



Projet : Système de Surveillance Agricole avec Capteur d'Humidité du Sol Utilisant la Transmission Sans Fil LoRa

Préparation SAE 22

Clément HERBRECHT BOURGOIN

Bohdan DYSHLEVYY

Quentin PICOT

Ludéric BROSSE

1. Plan	2
2. Répartition des rôles	
3. Partie Clément	
3.1 Cahier des charges.....	3
4. Partie Bohdan	
4.1 Estimation du payload.....	5
4.2 Estimation du débit binaire nécessaire à votre application.	5
5. Partie Quentin	
5.1 Choix de la bande passante et du SF adaptés à votre projet.....	5
5.2. Synthèse.....	6
6. Partie Ludéric	
6.1 Consommation d'une carte LoRa.....	7
6.2 Consommation de votre carte LoRa dans le cadre de votre application.....	8
6.3 Dimensionnement de la source d'alimentation.....	8
7. Question Bonus.....	9
8. Synthèse.....	9
9. Séance encadrée	
9.1 Test de transmission.....	10
9.1.1 Conclusion.....	12
9.2 Mesures de trames LoRa avec SDRangel.....	12
9.2.1 Conclusion.....	14
9.3 Mesures en condition de fonctionnement.....	14
10. Séance n°3 : Caractérisation d'un système de transmission numérique	
10.1 Commentaire du code.....	15
10.2 Etude théorique de la portée d'une transmission LoRa.	17
10.3 Synthèse.....	19
11. Séance encadrée n°3 : Mesurer et caractériser un signal ou un système	
11.1 Mesures en extérieur.....	20
11.2 Mesures en intérieur.....	22
11.3 Validation de la portée de votre projet.....	24
11.4 Conclusion.....	25

2. Répartition des rôles

Chef de projet : Clément HERBRECHT BOURGOIN

Responsable Portée : Bohdan DYSHLEVYY

Responsable Débit : Quentin PICOT

Responsable Consommation : Ludéric BROSSE

3. PARTIE CLÉMENT

3.1. Cahier des charges

A/ Qui est couvert par notre application

L'objectif est de suivre l'humidité du sol dans les fermes pour améliorer les techniques d'arrosage. Une surveillance continue qui aide à ajuster l'irrigation, à réduire le gaspillage d'eau et à améliorer la santé et le rendement des cultures.

B/ Que vont mesurer les capteurs ?

Chaque capteur mesure l'humidité du sol en pourcentage, donnant des détails précis sur les niveaux d'humidité à différents endroits du champ.

C/Fréquence d'envoi des données

Le capteur transmet ses données toutes les heures, permettant une surveillance quasi instantanée et un ajustement rapide si nécessaire.

D/ Où seront déployés les capteurs

Le capteur sera placé dans une zone rurale située dans un champ agricole. La batterie rechargeable peut être combinée avec des panneaux solaires pour une autonomie plus longue sans source d'alimentation fixe à proximité.

E/ Environnement de déploiement du récepteur de données

Le récepteur de données sera installé dans une ferme à proximité des champs. Il aura accès à une source d'énergie électrique fixe, garantissant ainsi une réception fiable et continue des données transmises par les capteurs.

F/ Distance de transmission des données

En milieu rural, la distance entre les capteurs et le récepteur sera de 1 à 2 km, ce qui garantit une transmission efficace des données sans interruption majeure.

G/ Autres spécificité

Les capteurs doivent être entretenus pendant six mois afin d'assurer une surveillance permanente et fiable.

Détermination des Performances Techniques

Quel capteur est nécessaire ?

Des capteurs d'humidité du sol capacitifs et résistifs seront utilisés pour répondre aux exigences de l'application. Il faudra que ces capteurs soient compatibles avec une interface de transmission LoRa (Long Range), afin d'assurer une communication efficace sur de longues distances.

Nombre de bits pour les données à transmettre

Les données d'humidité du sol seront codées en 8 bits, offrant une précision suffisante pour une plage de valeurs allant de 0 à 100%.

Transmission des données

Les informations seront transmises brutes, sans aucun texte additionnel, afin de réduire au minimum la quantité de données à envoyer et d'optimiser la transmission.

4. PARTIE BOHDAN

4.1. Estimation du payload

1) Chaque transmission de données d'humidité du sol nécessitera une charge de 8 bits. Nous avons choisi cette taille pour transmettre efficacement les données d'humidité en pourcentage, offrant une précision suffisante pour notre application agricole.

4.2. Estimation du débit binaire nécessaire à votre application

2) Pour un compromis entre tous les CRC on a choisi le CRC 4/6 on sait que le préambule et la synchro on a déjà 100 bits on a 8 bits de transmission qui doivent être multipliés par 1,5 valeurs données dans le sujet

3) On a donc :

$$100 + 8 \times 1,5 = 120 \text{ bits}$$

on le divise par 3600 pour être en seconde

$$120 / 3600 = 0.333 \text{ bits/s}$$

5. PARTIE QUENTIN

5.1 Choix de la bande passante et du SF adaptés à votre projet

4) Le débit max de LoRa dépend de la bande passante (BW) et du spreading factor (SF). Le débit max est atteint une fois que le BW est au maximum et que le SF est au minimum.

