

SAE 22 : Projet LoRa

I - Attribution des rôles

Groupe de 3 - Répartition du travail :

Chef de projet : Lancelot Mellano

Responsables techniques Portée : Lancelot

Responsables techniques Débit : Nina

Responsables techniques Consommation : Jean-pascal

II - Cahier des charges du projet : partie client

Objectif du projet :

Robot télécommandé destiné à explorer et surveiller des zones inaccessibles ou dangereuses pour l'homme. Ce robot, contrôlé à distance par une télécommande sera doté de plusieurs capteurs (température, gaz toxiques, distance, humidité) et d'un système de transmission en temps réel pour envoyer les données recueillies à l'opérateur contrôlant le robot.

A quel besoin répond votre application ?

L'application répond à plusieurs besoins cruciaux. Elle assure la **sécurité des travailleurs** en permettant l'exploration et la surveillance de zones dangereuses, telles que les usines chimiques, les mines, les grottes où même des bâtiments dégradés par des catastrophes, sans pour autant exposer les humains aux risques. Elle aide également à la **surveillance environnementale** en mesurant les niveaux de gaz dans des zones contaminées. De plus, elle facilite l'exploration de zones inaccessibles, comme les grottes et les infrastructures souterraines, **collectant des données géologiques et topographiques**.

Que doit mesurer chaque capteur ?

Le robot est doté de plusieurs capteurs : température, gaz toxiques, distance, humidité.

Le capteur de température doit **mesurer la température ambiante**.

Le capteur de gaz toxiques doit **mesurer la présence de gaz dangereux** tels que le monoxyde de carbone (CO), l'isobutane (C₄H₁₀), le propane (C₃H₈), le méthane (CH₄), l'hydrogène (H₂), et autres substances toxiques en mesurant leurs concentrations dans l'air.

Le capteur de distance sert à **mesurer les distances** entre le robot et les objets environnants pour éviter les collisions.

Le capteur d'humidité doit **mesurer le pourcentage d'humidité** relative dans l'air ambiant.

Combien de fois par seconde (ou par minute ou par heure) devraient idéalement être envoyées les données ?

Cela dépend de la criticité de la situation mais si l'on doit mesurer des distances pour éviter les collisions il serait préférable d'envoyer les données plusieurs fois par secondes. Par exemple 10 fois par secondes pour le capteur de distance tandis que 1 fois par minute pour les autres capteurs.

Dans quel environnement le capteur sera-t-il déployé ? y aura-t-il accès à une source d'énergie électrique ? Sinon quel type d'énergie (batterie ? renouvelable ?) peut être utilisée pour l'alimenter ?

Le robot sera déployé dans des environnements potentiellement dangereux et inaccessibles pour les humains, tels que : les zones industrielles (fuites de gaz toxiques...), les zones de catastrophes (incendie, effondrement, inondation...), les environnements souterrains (grottes, tunnels, mines...), les zones polluées ou contaminées (pollution, contamination chimique/radioactive).

Le robot n'aura pas accès à une source d'Energie fixe. Par conséquent, il sera équipé avec des batteries rechargeables. Ces batteries, pourront se recharger grâce à des énergies renouvelable issue par exemple de panneau solaire.

Dans quel environnement le récepteur de données sera-t-il déployé ? y aura-t-il accès à une source d'énergie électrique ? Sinon quel type d'énergie (batterie ? renouvelable ?) peut être utilisée pour l'alimenter ?

Le récepteur de données sera déployé dans un environnement contrôlé et sécurisé, généralement situé à une distance suffisante pour permettre une réception fiable des signaux transmis par le robot. A l'extérieur d'une grotte par exemple ou dans un endroit hors de danger.

Il aura accès à une source d'énergie électrique si une source se trouve à proximité. Il possèdera une batterie rechargeable au Lithium-Ion. Ce choix est dû au fait qu'il faut absolument que la réception ne tombe pas à cours d'énergie afin d'éviter de perdre la communication avec le robot.

Estimer la distance entre le capteur et le récepteur ainsi que le type d'environnement (indoor, outdoor, milieu urbain, sub-urbain, campagne, vue directe, etc....)

Dans notre projet, la distance entre le capteur et le récepteur dépend de l'environnement spécifique de l'opération.

Si l'opération s'effectue dans une grotte (souterrain), la distance peut être définie entre 500 mètres et 1 kilomètre. Le plus compliqué est de prendre en compte l'atténuation du signal par des matériaux denses (roche, béton) et des configurations de tunnels ou de grottes.

Pour un environnement urbain (Indoor/Outdoor), on peut définir comme distance entre le capteur et le récepteur, une plage de distance de 2 à 5 kilomètres. Par exemple pour des grosses usines ou zones industrielles.

III - Analyse technique du projet

3.1 Débit de données

■ 3.1.a – estimation du payload

Les capteurs nécessaires pour l'application demandée sont :

1. Capteur de température, humidité :

Capteur HTU31D ADA4832 :

Données de Sortie : Le [HTU31D ADA4832](#) transmet les données de température sur 16 bits via une interface I2C.

2. Capteurs de gaz toxique :

Capteur MQ-7 pour le Monoxyde de Carbone (CO) :

Données de Sortie : Transmet les données sous forme de tension analogique proportionnelle à la concentration de CO. La sortie étant analogique le nombre de bit sur lequel les données à transmettre seront codées correspond à la valeur du convertisseur analogique-numérique qui a une résolution en moyenne pour ce type de capteur de 10 bits.

Capteur MQ-2 pour Isobutane, le propane, le méthane, l'hydrogène :

Données de Sortie : Transmet les données sous forme de tension analogique proportionnelle à la concentration de gaz combustibles. La sortie étant analogique le nombre de bit sur lequel les données à transmettre seront codées correspond à la valeur du convertisseur analogique-numérique qui a une résolution en moyenne pour ce type de capteur de 10 bits.

3. Capteurs de distance

Garmin LIDAR-Lite v3 (ultrasons) :

Données de Sortie : Pour l'interface I2C la distance est codée sur 16 bits, pour l'interface PWM la largeur de l'impulsion correspond à la distance mesurée.

Capteurs	Données Brutes	Avec Texte Accompagnant (avec les caractères ASCII)
Capteur température + humidité : HTU31DADA4832	16 bits	24 bits (8 bits pour 1 caractère ASCII + 16 bits pour données brutes)
Capteur de gaz (CO) : MQ-7	10 bits	26 bits (16 bits pour 2 caractères ASCII + 10 bits pour données brutes)
Capteur de gaz (Isobutane, le propane, le méthane, l'hydrogène) : MQ-2	10 bits	26 bits (16 bits pour 2 caractères ASCII + 10 bits pour données brutes)
Capteur de distance : Garmin LIDAR-Lite v3	16 bits	24 bits (8 bits pour 1 caractère ASCII + 16 bits pour données brutes)

Q1. Estimer quel sera le payload , en bits, de chaque transmission

Capteur TMP117 (ADA4821) : “T” → 1 caractère * 8 = 8 bits

Capteur MQ-7 : “CO” → 2 caractères * 8 = 16 bits

Capteur MQ-2 : “GC” → 2 caractères * 8 = 16 bits *GC = Gaz combustible

Capteur Garmin LIDAR-Lite v3 : “M” → 1 caractère * 8 = 8 bits

Payload total uniquement pour les caractères : 8 + 16 + 16 + 8 = 48 bits

Payload total avec les caractères et les données bruts inclus : 24 + 26 + 26 + 24 = 100 bits

■ 3.1.b – estimation du débit binaire nécessaire à votre application

Q2. Estimer le nombre total de bits que contiendra votre trame LoRa (préambule, entête, payload et CRC) à chaque transmission (on évaluera pour le moment à 100 bits l'ensemble préambule + synchro)

Nous souhaitons avoir un grand niveau de sureté de transmission pour cela nous avons choisi le CRC 4/8 :

La majoration du payload : CRC4/8 8/4= 2

On évaluera pour le moment à 100 bits l'ensemble préambule +synchro.

