux bornes de la batterie (pouvant atteindre 4,2 V) dans la plage admissible (0 à 3,3 V) de l'entrée analogique de l'Arduino MKR.

Figure 1 : Schéma électronique du prototype :



Le choix de ces résistances se justifie par la nécessité d'obtenir un ratio d'environ **(R2) / (R1 + R2)** proche de **1/4**. Concrètement, si la batterie est à 4,2 V, la tension mesurée par l'entrée analogique devient environ $4,2 \times (330 \text{ k}\Omega / (100 \text{ k}\Omega + 330 \text{ k}\Omega)) \approx 3,2 \text{ V}$, ce qui reste sécurisé pour notre microcontrôleur. La première résistance, de 100 k Ω , est relativement faible pour ne pas trop fausser la mesure en cas de variations rapides, tandis que la résistance plus élevée, de 330 k Ω , réduit suffisamment la tension. Ce compromis maintient un courant de fuite assez faible (de l'ordre de quelques microampères) afin de préserver l'autonomie du système.

Le tableau suivant récapitule les composants essentiels que nous avons utilisés :

Composant	Référence	Fonction principale
Microcontrôleur	Arduino MKR WAN 1310	Mesure des capteurs, envoi des données via LoRa
Capteur de température	DHT22 / DS18B20	Relevé de la température (et de l'humidité pour le DHT22)
Capteur de poids	HX711 + jauge	Mesure du poids de la ruche
Module de luminosité (optionnel)	DFR0026	Lecture du niveau de lumière dans la ruche
Panneau solaire	6 V / 1 W (exemple)	Fourniture d'énergie et recharge de la batterie
Batterie LiPo	~2000 mAh	Stockage d'énergie pour alimentation autonome
Carte de gestion solaire	LiPo Rider Pro	Contrôle de la charge de la batterie à partir du panneau solaire
Pont diviseur de tension	R1 = 100 k Ω / R2 = 330 k Ω	Abaissement de la tension batterie pour mesure analogique

Méthodologie générale de test

Notre méthodologie de test repose sur des comparaisons rapides et répétées entre les valeurs mesurées par notre système et des instruments de référence plus précis, afin d'estimer les écarts potentiels et vérifier la cohérence des données. Les essais se sont déroulés en environnement intérieur pour les premières vérifications, puis en extérieur, au plus près des conditions réelles. Nous avons utilisé un thermomètre de référence pour la température, une balance de précision pour la pesée, ainsi qu'un multimètre pour la tension. Les données étaient collectées par l'Arduino MKR WAN 1310 et transmises régulièrement via LoRa, puis vérifiées a posteriori sur une interface logicielle (BEEP ou un enregistrement local).

Scénarios de tests et protocoles de vérification

Tests de température et d'humidité

Les capteurs de température et d'humidité ont d'abord été testés en plaçant le **DHT22** et le **DS18B20** à côté d'un **thermomètre étalonné**. La procédure a consisté à relever les valeurs toutes les cinq minutes, sur une durée de trente minutes, tout en observant la référence. Les écarts notés restaient globalement en deçà de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour la température. Du côté de l'humidité, nous avons constaté des fluctuations pouvant aller jusqu'à $\pm 3\%$ autour de la valeur de référence, ce qui demeure acceptable pour le contexte de surveillance apicole.

Figure 2 : Relevés de température (DHT22 / DS18B20)