5) Selon les graphiques que vous avez fournis dans le sujet on a les plages pour $BW = 125 \text{ kHz}$, 250 kHz , 500 kHz pour un $SF=7, 9, 12$

6) Plus le BW est large plus la portée et la sensibilité sont réduites. Plus la SF augmente, plus la sensibilité augmente.

7) Plus on a un BW large et un SF bas, plus la portée sera réduite. Pour maximiser la portée, il faut une BW plus petite et un SF plus élevé.

8) Pour optimiser la portée tout en satisfaisant les besoins en débit, nous avons pris pour $BW = 125 \text{ kHz}$ et $SF = 12$.

5.2 Synthèse

Le débit maximal de LoRa dépend de la bande passante (BW) et du facteur d'étalement (SF), atteignant son maximum lorsque BW est au plus large et SF au plus bas. Les valeurs de BW sont 125 kHz , 250 kHz , et 500 kHz , tandis que les SF sont $7, 9$, et 12 . Une BW plus large réduit la portée mais augmente la sensibilité, tandis qu'un SF plus élevé augmente la portée mais réduit la sensibilité. Pour optimiser la portée tout en satisfaisant les besoins en débit, une BW de 125 kHz et un SF de 12 ont été choisis.

Pour le planning, notre groupe s'est réuni le samedi 1 et le dimanche 2 juin afin de commencer et de finaliser la SAE 22. Nous avons donc fait toutes les parties sur ces deux jours. Cependant nous avons rencontré des difficultés au niveau des calculs et du choix du capteur.

6.PARTIE LUDÉRIC

6.1. Consommation d'une carte LoRa

1) Définitions de la puissance et de l'énergie :

La puissance est la valeur de la charge ou de la transformation en watts par unité de temps.

L'énergie d'un système est la capacité de travailler ou d'induire un changement. Elle peut se présenter sous différentes formes et être transformée d'une forme à une autre, mais elle ne peut être ni créée ni détruite.

2) Nous avons 4 modes de fonctionnement qui sont : Réception, Emission, Normal et en Veille. Nous utilisons la formule $P(W) = I(A) * V(V)$ afin de trouver la puissance qui est consommée.

Tout d'abord on convertit les mA en A donc on fait :

$$10 \text{ mA} = 10 \times 10^{-3} = 0.01 \text{ A}$$

Ensuite nous pouvons utiliser la formule vu ci dessus :

- Réception : $0.01 \text{ A} * 3.3 \text{ V} = 0.033 \text{ W}$
- Émission : $0.05 \text{ mA} * 3.3 \text{ V} = 0.165 \text{ W}$
- Normal : $0.005 \text{ mA} * 3.3 \text{ V} = 0.0165 \text{ W}$
- Veille : $0.0001 \text{ mA} * 3.3 \text{ V} = 0.00033 \text{ W}$

3) Afin de connaître l'énergie consommée en W.h, nous avons utilisé la formule : $E(W.h) = P(W) * t(h)$

Pour convertir les ms en heure on fait : $1.6 \text{ ms} = 1.6 / 3.6 \times 10^6$

Nous avons donc les calculs suivants pour un cycle de 10.3ms :

- Réception : $0.033 \text{ W} * 4,4444.10^{-7} \text{ h} = 1,4652 \text{e-8 Wh}$
- Émission : $0.165 \text{ W} * 5,8333.10^{-7} \text{ h} = 6,625 \text{e-8 Wh}$
- Normal : $0.0165 \text{ W} * 6,6667.10^{-7} \text{ h} = 1,1 \text{e-10 Wh}$
- Veille : $0.00033 \text{ W} * 1,1667.10^{-6} \text{ h} = 3,85 \text{e-10 Wh}$
- Total : $\approx 8,14 \text{e-8 Wh}$

6.2. Consommation de votre carte LoRa dans le cadre de notre application

4)Durée d'une trame complète

- Min (BW = 500 kHz, SF = 7) : $2^7 / (500e3 * 7) \approx 0.00036$ s
- Max (BW = 125 kHz, SF = 12) : $2^{12} / (125e3 * 12) \approx 0.0027$ s