Dans notre cas, chaque transmission n'est pas la même, comme on envoie les données du capteur de distance 10 fois par secondes et les données des autres capteur 1 fois par minute on va avoir deux transmissions possibles, nb1 correspond à la transmission du capteur de distance et nb2 correspond à la transmission du capteur de distance plus les autres capteurs :

-Nb1= $100 + (24 * 2) = 148$ bits.

-Nb2= $100 + (100 * 2) = 300$ bits.

Q.3. En tenant compte du nombre de transmissions désirées par seconde (ou par minute, ou par heure) dans le cadre de votre application, en déduire le débit binaire nécessaire à votre application

Nous avons choisi 10 fois toute les secondes pour le capteur de distance, ainsi que 1 fois toute les minutes pour le reste des capteurs.

Nous allons étudier le débit binaire lorsqu'il peut être le plus gros possible, soit sur 1 minute:

$(148 * 10) * 60 + 76 = 88\,876$ bits/min = 88,876 kb/min

▪ 3.1.c – Choix de la bande passante et du SF adaptés à votre projet

Q4. Quel débit max peut-on espérer en LoRa, comment paramétrer BW et SF pour l'atteindre ?

On peut espérer en LoRa un débit max de 27,5kbits/s environ et on l'atteint quand BW = 500 KHz et SF=7 d'après la figure 2.

Sinon sur la figure 1, on atteint un débit max de 3,5kbits/s environ et on l'atteint quand BW = 62,5KHz et SF=7

Q5. Proposer des plages de valeurs (min et/ou max) de BW et SF pouvant correspondre aux besoins du projet

Sur une seconde nous pouvons varier notre débit binaire de 1.448 kbits/sec à 1.524kbits/sec.

Plages de valeur minimum :

BWmin: 31.25 kHz

SFmin : 7.4

Plages de valeur maximum :

BWmax : 250 kHz

SFmax : 11

Q6. Quelle est l'influence de la bande passante et du SF sur le niveau de sensibilité du récepteur LoRa

La bande passante influence la sensibilité du récepteur. Si on choisit une bande passante plus petite, on réduit le bruit dans le canal ce qui permet de capter les plus petits signaux mais cela réduit le débit binaire. Si on prend une bande passante plus grande, forcément le débit sera plus élevé ce qui permet des communications plus rapides mais la détection des signaux faibles sera plus difficile car le bruit de fond est plus élevé. Donc la sensibilité du récepteur sera réduite.

Pour le SF, plus il est élevé, plus la sensibilité du récepteur est améliorée. Mais cela réduit le débit de données. Quand le SF est élevé, chaque bit d'information est réparti sur plus de symboles.

Un SF plus bas augmente le débit de données mais réduit la sensibilité du récepteur.

Q7. En déduire quelle sera leur influence sur la portée d'une transmission LoRa

Si la bande passante est plus petite, la portée de la transmission est étendue. Mais cela peut limiter la portée des transmissions nécessitant un débit élevé.

Une SF élevée augmente aussi la portée de la transmission mais peut également limiter la portée dans la transmission nécessitant un débit élevé.

Q8. Entre plusieurs choix de BW et SF qui satisferaient à votre cahier des charges en termes de débit binaire, lequel choisiriez-vous donc pour optimiser également la portée de votre transmission ?

Nous avons trois choix possibles :

-SF=7,4 BW=31,25 kHz

-SF =8.3 BW= 62.5 kHz

-SF=10 BW=125 kHz

Synthèse :

Le projet nécessite l'utilisation de plusieurs capteurs pour transmettre des données via une communication LoRa. Le payload global est de 100 bits. Nous estimons que notre

robot à besoin d'avoir un taux de transmission d'erreur le plus bas possible car il devra parfois évoluer dans des situations d'urgence afin de récolter un maximum d'informations pour pouvoir les transmettre aux unités compétentes. Donc nous avons choisi un CRC de 8/4. On a également vu que le système doit supporter deux types de transmissions :

-Transmission du capteur de distance : 10 fois par seconde.

-Transmission de tous les capteurs : 1 fois par minute.

La transmission du capteur de distance (Nb1) nécessite 148 bits par transmission, et la transmission de tous les capteurs (Nb2) nécessite 300 bits par transmission.

Pour notre application, les débits binaires varient entre 1.448 kbits/s et 1.524 kbits/s, selon la transmission.

Grâce à toutes ces données, nous avons retenu plusieurs couples de valeurs de BW et SF pour des tests et validations afin de déterminer les performances optimales en termes de débit binaire et de portée :

Couple 1 : SF = 7.4, BW = 31.25 kHz

Couple 2 : SF = 8.3, BW = 62.5 kHz

Couple 3 : SF = 10, BW = 125 kHz

Les tests porteront sur la portée, la fiabilité de la transmission, et le débit de données. Les résultats des tests permettront de départager ces configurations pour trouver celle qui offre le meilleur compromis entre portée et débit binaire.

Pour cette partie, nous avons tout d'abord réparti le travail par responsabilité (débit, consommation, portée). Chacun a travaillé sur sa partie. En l'occurrence, ici c'est Nina Provenzano qui a travaillé sur le débit. Étant donné que j'étais responsable de la portée et qu'il n'y avait pas de travail sur cette partie, j'ai proposé mon aide à Nina pour l'aider sur le projet. En ce qui concerne les délais, nous avons prévu de finir le sujet lors de notre séance libre de 3 heures, mais nous n'avons pas eu le temps. Nous avons donc dû travailler pendant le week-end.

3.2 Consommation d'énergie

■ 3.2.a – consommation d'une carte LoRa

Q1. Rappeler les définitions d'une puissance et d'une énergie

La puissance est la quantité de travail effectué ou d'énergie transférée par unité de temps. Elle est mesurée en watts (W). Sa formule est : $P=W/t$ ou P est la puissance en Watts, W est l'énergie ou le travail en joules et t le temps en secondes.

L'énergie est la capacité d'un système à effectuer un travail. Elle est mesurée en joules (J). Sa formule est : $E = P \cdot t$ où E est l'énergie en joules, P est la puissance en Watts et t est le temps en seconde.

Q2. Sachant que la tension d'alimentation d'une carte LoRa est de 3.3V, calculer la puissance, en W, consommée dans chacun des 4 modes de fonctionnement.

Les 4 modes :

Mode 1 : 82mA

Mode 2 : 17mA

Mode 3 : 7.2mA

Mode 4 : 95 μ A (0.095mA)

Pour calculer la puissance consommée dans chaque mode, on utilise la formule de la puissance électrique : $P = U \cdot I$ où P est la puissance en Watts, U la tension en volt et I le courant en Ampère.

On a une tension d'alimentation $V = 3,3$ volts.

$$P_1 = V \times I_1 = 3.3V \times 82mA = 3.3V \times 0.082 A = 0.2706W = 270,6 \text{ mW}$$

$$P_2 = V \times I_2 = 3.3V \times 17mA = 3.3V \times 0.017 A = 0.0561W = 56,1 \text{ mW}$$

$$P_3 = V \times I_3 = 3.3V \times 7.2mA = 3.3V \times 0.0072 A = 0.02376W = 23,76 \text{ mW}$$

$$P_4 = V \times I_4 = 3.3V \times 95\mu A = 3.3V \times 0.000095 A = 0.0003135W = 0,3135 \text{ mW}$$

La puissance consommée pour le mode 1 est de 0.2706W. Pour le mode 2, 0.0561W. Pour le mode 3, 0.02376W. Et pour le mode 4, 0.0003135W.