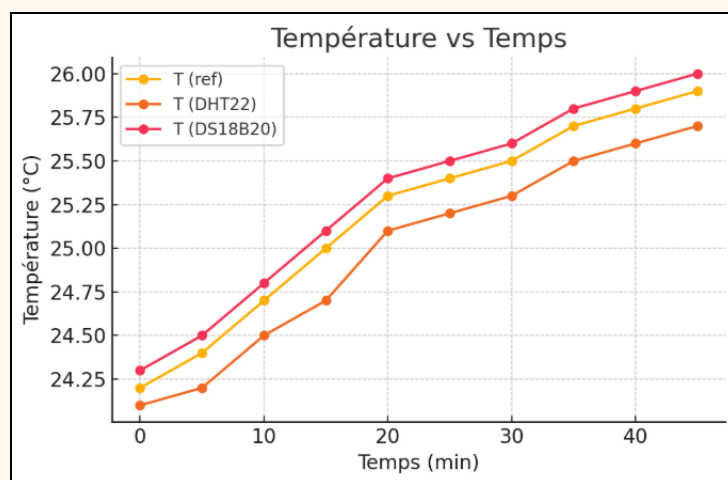
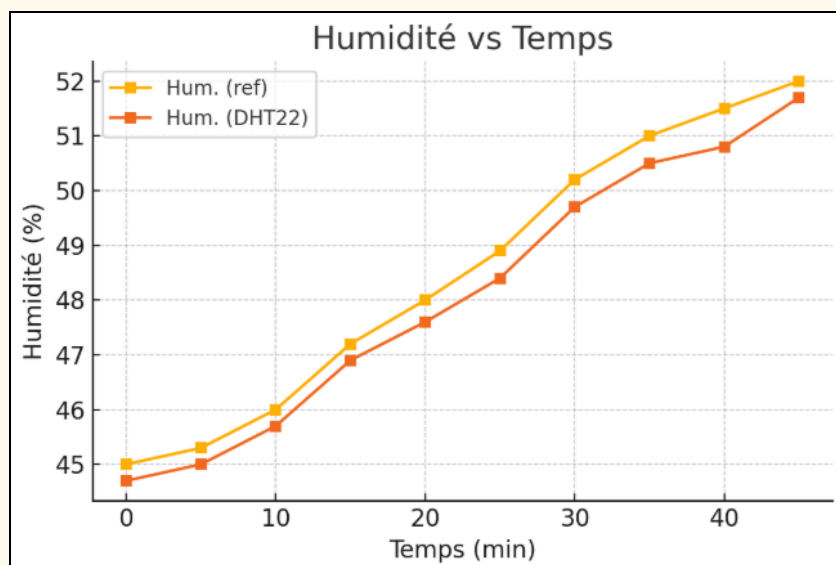


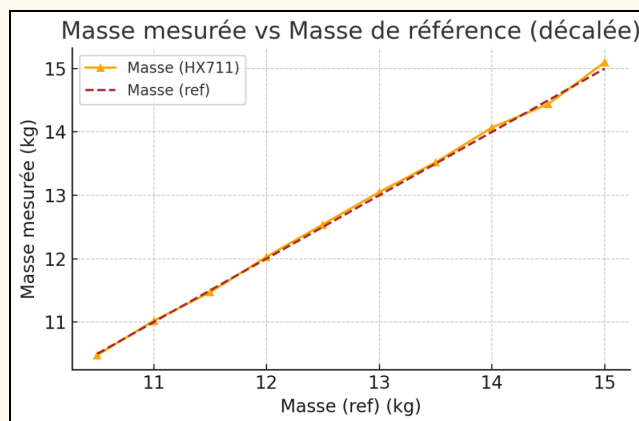
Figure 3 : Relevés de l'humidité (DHT22)



Mesure du poids

Pour la mesure du poids, nous avons déposé sur la jauge de contrainte des masses étalonnées comprises entre 10 kg et 15 kg, vérifiées au préalable sur une balance de référence. Chaque poids a été positionné successivement trois fois, afin d'évaluer la reproductibilité. L'écart moyen observé est resté de l'ordre de quelques dizaines de grammes sur un total de 15 kg, ce qui s'avère acceptable pour la surveillance d'une ruche, les variations pertinentes pouvant se chiffrer en centaines de grammes (gain ou perte de miel, évolution de la colonie, etc.).

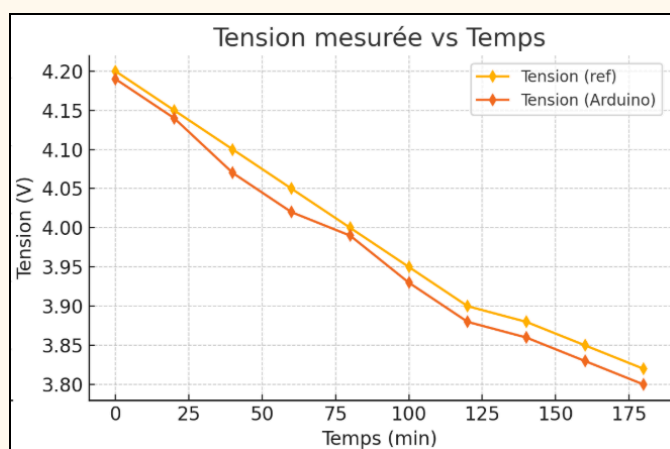
Figure 4 : Mesure du poids avec la jauge de contrainte et l'amplificateur HX711