5)Pour calculer le nombre d'énergie consommée pour une seul émission il faut faire $P(W) * t(s)$. On applique la formule :

$$\text{Min} = 0.165 * 0.00036 \approx 5.94e-5 \text{ Wh}$$

$$\text{Max} = 0.165 \text{ W} * 0.0027 \text{ s} \approx 4.45e-4 \text{ Wh}$$

6)Même principe

$$\text{Min} = 0.033 * 0.00036 = 1.188e-5 \text{ Wh}$$

$$\text{Max} = 0.033 * 0.0027 = 8,91e-5 \text{ Wh}$$

7)On prend les donnée fournis dans le fichier on as 3,7V et 2,6Ah
la formule pour calculer est

$$P=A*V \text{ et } E=P*t \text{ donc } E = A*V*t$$

$$\text{Donc } 3,7*2,6=9.62 \text{ Wh}$$

6.3. Dimensionnement de la source d'alimentation

8)On sais qu'on peut envoyer

au minimum $9.62 \text{ Wh} / 5.94e-5 \text{ Wh} \approx 162\,054$ trames

et au maximum $9.62 \text{ Wh} / 4,45e-4 \text{ Wh} \approx 21\,594$ trames

- Min : 162 054 heures ≈ 18 ans

- Max : 21 594 heures ≈ 2.5 ans

9) Pour le récepteur :

Au minimum en transmission

$9.62 \text{ Wh} / 1.88 \times 10^{-5} \text{ Wh} = 809\,765 \text{ trames}$

$809\,765 / (24 \times 365) = 92.5 \text{ ans}$

Au Maximum de la transmission

$9.62 \text{ Wh} / \text{Wh} = 107\,969 \text{ trames}$

$107\,969 / (24 \times 365) = 12.3 \text{ ans}$

7. Question bonus

Nous avons trouvé une solution d'alimentation pour l'énergie renouvelable. Une batterie AA lithium avec recharge solaire. L'autonomie serait donc élevée avec une maintenance réduite. Cependant, le coût initial sera plus élevé, et la batterie sera dépendante de l'ensoleillement.

8. Synthèse

Le capteur d'humidité du sol utilisé dans le projet de surveillance de l'humidité du sol agricole doit être alimenté de manière autonome et envoyer les données via LoRa sur une distance de 1 à 2 km. La batterie rechargeable et la recharge solaire sont les deux principales solutions d'alimentation envisagées. Les batteries AA lithium avec recharge solaire ont une autonomie élevée et une maintenance réduite, même si leur coût initial est plus élevé et leur performance dépend de l'ensoleillement. Les capteurs doivent être optimisés pour un SF de 12 et une BW de 125 kHz afin de maximiser leur portée tout en répondant aux besoins en débit de données. On peut également choisir un SF de 9 avec un BP de 250 kHz. Ce système offre une durée d'utilisation de 2,5 à 18 ans, selon les conditions d'émission et de réception. Le choix de batteries avec recharge solaire pour une surveillance continue et efficace est justifié par l'équilibre entre la durabilité énergétique et la fiabilité de

la transmission. Nous avons travaillé les samedis 1er et dimanche 2 juin. Des problèmes ont également été rencontrés en ce qui concerne les calculs.

9. Séance encadrée

9.1 Test de transmission

-L'intérêt de cette fréquence allouée est qu'elle sert à ne pas avoir d'interférence entre les signaux pour cela il en faut une différente des autres. 867E6

-Cette puissance à 14 dBm est dite comme "limite à ne pas dépasser en puissance bande passante ISM".

-La transmission fonctionne

BandWidth	SF	Réception du payload?	Avec ou sans erreur ?	Autre commentaire
125	12	Oui	sans	vitesse d'émissions lente
	9	Oui	sans	vitesse d'émissions rapide
250	12	Oui	sans	vitesse d'émissions correcte
	9	Oui	sans	vitesse d'émissions rapide
500	12	Oui	sans	vitesse d'émissions correcte
	9	Oui	sans	vitesse d'émissions rapide

-Comme nous souhaitons toucher une distance longue, on aurait besoin d'une trame plus longue car un préambule court accélère la vitesse de transmissions mais ne garantit pas de grande distance.

-On choisit de garder le préambule par défaut (8) car nous ferons un test toutes les heures donc nous ne serons pas affectés par le préambule ni par la durée de transmissions.