Q3. Estimer ensuite l'énergie consommée en W.h, dans cet exemple, sur un cycle de 10.3 ms

On utilise la formule suivante : $E = P \cdot t$ défini dans la question 1.

$$1.6 \text{ ms} = 1.6 \times 10^{-3} / 3600h = 4.44 \times 10^{-7} h$$

$$2.1 \text{ ms} = 5.83 \times 10^{-7} h$$

$$2.4ms = 6.67 \times 10^{-7} h$$

$$4.2ms = 1.17 \times 10^{-6} h$$

$$10.3ms = 2.86 \times 10^{-6} h$$

Durant phase de réception (ici 1.6 ms) :

$$E = P \cdot t = 0.0561W \times 4.44 \times 10^{-7} h = 2.49 \times 10^{-8} W.h$$

Durant phase d'émission (ici 2.1 ms) :

$$E = P \cdot t = 0.2706 \text{ W} \times 5.83 \times 10^{-7} \text{ h} = 1.58 \times 10^{-7} \text{ W.h}$$

Durant phase en mode normal (ici 2.4 ms) :

$$E = P \cdot t = 0.02376 \text{ W} \times 6.67 \times 10^{-7} \text{ h} = 1.58 \times 10^{-8} \text{ W.h}$$

Durant la phase de veille (ici 4.2 ms) :

$$E = P \cdot t = 0.0003135 \text{ W} \times 1.17 \times 10^{-6} \text{ h} = 3.67 \times 10^{-10} \text{ W.h}$$

Durant la totalité du cycle (10.3 ms) :

$$E = P \cdot t = (0.0561 + 0.2706 + 0.02376 + 0.0003135) \text{ W} \times 2.86 \times 10^{-6} \text{ h}$$

$$E_{\text{cycle}} = 0.3507735 \text{ W} \times 2.86 \times 10^{-6} \text{ h} = 1 \times 10^{-6} \text{ W.h}$$

■ 3.2.b – consommation de votre carte Lora dans le cadre de votre application

La formule pour calculer la durée de transmission d'1 bit en fonction du Spreading Factor (SF) et de la Bande Passante (BW) est la suivante :

Q4. Utiliser le nombre de bits de votre trame LoRa (estimé en partie 3.1.b) pour estimer la durée d'une trame complète. Faire le calcul pour les différents BW et SF envisagés et en déduire une durée minimum et maximum. On considérera dans la suite que votre carte n'est jamais en mode sommeil.

Référence sur le LoRaWan

$$T_{\text{bit}} = 2^{\text{SF}} / \text{BW} \cdot \text{SF}$$

Nous avons trouvé lors de la question 3.1.B, deux résultats possibles car toutes les données ne sont pas envoyées même temps, nous avons donc comme données :

$$-T_1 = 300 \text{ bits}$$

$$-T_2 = 148 \text{ bits}$$

$$-SF = 7,4 \quad BW = 31,25 \text{ kHz}$$

$$-SF = 8.3 \quad BW = 62.5 \text{ kHz}$$

$$-SF = 10 \quad BW = 125 \text{ kHz}$$

Avec SF = 7,4 et BW = 31,25 kHz

$$T_{\text{bit}} = 2^{7,4} / (31,25 \cdot 7,4) = \approx 0.730 \text{ ms}$$

$$T1_{trame} = 300 \times 0.730 = 219 \text{ ms}$$

$$T2_{trame} = 148 \times 0,730 = 108 \text{ ms}$$

Avec SF = 8.3 et BW = 62.5 kHz

$$T_{bit}(\min) = 2^{8.3} / (62.5 \times 8.3) \approx 0.608 \text{ ms}$$

$$T1_{trame} = 300 \times 0.608 = 182.4 \text{ ms}$$

$$T2_{trame} = 148 \times 0,608 = 89.98 \text{ ms}$$

Avec SF = 10 et BW = 125 kHz

$$T_{bit}(\max) = 2^{10} / (125 \times 10) = 0.819 \text{ ms}$$

$$T1_{trame} = 300 \times 0.819 = 245.7 \text{ ms}$$

$$T2_{trame} = 148 \times 0.819 = 121.2 \text{ ms}$$

Les durées minimales et maximales pour une trame sont donc :

Durée minimale (avec SF = 8.3 et BW = 62.5 kHz) : T1= 182.4ms T2= 89.98ms

Durée maximale (avec SF = 10 et BW = 125kHz) : T1= 245.7 ms T2= 121.2 ms

Q5. Utiliser les durées minimum et maximum des trames pour estimer une fourchette de consommation d'énergie lors de l'émission d'une trame de vos données en Wh.

Durant phase d'émission (ici 2.1 ms) :

$$P1 = U \times I1 = 3.3V \times 82 \text{ mA} = 3.3V \times 0.082 \text{ A} = 0.2706 \text{ W}$$

Pour le minimum :

Nous avons T1= 182.4ms T2= 89.98ms soit T1 = 5,05e-5h T2= 2,47e-5h

$$C1 = 0,2706 \times 5,05e-5 = 1,37e-5 \text{ W.H}$$

$$C2 = 0,2706 \times 2,47e-5 = 6,68e-6 \text{ W.H}$$

Pour le maximum :

Nous avons T1= 245.7 ms T2= 121.2 ms Soit T1 = 6,8e-5 T2= 3,3e-5

$$C3 = 0,2706 \times 6,8e-5 = 1,84e-5 \text{ W.H}$$

$$C4 = 0,2706 \times 3,3e-5 = 8,93e-6 \text{ W.H}$$

La fourchette de consommation d'énergie lors de l'émission est donc :

$$6,68e-6 \text{ Wh} < E < 1,84e-5 \text{ Wh}$$

Q6. Même question en réception.

Durant phase de réception (ici 1,6 ms) :

$$P2 = V \times I2 = 3.3V \times 17mA = 3.3V \times 0.017 \text{ A} = 0.0561W$$

Pour le minimum :

Nous avons $T1 = 182.4ms$ $T2 = 89.98ms$ soit $T1 = 5,05e-5$ $T2 = 2,47e-5$

$$C1 = 0.0561 * 5,05e-5 = 2,83e-6 \text{ W.H}$$

$$C2 = 0.0561 * 2,47e-5 = 1,39e-6 \text{ W.H}$$

Pour le maximum :

Nous avons $T1 = 245.7 \text{ ms}$ $T2 = 121.2 \text{ ms}$ Soit $T1 = 6,8e-5$ $T2 = 3,3e-5$

$$C3 = 0.0561 * 6,8e-5 = 3,81e-6 \text{ W.H}$$

$$C4 = 0.0561 * 3,3e-5 = 1,85e-6 \text{ W.H}$$

La fourchette de consommation d'énergie lors de l'émission est donc :

$$1,39e-6 \text{ Wh} < E < 3,81e-6 \text{ Wh}$$

■ 3.2.c – dimensionnement de la source d'alimentation

Q7 : Sachant que leur voltage est de 3,7 V, en déduire l'énergie totale qu'elles peuvent produire en W.h

Pour déterminer l'énergie totale, on a comme information la batterie AA metal lithium 2.6 A.h et le voltage de 3,7 V. On utilise la formule $E = U \times Q$ où E est l'énergie en watt-heures (W.h), U est le voltage en Volt et Q est la capacité de la batterie en A.h.

$$E = 3.7V \times 2.6A.h = 9.62W.h$$

Une batterie AA en lithium métal de 2.6 A.h avec un voltage de 3.7 V peut produire une énergie totale de **9.62 W.h**

Q8 : Utiliser la fourchette d'énergie requise par l'envoi d'une de vos trames pour déterminer le nombre total de trames que vous pourrez transmettre avec cette batterie

au minimum et au maximum. Déduisez en une fourchette de durée de vie de la batterie de votre carte d'émission

Grace a la question au-dessus, nous savons qu'une batterie AA en lithium métal de 2,6 A.h avec un voltage de 3,7 V peut produire une énergie totale de 9,62 W.h. Nous avons également calculé la fourchette d'énergie requise par l'envoi d'une trame :

$$6,68e-6 \text{ Wh} < E < 1,84e-5 \text{ Wh}$$

Pour déterminer le nombre total de trames que l'on peut transmettre avec cette batterie au minimum et au maximum, on utilise la formule suivante :

$$N_{\min} = E_{\text{total}}/E_{\max} = 9.62\text{W.h} / \times 1,84e-5 \text{ Wh} = 522\,826 \text{ trames environs.}$$

$$N_{\max} = E_{\text{total}} / E_{\min} = 9.62 \text{ W.h} / 6,68e-6 \text{ Wh} = 1\,440\,119 \text{ trames environs.}$$

Pour le nombre minimum de trame et supposons que l'on envoie 1 trames toute les 100ms en moyenne la durée de vie maximal est de :