Évaluation de la consommation énergétique

La consommation énergétique a été évaluée grâce à l'activation du **mode deep sleep** de l'Arduino MKR. Nous avons monitoré l'autonomie en suivant la **tension de la batterie** au cours d'une journée. Le **pont diviseur de tension** (100 k Ω et 330 k Ω) a permis d'envoyer au MKR une valeur comprise entre 0 V et 3,3 V, alors que la batterie peut monter au-delà de 4,2 V lorsqu'elle est complètement chargée. La tension mesurée par le microcontrôleur a été comparée à celle d'un multimètre, et nous avons observé un écart d'environ 0,05 V en moyenne, ce qui est satisfaisant. Le fait de relever la consommation toutes les deux heures a également permis de constater une diminution sensible de la consommation grâce à la mise en sommeil, la carte pouvant ainsi tenir plusieurs jours sans recharge solaire complète.

Figure 5 : Suivi de la consommation énergétique et comparaison de la tension batterie



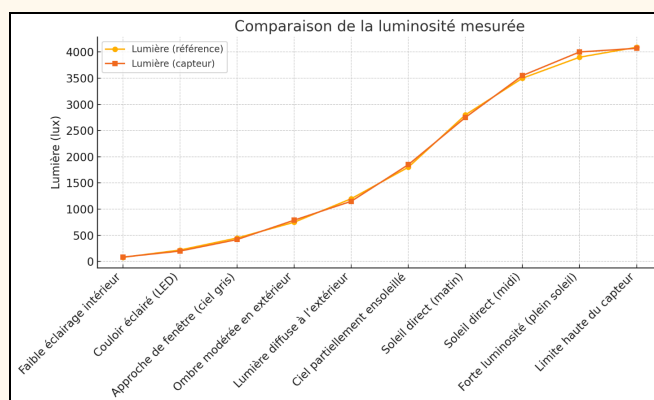
Transmission par LoRa

Enfin, la **transmission par LoRa** a été éprouvée en simulant un placement de la ruche dans une zone dégagée, puis en la déplaçant derrière un bâtiment. Nous avons comptabilisé le nombre de paquets reçus par la passerelle et constaté une perte de signal plus marquée dès qu'il y avait un obstacle en béton, ce qui correspond à la sensibilité connue de la fréquence LoRa. Dans la majorité des cas, le système restait pleinement fonctionnel sur plusieurs dizaines de mètres en terrain partiellement obstrué, ce qui semble suffisant pour une **exploitation apicole** standard.

Mesure de la luminosité

Le capteur de luminosité que nous utilisons (dont la plage de mesure peut aller jusqu'à 4096 lux) a été évalué à l'aide d'une application de mesure installée sur un téléphone, servant de référence approximative. Nous avons relevé les valeurs dans différents environnements (faible éclairage, ombre, plein soleil) afin de couvrir l'ensemble de la plage utile.

Figure 6 : Suivi de la luminosité et comparaison au luxmètre de notre téléphone



Les écarts restent globalement compris entre quelques dizaines et une centaine de lux, ce qui demeure acceptable pour détecter les variations de luminosité dans le cadre d'une ruche connectée. Dans cette application, il s'agit surtout de repérer des changements notables (par exemple, ouverture du toit de la ruche, passage d'une zone ombragée à un plein soleil), plutôt que d'effectuer des mesures photométriques de haute précision.

Conclusion

Les tests réalisés, bien que menés de façon simple et rapide, ont permis de confirmer la validité des mesures de température, d'humidité et de poids dans une marge d'erreur acceptable. Ils ont également établi la fiabilité de notre pont diviseur de tension pour la surveillance de la batterie, avec un écart limité par rapport à des mesures effectuées au multimètre. L'approche adoptée reste celle d'une équipe étudiante disposant de ressources limitées, mais démontre déjà un niveau de cohérence suffisant pour envisager une utilisation sur le terrain. Le mode deep sleep et l'alimentation solaire offrent par ailleurs de bonnes perspectives d'autonomie, rendant la ruche connectée opérationnelle sur plusieurs jours sans intervention..