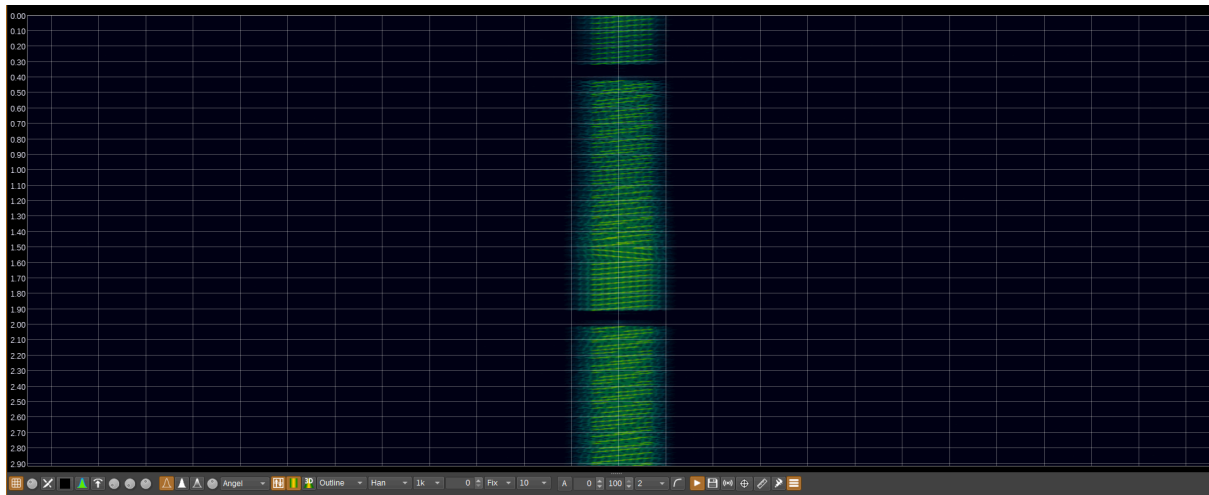
-Nous n'avons constaté aucune erreur de transmission avec un crc de base et en modifiant le SF et BW comme nous ne faisons que 1 trames par heure nous devons être sur qu'elle n'auras pas d'erreur on as décider de ce mettre en 4/6.

9.1.1 Conclusion

Nous avons donc conclu que notre choix de départ était bon et le plus adéquat pour notre capteur est donc un SF de 12 et une BW de 125 kHz afin de maximiser les portées tout en prenant en compte les besoins en débit de données. Nous pouvons également prendre un SF de 9 et un BW de 250 kHz.

9.2 Mesures de trames LoRa avec SDRangel

1)



2) On peut constater que le temps de transmission est réduit lorsque l'on augmente BW (250) et un SF à (12)

675 secondes

3) Quand on fait varier SF avec un BW à 250 et un SF a 8, on a 50 ms et pour un SF a 10 on a 266 ms

On voit que bien que le SF a un impact sur le temps de transmission de la trame plus le SF est faible plus on est plus rapide à transmettre.

4) Le tableau est ci-dessous :

5) Lorsque nous faisons une moyenne de temps de silence, c'est-à-dire : $(0.1+60+150+110+200+50)/6$ nous trouvons une valeur de 95 ms ce qui est envisageable dans le cadre de notre projet.

BandWidth	SF	Longueur de trame (ms)	Temps de silence (ms)	Validité C.C du projet
125	12	1500	100	Oui
	9	200	60	Oui
250	12	650	150	Oui
	9	180	110	Oui
500	12	350	200	Oui
	9	50	50	Oui

6) formule

$$E = P \cdot t$$

$$\text{trames} = Q(\text{capacité}) / E$$

$$\text{durée de vie} = \text{trames} / 24$$

BandWidth (KHZ)	SF	Longueur de trame	Conso énergie par trame (mW.h)	Durée de vie batterie
125	12	1500	0.2475	2 jours
	9	200	33	10 jours

250	12	650	107.25	0.4 jours
	9	180	29.7	11 jours
500	12	350	57.75	6 jours
	9	50	8.25	48 jours

9.2.1 Conclusion

Nous pouvons donc remarquer que nous n'avons pas de problème de consommation. C'est pourquoi dans le tableau de la question 4 nous avons tout validé au niveau du cahier des charges.

Cependant nous pourrions avoir des problèmes au niveau de la distance. Nous restons donc sur nos choix précédents avec un SF à 12 et un BW à 125. En deuxième choix, nous gardons également un SF à 9 et un BW à 250. En effet, nous avons besoin d'une portée plus importante en dépend de la bande passante, ce qui explique notre choix d'avoir un SF plus élevé et un BW moins élevé. De plus, la durée de recharge de la batterie est plutôt longue l'une à 6 jours et l'autre à 11 jours. On pourrait même s'intéresser à SF 9 et BW 500 puisque sa portée et sa durée de vie sont très élevées.