Capacité totale de la batterie / consommation d'énergie par heure (minimal)

$$\text{Durée de vie max} = 9.62\text{Wh} / 0,05\text{Wh/h} = 192,4 \text{ heures}$$

La durée de vie minimal est de :

Capacité totale de la batterie / consommation d'énergie par heure (maximum)

$$\text{Durée de vie minimum} = 9,62 \text{ Wh} / 0,1379 = 69,7 \text{ heures}$$

Q9 : Mêmes questions en réception

Nous avons calculé la fourchette d'énergie requise par la réception d'une trame :

$$1,39e-6 \text{ Wh} < E < 3,81e-6 \text{ Wh}$$

Pour déterminer le nombre total de trames que l'on peut recevoir avec cette batterie au minimum et au maximum, on utilise la formule suivante :

$$N_{\min} = E_{\text{total}}/E_{\max} = 9.62\text{W.h} / \times 3,81e-6 \text{ Wh} = 2\,524\,934 \text{ trames environs.}$$

$$N_{\max} = E_{\text{total}} / E_{\min} = 9.62 \text{ W.h} / 1,39e-6 \text{ Wh} = 6\,920\,863 \text{ trames environs.}$$

Pour le nombre minimum de trame et supposons que l'on envoie 1 trames toute les 100ms en moyenne la durée de vie maximal est de :

Capacité totale de la batterie / consommation d'énergie par heure (minimal)

Durée de vie max = $9.62\text{Wh} / 0,05\text{Wh/h} = 192,4$ heures

La durée de vie minimal est de :

Capacité totale de la batterie / consommation d'énergie par heure (maximum)

Durée de vie minimum = $9,62\text{ Wh} / 0,1379 = 69,7$ heures

Synthèse :

Dans les besoins énergétiques, il faut prendre en compte les capteurs de température et humidité, gaz toxiques (monoxyde de carbone, isobutane, propane, méthane, hydrogène) ainsi que de distance et également la transmission LoRa. La batterie AA en lithium métal (2.6 A.h, 3.7 V) qui fournis 9.62 W.h d'énergie, permet de transmettre entre 522 826 trames et 1 440 119 trames selon la consommation par trame. Les solutions d'alimentation incluent des batteries Lithium-Ion, des batteries AA en lithium métal et des panneaux solaires.

Les batteries Lithium-Ion ont une haute densité énergétique, sont rechargeables et fiables, mais elles présentent des inconvénients comme leur coût élevé et leur sensibilité aux températures extrêmes. Pour les batteries AA en lithium métal, elles possèdent une haute capacité une grande disponibilité et une longue durée de vie en stockage, mais elles ne sont pas rechargeables, ce qui entraîne des coûts continus et des déchets.

L'utilisation de panneaux solaires comme source d'énergie renouvelable est particulièrement avantageuse et écologique mais leur efficacité est fortement dépendante des conditions météorologiques.

Pour optimiser la consommation et le débit, les paramètres SF et BP sont ajustés : SF 7,4 et BW 31.25 kHz pour un bon équilibre, SF 10 et BW 125 kHz pour maximiser la portée.

Les tests encadrés vérifieront la consommation réelle en mode émission et réception, l'efficacité des batteries en conditions réelles, les performances des solutions d'alimentation en environnement simulé (souterrain par exemple) ainsi que la réception et la transmission des données à différentes distances et obstacles.

Pour les retards éventuels, il se peut qu'il y ait des problèmes techniques avec les capteurs.

2 – Test de transmission

1°) Selon vous, quel est l'intérêt de cette allocation de fréquence par projet ?

Chaque groupe à une fréquence différente pour permettre qu'en réception nous ayons que notre signal émit au sein de notre groupe et pas le signal émis par tous les groupes, pour donc éviter des problèmes de réception.

2°) Fixer la puissance d'émission à 14dBm (puissance maximale autorisée) dans la bande ISM utilisée. A votre avis, pourquoi choisir cette puissance ?

Il est intéressant de choisir cette puissance car cela permet une portée maximale car 14dBm est la puissance d'émission maximale autorisée dans la bande ISM, ce qui signifie qu'on obtient une portée maximale pour la communication.

BandWidth (KHz)	SF	Réception du payload ?	Avec ou sans erreur ?	Autre commentaire
31,25	7	Oui	Pas d'erreur	-Débit rapide - environ -46à 47dbm
62.5	8	Oui	Pas d'erreur	-Débit assez similaire -environ -50dbm
125	10	Oui	Pas d'erreur	-Débit moins rapide -environ -45 dbm

3°) A priori, comment auriez-vous tendance à faire évoluer la longueur de préambule afin d'optimiser votre transmission (consommation, taux de bits « utiles » par transmission) ?

Un préambule plus long consomme plus d'énergie car il envoi plus de bit non utile.

Un préambule plus court augmente le taux de bit utiles. En sachant cela, nous sommes partis de 8, et cela fonctionnait très bien donc cela ne sert à rien de faire évoluer notre préambule à la hausse cela consommera plus d'énergie pour rien. Donc nous allons faire évoluer notre préambule à la basse.

4°) Modifier la longueur du préambule dans ce sens. Quels effets constatez-vous sur les Transmissions ?

On constate que lorsqu'on diminue trop le préambule alors des erreurs commencent à arriver où alors les données ne viennent plus du tout. Dans notre cas, nous sommes partis de 8 et à partir de 3 plus aucune donnée est reçue. Nous pensons prendre un préambule de 5 pour avoir marge pour la réception des données car 4 est la limite. Et avec 5, la réception est bonne. Donc cela ne sert à rien d'augmenter notre préambule car nous transmettrons trop de bits inutiles.

5°) Avez-vous constaté des erreurs de transmission parmi les tests effectués à différents SF et BW ?

Nous avons fixé notre CRC à 8/4, pour avoir un taux d'erreur le moins élevé possible. Au niveau des résultats, cela fonctionne correctement car nous avons eu aucune erreur à par quand notre préambule était trop faible.

6°) Fixez une valeur de CRC qui vous semble optimale. Justifiez votre choix.

Nous avons donc utilisé un CRC de 8/4 car nous dirigerons notre robot en direct dans des situations qui peuvent parfois être importante et rythmé par le temps (incendies, écroulements...), les données que nous recevons doivent donc être fiable en permanence, de plus nous n'avons pas un très gros payload donc on peut se permettre d'avoir le plus gros CRC possible.

Conclusions sur les choix de préambule, CRC, bande passante et facteur d'étalement

Préambule :

D'après les tests effectués, un préambule de **5** semble être le choix optimal pour l'équilibre entre la consommation d'énergie et la fiabilité de la transmission. Un préambule plus court augmenterait le taux de bits utiles mais pourrait compromettre la réception des données, tandis qu'un préambule plus long consommerait plus d'énergie sans apporter de bénéfice significatif.

CRC :

Le choix d'un CRC 8/4 s'avère judicieux pour garantir une fiabilité élevée des données dans des situations critiques comme les interventions d'urgence.

BW et SF :

Sur la base des résultats obtenus, il est préférable de conserver les deux valeurs de BW 31,25 kHz et 62,5 kHz, ainsi que les deux valeurs de SF 7 et 8. Ces combinaisons offrent

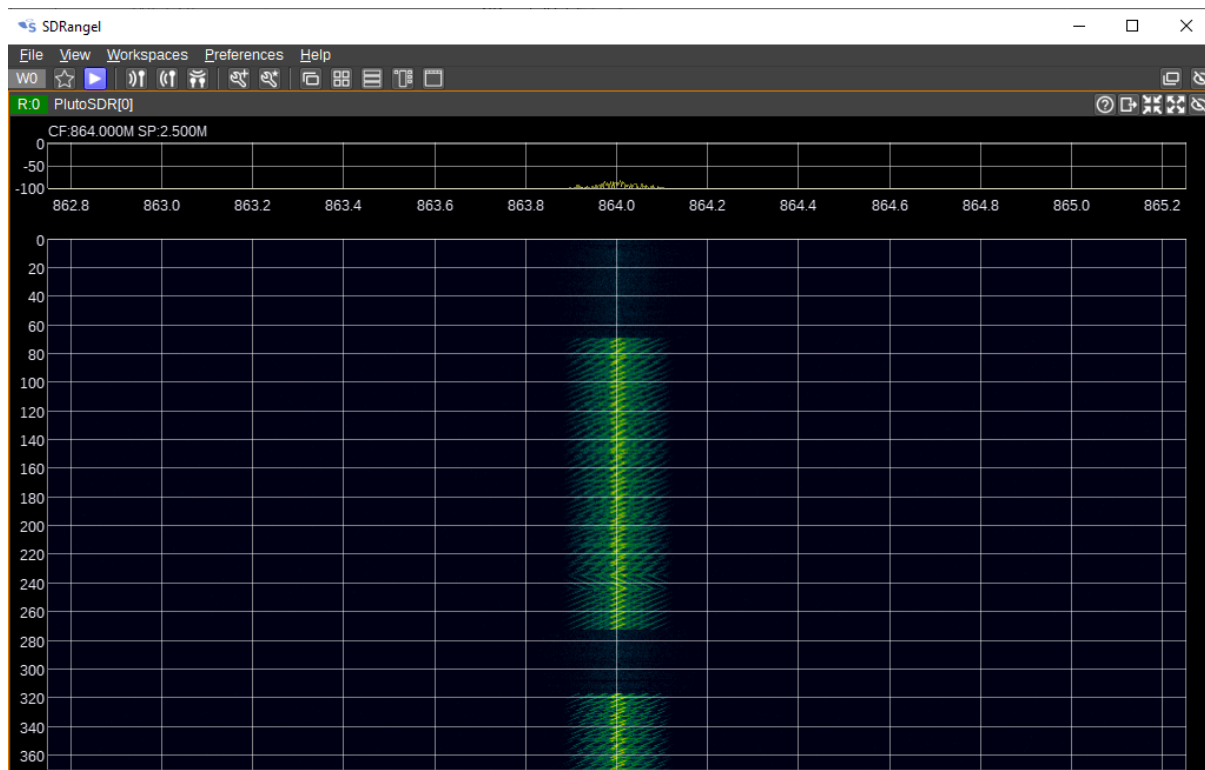
un compromis optimal entre le débit binaire, la portée et la robustesse aux interférences.

Justification de l'exclusion de certaines valeurs :

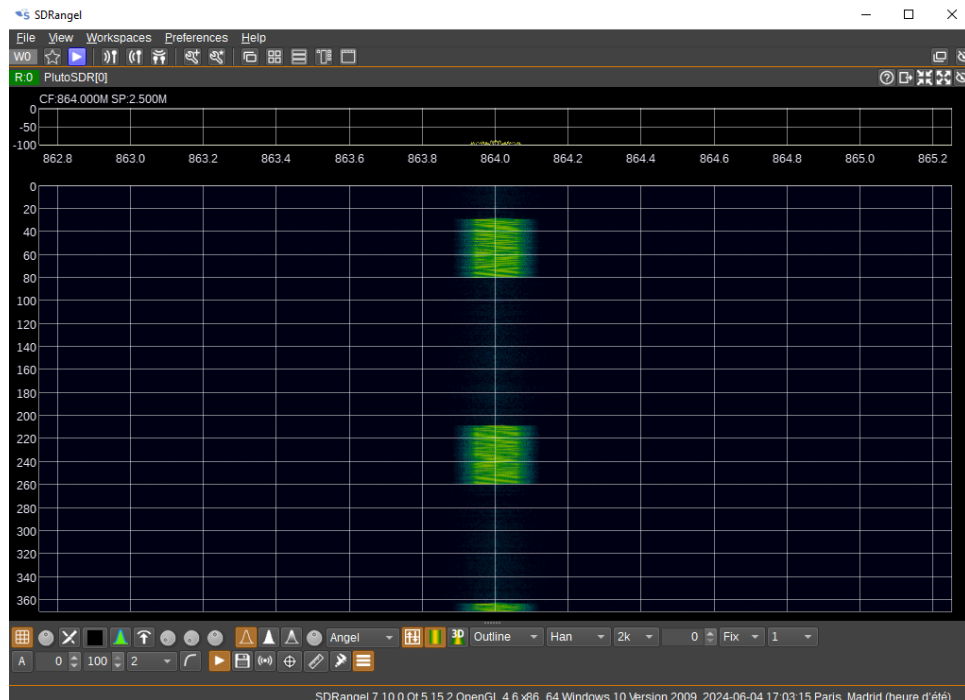
- BW 125 kHz : Cette bande passante offre un débit binaire plus élevé, mais elle est également plus sensible aux interférences et peut compromettre la portée de la transmission.
- SF 10 : Avec un SF de 10, cela offre une meilleure résistance aux interférences, mais il réduit également le débit binaire. Étant donné que le débit binaire est un élément important dans ce projet, nous préférons retirer écarter cette solution.

3 – Mesures de trames LoRa avec SDRangel

1°) Arrêter l'acquisition de SDRangel pour fixer le spectrogramme. Visualiser la trame LoRa et l'intégrer au rapport.



**2°) Faire varier la bande passante de votre modulation LoRa. Que constatez-vous ?
Faire valider par l'enseignant**



On constate que la trame Lora est plus petite que lorsque la bande passante était plus faible. On dirait qu'elle est compressée.

3°) Faire varier le SF de votre modulation LoRa. Que constatez-vous ? Faire valider par l'enseignant

On constate en faisant varier le SF et en gardant la même bande passante, la trame est devenue beaucoup plus longue, grande.

4°) Pour les différentes combinaisons SF et BW validées dans la partie précédente, mesurer la longueur de la trame LoRa générée. Synthétiser vos résultats dans le tableau ci-dessous

BandWidth (KHz)	SF	Longueur de trame (ms)	Temps de silence(s)	Validité C.C. du projet
31,25	7	200	1.98	non
62,5	8	180	1.782	non
125	10	340	3.36	non

5°) Est-ce envisageable dans le cadre de votre projet ? Imaginer des solutions

Le temps que nous avons trouvé pour la longueur des trames est trop important car étant donné que la réglementation impose de n'utiliser le canal LoRa que 1% du temps

nous trouvons des temps de silence entre 1,7 et 3,36 s. Or, nous avons un capteur qui doit envoyer des données 10 fois par seconde, donc cela n'est pas possible.

On peut envisager comme solutions :

Réduire la longueur de la trame :

- Diminuer la quantité de données envoyées par trame permet de raccourcir le temps d'occupation du canal et donc le temps de silence nécessaire.
- Inconvénient : Limite la quantité d'informations pouvant être transmises par cycle.

Augmenter la fréquence de transmission :

- Envoyer des trames plus fréquemment réduit le temps entre les transmissions et donc le temps de silence nécessaire.
- Inconvénients:
 - Augmentation de la consommation d'énergie du capteur.
 - Risque accru de collisions avec d'autres appareils sur le même canal.

6°) En déduire la consommation d'énergie pour chaque trame. Synthétiser vos résultats dans le tableau ci-dessous :

Remplit le tableau

BandWidth (KHz)	SF	Longueur de trame (ms)	Conso énergie par trame (mW.h)	Durée de vie batterie
31.25	7	200	12	1.67
62.5	8	180	14	1.43
125	10	340	22	0.91

Conclusion :

Nous avons choisi un préambule de 5 pour avoir une réception des trames sans que cela consomme trop d'énergie, pour le choix du CRC nous avons choisi un CRC de 8/4 pour avoir une grande fiabilité des données. La bande passante est de 125 kHz et le SF à 10 pour avoir une bonne résistance aux interférences efficace.

Distance [m]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
--------------	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Preçu[dbm]	-20	-71	-74	-78	-82	-88	-92	-92	-97	-99	-101
------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Q5) Une fois les mesures effectuées, tenter d'évaluer le niveau de perte (en dB) causé par un bâtiment sur la liaison.

--> Derrière un bâtiment avec une distance de 22 mètres environ, Preçu est de -96 dbm donc la perte en dB est $14 - (-96) = 110$ dB de perte entre un bâtiment avec une distance de 22 mètres entre le point d'émission et de réception.