9.3 Mesures en condition de fonctionnement

10. Séance n°3 : Caractérisation d'un système de transmission numérique :

10.1 Commentaire du code :

```
#include <SPI.h> //Inclut la bibliothèque SPI pour la communication entre le
microcontrôleur et le module LoRa
#include <LoRa.h> // Inclure la bibliothèque LoRa pour la communication LoRa

// Définir les Pin utilisées pour la communication LoRa
#define SS 10
#define RST 8
#define DI0 2

// Définir les paramètres de transmission LoRa
#define BAND 866E6 // Régler la bande de fréquence LoRa sur 866 MHz
#define spreadingFactor 11 // Régler le facteur d'étalement à 11
#define SignalBandwidth 125E3 // Réglez la largeur de bande du signal à 125 kHz
#define preambleLength 8 // Régler la longueur du préambule à 8 symboles
#define codingRateDenominator 8 // Fixer le dénominateur du taux de codage à 8
#define Pow 14 // Régler la puissance d'émission à 14 dBm

// Définir les variables
int counter = 0; // Variable de comptage du nombre de paquets envoyés
long freq_start = 863e6; //Fréquence de départ pour le balayage
long freq_stop = 870e6; // Fréquence d'arrêt du balayage
long freq_step = 1e6; //Taille du pas de fréquence pour le balayage
long next_freq = freq_start; //Variable permettant de stocker la prochaine fréquence
à transmettre
void setup() {
//Configurer les broches de communication LoRa
LoRa.setPins(SS, RST, DI0) ;

// Initialisation de la communication série pour le débogage (vitesse de transmission
= 115200)
Serial.begin(115200);

//Commencer la communication LoRa
if (!LoRa.begin(BAND)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
```

```

        while (1); //Boucle à l'infini si l'initialisation de LoRa échoue
    }

    //Régler les paramètres de transmission LoRa
    LoRa.setSpreadingFactor(spreadingFactor);
    LoRa.setSignalBandwidth(SignalBandwidth);
    LoRa.setCodingRate4(codingRateDenominator);
    LoRa.setPreambleLength(preambleLength);
    LoRa.setTxPower(Pow, 14);

    // Imprimer la configuration LoRa pour le débogage
    #ifdef SHOW_DEBUGINFO
    Serial.println("LoRa Sender");
    Serial.print("LoRa Spreading Factor: ");
    Serial.println(spreadingFactor);
    Serial.print("LoRa Signal Bandwidth: ");
    Serial.println(SignalBandwidth);
    Serial.print("LoRa power: ");
    Serial.println(Pow);
    Serial.println("LoRa Initial OK!");
    delay(5000); // Retard de 5 secondes (en option)
    #endif
}

void loop() {
    //Régler la fréquence suivante pour la transmission
    LoRa.setFrequency(next_freq);

    //Imprimer des informations de débogage sur la fréquence transmise
    #ifdef SHOW_DEBUGINFO
    Serial.print("Sending packet: ");
    Serial.print(next_freq / 1e6); //Conversion de la fréquence en MHz pour l'impression
    Serial.println(" MHz");
    #endif

    //Incrémente la fréquence pour la prochaine itération
    next_freq += freq_step;

    // Vérifie si la fréquence a atteint la fin de la plage de balayage
    if (next_freq > freq_stop) {
        next_freq = freq_start; //Remise de la fréquence à la valeur de départ
    }
}

```



```

// Préparer un paquet à envoyer (le paquet ne contient que la fréquence actuelle)
LoRa.beginPacket();
LoRa.print(next_freq);
LoRa.endPacket();

// Incrémente le compteur pour garder une trace du nombre de paquets envoyés
counter++;

// Faire basculer la LED connectée à la broche 13 pour visualiser la transmission
digitalWrite(13, HIGH);
delay(200);
digitalWrite(13, LOW);
delay(200);
}

```

Ce code permet de transmettre des données à différentes fréquences LoRa sur une plage définie. Il peut être utilisé pour des applications telles que la recherche de canal LoRa optimal ou la communication avec plusieurs appareils LoRa à différentes fréquences.

10.2 Etude théorique de la portée d'une transmission LoRa :

A/ En Europe, la puissance maximale d'émission qui est autorisée dans la bande ISM 868 MHz est 14 dBm

B/Graphiquement, avec un SF de 12 et un BW de 125 kHz, la sensibilité du récepteur LoRa est d'environ -134 dBm

C/Avec une puissance d'émission de 14 dBm et une sensibilité du récepteur de -134 dBm, les pertes maximales tolérables sont :
 $14\text{dBm} - (-134\text{dBm}) = 148\text{dB}$

D/Afin de calculer la portée maximale (R) en fonction de différents environnements, il faut utiliser la formule suivante :

$$\text{pertes} = 146,4 + 44,9 \cdot \log_{10}(R) + C$$

On a pertes = 148. On cherche à isoler R donc nous faisons :

-En milieu urbain (C = 0) :

$$148 = 146,4 + 44,9 \cdot \log_{10}(R) + 0$$

$$148 - 146,4 - 0 = 44,9 \cdot \log_{10}(R)$$

$$(148 - 146,4 - 0) / 44,9 = \log_{10}(R)$$

$$R = 10^{(148 - 146,4 - 0) / 44,9}$$

$$R = 1,09 \text{ Km}$$

-En milieu suburbain (C = -9,85) :

$$148 = 146,4 + 44,9 \cdot \log_{10}(R) + (-9,85)$$

$$148 - 146,4 - (-9,85) = 44,9 \cdot \log_{10}(R)$$

$$(148 - 146,4 - (-9,85)) / 44,9 = \log_{10}(R)$$

$$R = 10^{(148 - 146,4 - (-9,85)) / 44,9}$$

$$R = 1,8 \text{ Km}$$

-En milieu rural (C = -28,35) :

$$148 = 146,4 + 44,9 \cdot \log_{10}(R) + (-28,35)$$

$$148 - 146,4 - (-28,35) = 44,9 \cdot \log_{10}(R)$$

$$(148 - 146,4 - (-28,35)) / 44,9 = \log_{10}(R)$$

$$R = 10^{(148 - 146,4 - (-28,35)) / 44,9}$$

$$R = 4,6 \text{ Km}$$

E/Pour extrapoler les résultats de portée obtenus à 100 mètres à une distance plus grande, il est possible de suivre la méthodologie suivante :

1° Mesurer la puissance du signal reçu à 100 mètres, on note cette puissance $P_r(100)$.

2° Ensuite on utilise l'équation de Friis pour la propagation en espace libre :

$$Pr(d) = Pt \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

où :

- $Pr(d)$ est la puissance reçue à la distance d .
- Pt est la puissance transmise.
- λ est la longueur d'onde de la transmission.
- d est la distance entre l'émetteur et le récepteur.

3° On isole d pour trouver sa valeur :

$$d_{\max} = 100 \times \sqrt{Pr(100)/S}$$

On pourra donc par cette méthode extrapoler les résultats à 100m pour estimer la portée maximale de notre système LoRa.

10.3 Synthèse

Pour ce projet, avec un SF de 12 et une bande passante BW de 125 kHz, nous avons calculé les portées maximales possibles : environ 1.09 km en milieu urbain, 1.80 km en milieu suburbain, et 4.6 km en milieu rural. Utiliser un SF de 12 maximise la portée mais réduit le débit de données, tandis qu'une BW de 125 kHz équilibre la portée et débit. Le projet semble réalisable avec ces configurations, mais il faudra vérifier la stabilité de la transmission et la cohérence des résultats théoriques lors des mesures. De plus, notre projet vise le milieu rural avec une distance de 2km entre chaque LoRa. Pour le travail nous nous sommes appelés afin de réaliser les calculs et les commentaires du code le samedi 15/06. Nous n'avons pas rencontré de problème particulier lors de cette séance non encadrée.

11. Séance encadrée n°3 : Mesurer et caractériser un signal ou un système :

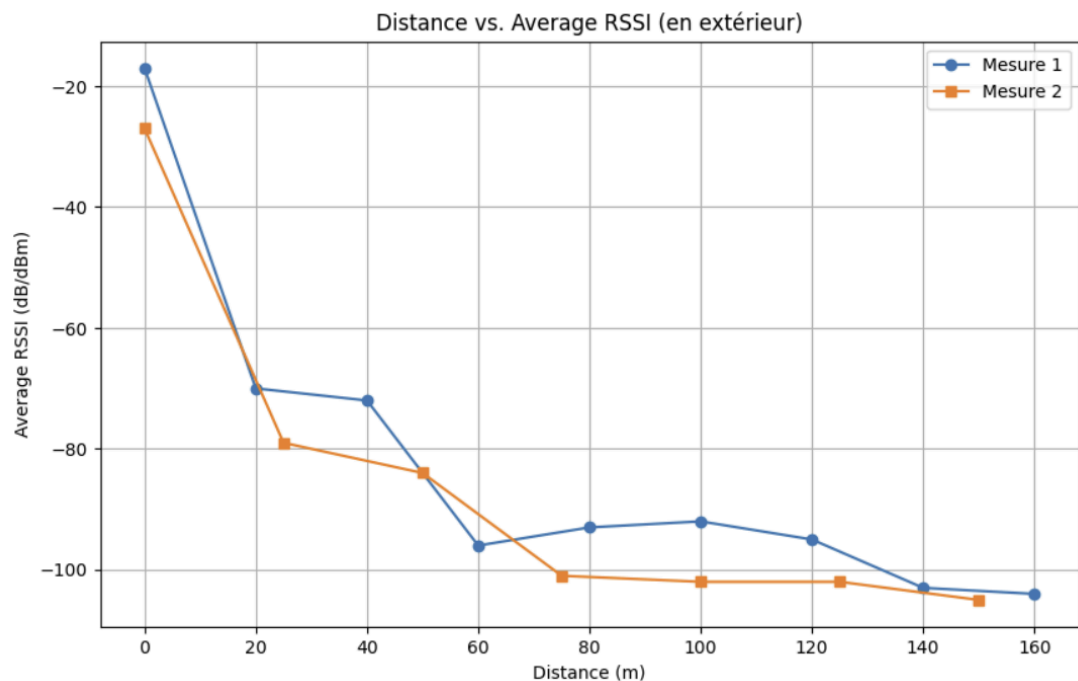
11.1 Mesures en extérieur :

Mesure 1

Distance (m)	Average RSSI (dB)
0 m	-17 dB
20 m	-70 dB
40 m	-72 dB
60 m	-96 dB
80 m	-93 dB
100 m	-92 dB
120 m	-95 dB
140 m	-103 dB
160 m	-104 dB

Mesure 2

Distance (m)	Average RSSI (dBm)
0 m	-27 dBm
25 m	-79 dBm
50 m	-84 dBm
75 m	-101 dBm
100 m	-102 dBm
125 m	-102 dBm
150 m	-105 dBm



Les mesures en extérieur montrent que la portée d'une liaison LoRa est fortement influencée par la puissance d'émission et les obstacles présents. Une puissance d'émission plus élevée améliore

la portée et la performance de la connexion, tandis que des obstacles tels que des bâtiments peuvent causer une atténuation.