Q6) Recommencer avec un niveau de puissance d'émission de 0 dBm (attendre la confirmation que l'enseignant a bien changé le niveau de puissance d'émission).

-->L'enseignant a bien changé le niveau de puissance d'émission à 0 dBm.

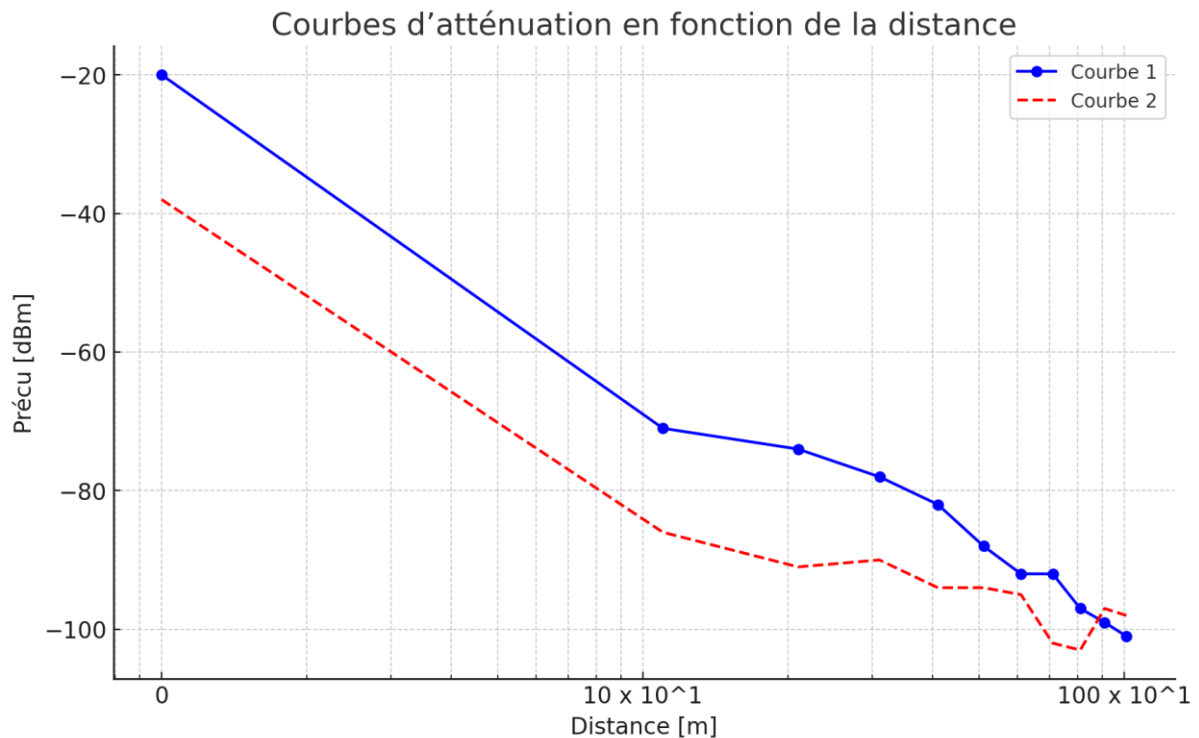
Distance [m]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Preçu[dbm]	-38	-86	-91	-90	-94	-94	-95	-102	-103	-97	-98

On remarque qu'à la fin du tableau les puissances reçues à 90 et 100 m sont supérieures à celle reçue à 70 et 80 m, cela n'est pas normal avec la distance qui augmente, on ne peut pas avoir un résultat supérieur, cela est sûrement dû à des imprécisions du récepteur ou à cause du terrain.

Derrière un bâtiment avec une distance de 22 mètres environ, Preçu est de -89 dbm donc la perte en dB est $0 - (-89) = 89$ dB de perte entre un bâtiment avec une distance de 22 mètres entre le point d'émission et de réception.

Q7) On tracera dans le rapport les courbes d'atténuation sur papier semi-logarithmique dans les deux cas.

Voici ci-dessous les courbes d'atténuation sur papier semi-logarithmique. La courbe bleue représente le premier tableau lorsque l'émission était à 14 dBm, la courbe rouge représente le deuxième tableau lorsque la puissance d'émission était de 0 dBm.



Q8) Conclure (influence de la puissance sur la portée en espace libre, facteurs d'atténuation, sensibilité du récepteur, ...)

Conclusion

La portée d'un signal en espace libre est directement influencée par la puissance de l'émission. C'est ce qu'on remarque grâce aux données que nous avons enregistrées. De plus, elles montrent une diminution significative de la puissance reçue (Préçu) avec l'augmentation de la distance. Par exemple, la puissance reçue à 0 mètre est beaucoup plus élevée que celle reçue à 100 mètres.

La distance est donc un gros facteur d'atténuation, mais pas que, il y a aussi les obstacles. En effet, on remarque qu'à seulement 22m on a une puissance reçue de -96 dBm pour une puissance d'émission de 14 dBm alors qu'à 20 m dans un espace libre nous avons une puissance reçue de -74 dBm soit 22 dBm de différence pour une distance presque égale.

Au niveau de la sensibilité du récepteur, on remarque qu'il peut détecter des signaux faibles allant jusqu'à environ -100 dBm cela veut dire que le seuil de sensibilité du récepteur peut être estimé à environ -100 dBm. Cela signifie que pour toute puissance de signal reçue inférieure à -100 dBm, le récepteur ne pourra pas détecter le signal de manière fiable.

On peut donc en conclure que la portée d'un signal en espace libre diminue significativement avec la distance, la puissance reçue à proximité étant bien plus élevée qu'à longue distance. Les obstacles augmentent l'atténuation : même à courte distance, ils peuvent causer une perte de signal importante par rapport à une propagation en espace libre. Il faut aussi prendre en compte le récepteur et surtout sa sensibilité qui permet de détecter des signaux jusqu'à un certain seuil, au-delà duquel il ne peut plus capter de signal fiable.

2.2.2 Mesures en intérieur

-L'enseignant placera l'émetteur à une position fixe en intérieur du bâtiment

Q1) Vérifier que le paramétrage de votre programme de réception est identique et que la liaison fonctionne. Faire valider par l'enseignant.

--> La liaison fonctionne et est validée par l'enseignant.

Q2) Vous devrez ensuite mesurer la puissance reçue pour différentes distances en intérieur (on mesurera le RSSI moyen, bien attendre que le cycle d'acquisition soit terminé et estimer sa durée). Estimer pour chaque point de mesure la distance exacte entre l'émetteur et le récepteur. Prenez au minimum 8 points de mesure entre la distance minimale et la distance à laquelle la connexion ne fonctionne plus

Distance[m]	0	15	22	15	15	15	22	15
Hauteur[m]	0	0	0	3	6	9	9	12
Etage N°	0	0	0	1	2	3	3	4
Distance Totale [m]	0	15	22	18	21	24	31	27
Preçu[dbm]	-37	-71	-77	-84	-90	-95	-104	-99

Q5) Tenter d'évaluer le niveau de perte (en dB) causé par les différentes interfaces (portes, cloisons, dalles) sur la liaison.

Pour un spreading factor de 7, les pertes sont :

Perte entre 0 m et 15 m sans étage : Perte = 14dBm -(-71dBm)= 14+71= **85dB**

Perte entre 0 m et 22 m sans étage : Perte = 14dBm -(-77 dBm)= 14+77 = **91dB**

Perte à la même distance (15m) mais 1 étage au dessus donc 15+3m(18m) : Perte = 14dBm -(-84dBm)= 14+84 = **98dB**

Perte à la même distance (15m) mais 2 étages au dessus donc 15+6m(21m) : Perte = 14dBm -(-90dBm)= 14+90 = **104dB**

Perte à la même distance (15m) mais 3 étages au dessus donc 15+9m(24m) : Perte = 14dBm -(-95dBm)= 14+95= **109dB**

Perte entre 0 et 22m mais 3 étages au dessus donc 22+9m(31m) : Perte = 14dBm -(-104dBm)= 14+104= **118dB**

Perte à la même distance (15m) mais 4 étages au dessus donc 15+12m(27m) : Perte = 14dBm -(-99dBm)= 14+99= **113dB**

On voit qu'à l'air libre, au même étage entre 7 mètres d'écart, la puissance reçue baisse d'à peine 6 dbm alors que pour 3 mètres entre 2 étages, la puissance reçue baisse de 13 dbm.