11.2 Mesures en intérieur :

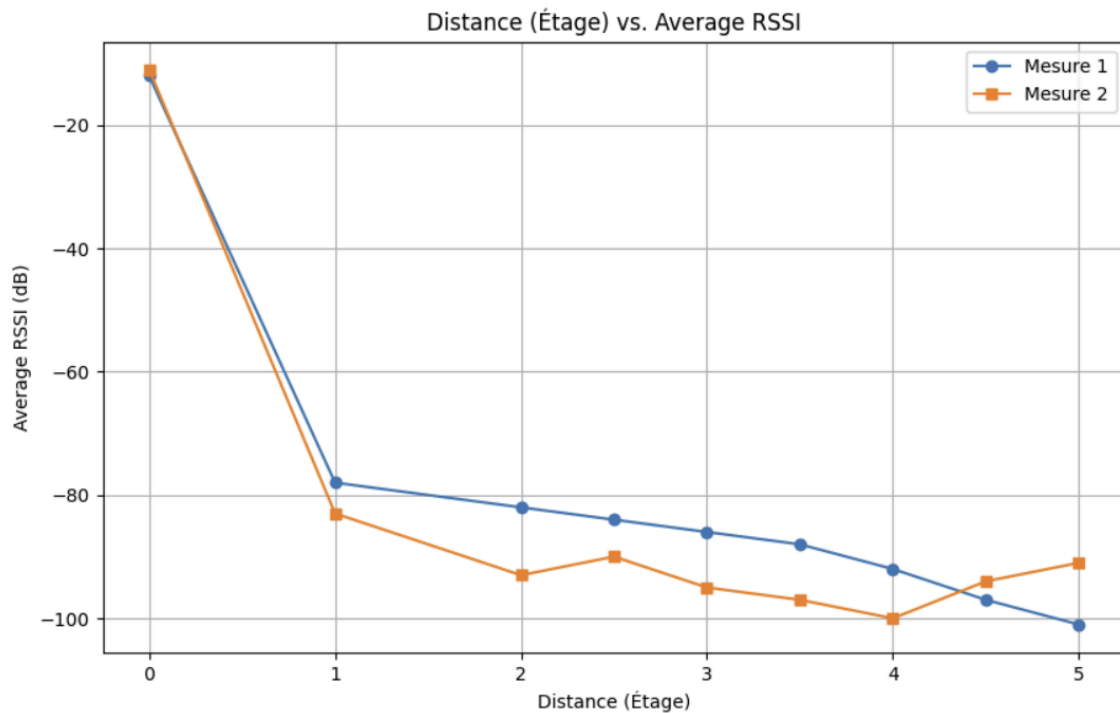
Mesure 1

Étage	Average RSSI (dB)
0	-12 dB
1	-78 dB
2	-82 dB
2.5	-84 dB
3	-86 dB
3.5	-88 dB
4	-92 dB
4.5	-97 dB
5	-101 dB

Mesure 2

Étage	Average RSSI (dB)
0	-11 dB
1	-83 dB
2	-93 dB
2.5	-90 dB
3	-95 dB

3.5	-97 dB
4	-100 dB
4.5	-94 dB
5	-91 dB



Les mesures montrent que la portée en intérieur pour une liaison LoRa est fortement influencée par les obstacles physiques et le SF utilisé. Pour des environnements intérieurs complexes avec de nombreux obstacles, un SF plus élevé peut être nécessaire pour assurer une communication stable, bien que cela allonge la durée de transmission.