Pour 6 mètres donc 2 étages qui est une distance presque équivalente aux 7 mètres sans étage, la puissance reçue baisse de 19dbm.

On voit donc significativement que les différentes interfaces (portes, cloisons, dalles) ont un fort impact sur la baisse de la puissance reçue.

Q6) Recommencer avec un spreading factor de 14.

Distance[m]	0	15	22	15	15	15	22	15
Hauteur[m]	0	0	0	3	6	9	9	12
Etage N°	0	0	0	1	2	3	3	4
Distance Totale [m]	0	15	22	18	21	24	31	27
Preçu[dbm]	-16	-59	-89	-66	-81	-87	-102	-83

Pour un spreading factor de 14, les pertes sont :

Perte entre 0 m et 15 m sans étage : Perte = 14dBm -(-59 dBm)= 14+59= **73dB**

Perte entre 0 m et 22 m sans étage : Perte = 14dBm -(-89dBm)= 14+89 = **103dB**

Perte à la même distance (15m) mais 1 étage au dessus donc 15+3m(18m) : Perte = 14dBm -(-66dBm)= 14+66 = **80dB**

Perte à la même distance (15m) mais 2 étages au dessus donc 15+6m(21m) : Perte = 14dBm -(-81dBm)= 14+81 = **95dB**

Perte à la même distance (15m) mais 3 étages au dessus donc 15+9m(24m) : Perte = 14dBm -(-87dBm)= 14+87= **101dB**

Perte entre 0 et 22m mais 3 étages au dessus donc 22+9m(31m) : Perte = 14dBm -(-102dBm)= 14+102= **116dB**

Perte à la même distance (15m) mais 4 étages au dessus donc 15+12m(27m) : Perte = 14dBm -(-83dBm)= 14+83= **97dB**

On voit qu'à l'air libre, au même étage entre 7 mètres d'écart, la puissance reçue baisse de 30 dbm alors que pour 3 mètres entre 2 étages, la puissance reçue baisse de 7 dbm. Pour 2 étages, donc 6 mètres, la puissance reçue baisse de 22dBm.

Pour une distance à peu près équivalente, la baisse de puissance reçue est presque la même comparée au SF de 7 auquel la distance entre les cloisons impactées beaucoup plus.

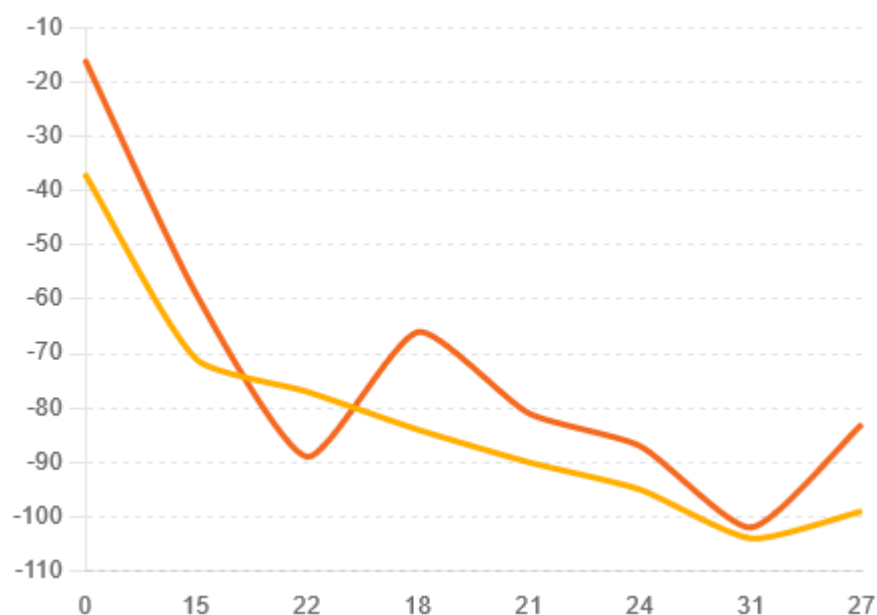
Comparé au spreading factor de 7, auquel les différentes interfaces (portes, cloisons, dalles) avaient un fort impact sur la baisse de la puissance reçue, ici, on remarque que ce n'est plus trop le cas.

On en conclut donc que plus on augmente le spreading factor (ici à 14), moins les différentes interfaces (portes, cloisons, dalles) ont un impact sur la puissance reçue.

Un SF plus élevé est donc plus robuste.

Q7) On tracera dans le rapport les courbes d'atténuation sur papier semi-logarithmique dans les deux cas.

Nous avons pris la décision de ne pas tracer sur papier semi-logarithmique les courbes d'atténuation car cela donné un résultat illisible en raison des distances qui sont assez proches. Sur le graphique, nous avons donc en axe des abscisses la distance en (m) et sur l'axe des ordonnées la puissance reçue en (dBm). La courbe jaune correspond au premier tableau ou nous avons un spreading Factor de 7 et une puissance d'émission de 14 dBm. La courbe orange correspond au deuxième tableau où nous avons un spreading Factor de 14 et une puissance d'émission de 14 dBm.



Q8) Conclure (portée en intérieur, facteurs d'atténuation, sensibilité du récepteur, impact du spreading factor sur la liaison, sur la durée de transmission...)

--> Les mesures montrent comme tout à l'heure que la portée en intérieur est significativement affectée par la distance et la présence d'obstacles tels que les murs, les portes et les étages. La puissance du signal diminue rapidement avec la distance et à travers les différents obstacles, ce qui réduit la portée effective de la transmission. Les valeurs de perte dB calculées montrent une atténuation significative lorsqu'il y a des changements de hauteur et la présence de plusieurs étages. En intérieur, les réflexions sur les murs et les diffractions autour des obstacles peuvent affecter la puissance du signal, provoquant des fluctuations.

Au niveau de la sensibilité du récepteur, on remarque comme tout à l'heure qu'on détecte les signaux jusqu'à un seuil de sensibilité environ égale à -100 dBm. Ce qui confirme ce qu'on a dit tout à l'heure sur la limite du seuil qu'elle est environ de -100 dBm. On peut d'ailleurs en déduire que plus la sensibilité est élevée (valeur en dBm plus négative), mieux le récepteur pourra capter des signaux faibles ce qui augmentant ainsi la portée. En comparant la portée dans un milieu sans obstacles et dans un bâtiment on remarque donc qu'il y a un énorme impact, dans nos résultats dans le bâtiment on atteint le seuil de sensibilité à environ 30 m alors que dans un milieu vide, on l'atteignait à environ 100m soit un facteur d'environ 3 sur l'atténuation dans un bâtiment.

Pour le spreading factor, on en conclut donc d'après nos informations relevées plus haut, que plus on augmente le spreading factor, moins les différentes interfaces (portes, cloisons, dalles) ont un impact sur la puissance reçue.

Un SF plus élevé est donc plus robuste, mais réduit le débit et augmente la durée de transmission.

2.2.3 Validation de la portée de votre projet

Q1) Demander à l'enseignant la fréquence que vous allez devoir utiliser pour émettre.

-->La fréquence donnée par l'enseignant est 863E6.

Vous vous placerez dans cette partie en configuration d'émission/réception en essayant de vous placer dans des conditions aussi proches que possible de celles de votre application. Vous aurez donc besoin de deux cartes UCA et deux PC.

Q2) Faites les mesures de transmission à différentes distances entre émetteur et récepteur en dépassant pas 100m (les résultats au-delà de 100m seront extrapolés en utilisant la méthode que vous aurez proposée en préparation de séance). Remplir un tableau et refaire les mesures pour chaque configuration SF/BW envisagées

-->Pour un SF a 8 et une bande passante à 62.5KHz :

En intérieur :

Distance[m]	0	15	22	15	15	15	22	15
Hauteur[m]	0	0	0	3	6	9	9	12
Etage N°	0	0	0	1	2	3	3	4
Distance total [m]	0	15	22	18	21	24	31	27
Preçu[dbm]	-22	-65	-75	-79	-82	-83	-110	-92

En extérieur :

Distance[m]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Preçu[dbm]	-25	-62	-75	-77	-76	-90	-95	-85	-87	-95	-90

Q3) Choisir une configuration optimale.

En arrivant dans cette séance nous avons comme choix deux couples possible de BW/SF :

BW = 31,25 SF= 7

BW = 62,5 SF = 8

Mais nous avons quand même une préférence pour le couple n°2 car il nous permettait en théorie d'avoir une plus longue plage de distance. Par soucis de temps, nous avons pu faire les mesures que de ce couple donc nous ne pourrons pas avoir de comparatif. Voyons quand même si ce couple permet une configuration optimale pour notre projet. Pour rappel, nous souhaitons que notre robot puisse être piloté en grotte à une distance maximale de 1 km et pour un environnement rural nous voulons qu'il soit contrôlable au maximum à 5km. De plus le seuil maximal de pertes autorisé pour notre couple BW= 62,5 est 140 dB, au-delà la transmission ne fonctionnera plus.

Nous allons alors calculer en extrapolant les pertes grâce à notre méthode décrite dans la préparation pour une distance de 1 km (la méthode sera utilisée avec les résultats en intérieur c'est ce qui s'apparente le plus à la grotte) et pour une distance de 5 km pour un milieu rural (la méthode sera utilisée avec les résultats en extérieur) puis on compara ces pertes avec le seuil de sensibilité pour voir si c'est possible :

Pour la grotte :

- On note une valeur que nous avons mesuré en intérieur par exemple pour une distance de 24m nous avons une puissance reçue de - 83 dBm.
- Nous calculons les pertes : $Pertes = 14 - (-83) = 14 + 83 = 97 \text{ dB}$
- Nous calculons les pertes en théorie grâce à l'équation de Okumura-Hata :
 $pertes = 146,4 + 44,9 \times \log_{10}(R) + C$
 $Pertes(théorique) = 146,4 + 44,9 \times \log_{10}(0,024) + 0$
 $Pertes(théorique) = 73 \text{ dB}$
- Nous calculons les pertes en théorie grâce à l'équation de Okumura-Hata à la distance de 1 km :
 $Pertes(théorique) = 146,4 + 44,9 \times \log_{10}(1) + 0$
 $Pertes(théorique) = 146 \text{ dB}$
- On va maintenant estimer les pertes pratiques à 1 km :
 $Pertes(pratique) = 97 + (146 - 73)$
 $Pertes(pratique) = 170 \text{ dB}$
- $170 > 140$, donc notre transmission n'est pas possible à 1 km dans une grotte.
- Nous allons alors calculer la distance maximale que nous pourrions atteindre dans ce milieu :
 $97 + (x - 73) \leq 140$
 $x \leq 140 - 97 + 73$
 $x \leq 116$

D'après ce que nous avons calculé en prépa, on sait que la distance est égale à

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

$$R = 10^{(116 - 146,4 - 0)/44,9}$$

$$R = 210 \text{ m}$$

Pour les espaces ruraux :

- On note une valeur que nous avons mesuré en extérieur par exemple pour une distance de 40m nous avons une puissance reçue de -76 dBm.
- Nous calculons les pertes : $Pertes = 14 - (-76) = 14 + 76 = 90 \text{ dB}$
- Nous calculons les pertes en théorie grâce à l'équation de Okumura-Hata :
 $Pertes = 146,4 + 44,9 \times \log_{10}(R) + C$
 $Pertes(théorique) = 146,4 + 44,9 \times \log_{10}(0,04) - 28,35$
 $Pertes(théorique) = 55 \text{ dB}$
- Nous calculons les pertes en théorie grâce à l'équation de Okumura-Hata à la distance de 5 km :

$$\text{Pertes(théorique)} = 146,4 + 44,9 \times \log_{10}(5) + -28,35$$

$$\text{Pertes(théorique)} = 149 \text{ dB}$$

- On va maintenant estimer les pertes pratiques à 1 km :

$$\text{Pertes(pratique)} = 90 + (149 - 55)$$

$$\text{Pertes(pratique)} = 184 \text{ dB}$$

- 184 > 140 , donc notre transmission n'est pas possible à 5 km dans un milieu rural.
- Nous allons alors calculer la distance maximale que nous pourrions atteindre dans ce milieu :

$$90 + (x - 55) \leq 140$$

$$x \leq 140 - 90 + 55$$

$$x \leq 105$$

D'après ce que nous avons calculé en prépa, on sait que la distance est égale à

$$R = 10^{(\text{pertes} - 146,4 - C)/44,9}$$

$$R = 10^{(105 - 146,4 - C)/44,9}$$

$$R = 270 \text{ m}$$

Q4) Si aucune configuration envisagée ne permet d'obtenir la portée désirée revoir le cahier des charges et/ou conclure sur la viabilité du projet.

--> Pour un couple d'une bande passante de 62,5KHz est un SF à 8, le projet ne sera pas viable car dans notre cahier des charges, nous avons déterminé une distance pour les grottes de maximum 1 Km et pour les espaces libres une distance de 2 à 5 Km.

Seulement, d'après les calculs que nous venons de faire, nous avons déterminé une distance maximale de 210 mètres pour les grottes et une distance maximale de 270 mètres pour les espaces libres. Ce qui veut dire que si nous voulions que le projet soit viable, il faut changer notre cahier des charges pour que la distance dans les grottes soit de maximum 210 mètres et celle des espaces libres de 270mètres.

Ce qui est bien entendu tout à fait possible car 210 mètres est une distance assez grande pour une grotte car la distance dans une grotte n'est pas forcément définie que linéairement. Et pour un espace libre 270 mètres et également une valeur de distance assez importante qui peut recouvrir largement un bâtiment, une usine ou encore tout site nécessitant la mise en place de notre projet.

Nous avons donc revu le cahier des charges afin de modifier les distances prescrites dans le cahier des charges pour rendre le projet viable.

2.2.4 Conclusion

Conclure ici sur la viabilité de votre projet, les éventuels compromis que vous avez dû effectuer et les choix finaux qui en découlent.

--> Après avoir étudié la viabilité de notre projet au niveau du débit et de la portée, nous avons constaté que les données que nous avions fixées dans le cahier des charges étaient beaucoup trop optimistes pour notre projet de robot télécommandé destiné à explorer et surveiller des zones inaccessibles ou dangereuses pour l'homme.

En effet, au niveau de la portée, comme nous venons de le voir, il n'aurait pas été possible de respecter pleinement le cahier des charges car, avec les cartes LoRa et les valeurs de notre BW/SF, nous ne pouvions pas atteindre les distances souhaitées. Toutefois, cela n'était pas très grave car en modifiant les valeurs dans le cahier des charges, nous aurions quand même pu piloter le robot sur des distances tout à fait cohérentes avec le type de missions qu'il aurait dû accomplir.

Par contre, au niveau du débit, nous avons choisi un temps pour l'envoi de nos données beaucoup trop court. En conséquence, le temps que nous avons trouvé pour la longueur des trames est trop important. Étant donné que la réglementation impose de n'utiliser le canal LoRa que 1 % du temps, nous avons trouvé des temps de silence entre 1,7 et 3,36 secondes. Or, nous avons un capteur qui doit envoyer des données 10 fois par seconde, donc cela n'est pas possible.

Malheureusement, nous ne pouvons pas modifier notre cahier des charges pour cela car ces données sont trop importantes pour piloter le robot, car elles correspondent au capteur de distance et sans lui, nous ne pouvons pas le piloter. De plus, pour être réalistes, il nous aurait fallu une caméra pour vraiment piloter correctement le robot, et déjà que sans elle nous avons un débit trop important, alors avec, cela aurait été impossible.

On peut donc en conclure que, malheureusement, notre projet n'est pas viable en utilisant des cartes de transmission et de réception LoRa, car elles n'offrent pas un débit assez élevé pour que nous puissions mener à bien notre projet.