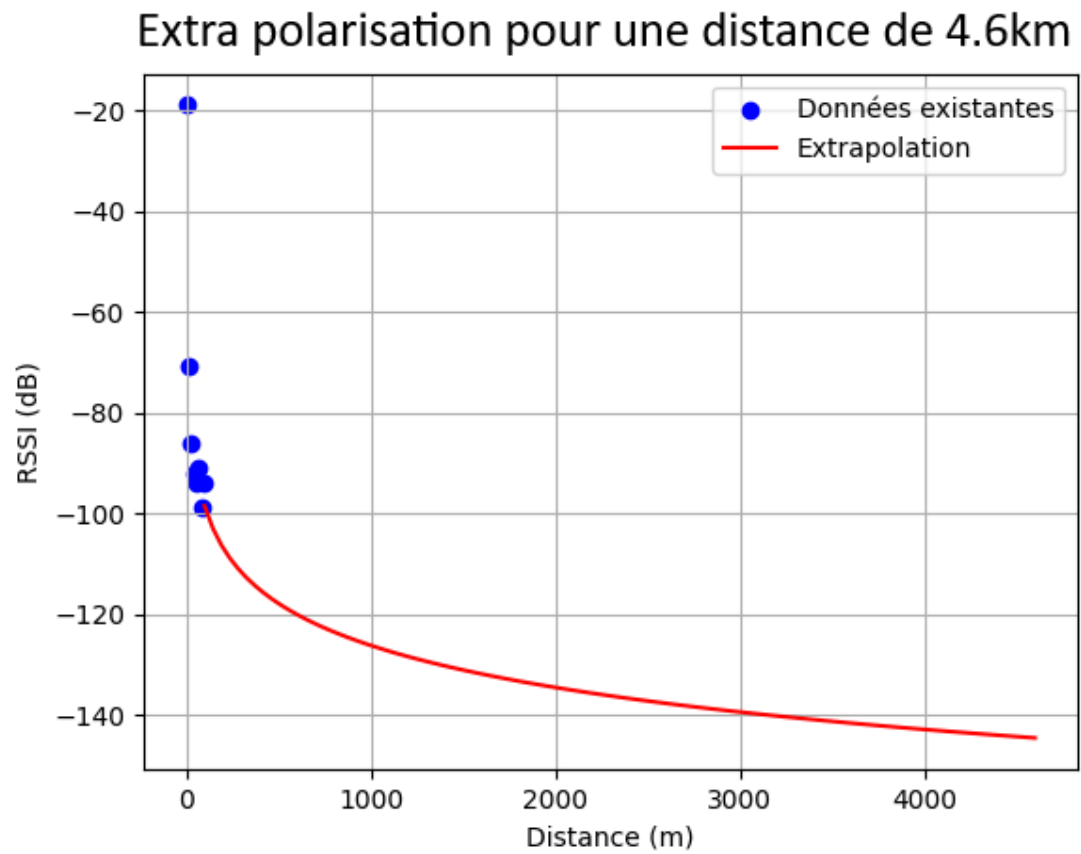
11.3 Validation de la portée de votre projet :

Mesure 1

Distance (m)	RSSI (dB)
0 m	-19 dB
14 m	-71 dB
28 m	-86 dB
42 m	-92 dB
56 m	-94 dB
70 m	-91 dB
84 m	-99 dB
100 m	-94 dB

Distance (m)	RSSI (dB)
100.0 m	-98.54 dB
500.0 m	-118.16 dB
1000.0 m	-126.37 dB
1500.0 m	-131.22 dB
2000.0 m	-134.66 dB
2500.0 m	-137.55 dB
3000.0 m	-139.88 dB
3500.0 m	-141.38 dB
4000.0 m	-142.98 dB

4600.0 m	-144.63 dB
----------	------------



Donnée extrapolée à l'aide d'un programme python.

11.4 Conclusion Générale :

Notre projet de suivi de l'humidité du sol dans les fermes est viable et prometteur. En utilisant des capteurs d'humidité du sol capacitifs et résistifs associés à une technologie de transmission LoRa, nous avons pu répondre aux exigences du cahier des charges, notamment en termes de précision des mesures, de fréquence de transmission des données et de portée. Nous avons choisi un facteur d'étalement (SF) de 12 et une bande passante (BW) de 125 kHz, permettant d'atteindre une portée de 1 à 2 km en milieu rural tout en maintenant une consommation d'énergie raisonnable. Nous avons estimé une durée de vie de la batterie allant de 2.5 à 18 ans selon les conditions d'émission et de réception. Les tests de transmission en extérieur ont confirmé les résultats théoriques, avec une portée atteignant 1.09 km en milieu urbain, 1.80 km en milieu suburbain et 4.6 km en milieu rural. La sensibilité du récepteur LoRa, fixée à -134 dBm, a permis de maintenir une connexion stable sur ces distances. Les mesures de la puissance du signal reçu (RSSI) à différentes distances ont montré une dégradation progressive mais acceptable, confirmant la robustesse de notre solution de transmission LoRa. La consommation énergétique mesurée en conditions réelles a également validé nos estimations théoriques, assurant une autonomie suffisante pour une utilisation prolongée. Les compromis effectués, notamment en matière de configuration de la transmission LoRa et de choix de la source d'alimentation, ont permis de maximiser la portée et la durée de vie du système tout en assurant une surveillance continue et fiable des niveaux d'humidité du sol. Nous sommes confiants que ce système contribuera à améliorer les techniques d'arrosage, réduire le gaspillage d'eau et optimiser la santé et le rendement des cultures.