



### Pour aller plus loin... Introduction

De part le côté « magique » de la communication radio, la réalisation de systèmes usant de la transmission sans fil telle que le mini-projet « Service de proximité VAE CODO » éveille la curiosité. Les questions qui traversent l'esprit sont multiples. Parmi elles :

**Sur quels paramètres et grandeurs influentes des signaux radios échangés a-t-on agit pour satisfaire les exigences de sécurité (anticollision, respect des priorités) et de prise en charge du client ?**

**Peut-on améliorer les solutions proposées pour obtenir une meilleure fiabilité des résultats obtenus ?**

**Aurait-on pu faire autrement pour satisfaire les exigences de service et de sécurité attendues ?**

Selon une démarche déductive visant à démystifier les grands principes de la modulation/démodulation numérique des systèmes de transmission, cette activité 3 s'inscrit dans une progression composée de 3 activités dont on rappelle ici le sommaire :

**Act1- Rappels et compléments de cours sur la modulation/démodulation numérique**

**Modélisation et simulation sous MATLAB SIMULINK des différents étages de la modulation/démodulation numérique**

**Act2- Mise en application simulée puis expérimentale dédié au module radio de la carte MICRO:BIT du mini-projet**

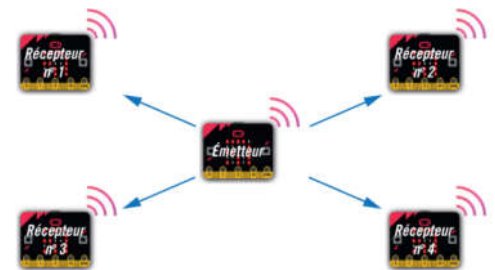
**Act3- Analyse qualitative des relevés des spectres de fréquence réceptionnés par le module radio de la carte µBIT à des fins d'améliorations des performances du mini-projet « Service de proximité VAE CODO ».**

## Analyse qualitative de relevés des spectres de fréquences réceptionnés par le module radio de la carte micro:bit

### Rappels et compléments sur la communication radio avec la carte micro:bit

L'unité centrale de traitement (CPU) sur le micro: bit est un Nordic Semiconductor [nRF51822](https://www.nordicsemi.com/Products/Bluetooth-low-energy/nrf51822). En plus d'être un processeur informatique à usage général, cette puce contient un module émetteur radio 2,4 GHz et un module récepteur radio 2,4 GHz qui utilisent le protocole propriétaire Gazell de Nordic pour pouvoir échanger les données entre cartes micro:bit.

Lorsqu'une donnée est envoyée par un module émetteur, elle est diffusée à l'ensemble des cartes réceptrices qui sont dans le champ de portée de réception du signal radio à condition d'appartenir à un même groupe de diffusion ou d'être calées sur un même canal de transmission.



Réseau de cartes micro:bit en mode radio

Les spécifications techniques de ce module radio, extraites du document constructeur du nRF51822, sont telles que :

#### Commentaires associés :

Frequency band	2.4GHz ISM [ 2.40000 - 2.4835GHz]
On-air data rate	250 kbps, 1 Mbps or 2 Mbps
Modulation	GFSK
Output power	Programmable: +4 to -20dBm in 4dB steps
Sensitivity	-93dBm Bluetooth low energy -96dBm at 250kb -90dBm at 1Mbps -85dBm at 2Mbps
Radio current consumption LDO at 1.8V	16mA – TX at +4dBm output power 10.5mA – TX at 0dBm output power 13mA – RX at 1Mbps
Radio current consumption DC-DC at 3V	10.5mA – TX at +4dBm output power 8.06mA – TX at 0dBm output power 9.7mA – RX at 1Mbps

La fréquence porteuse se situe à 2.4 GHz et plus selon le canal de transmission programmé (*Canal 7 par défaut*). Le paramètre « channel » détermine la fréquence d'émission.

3 valeurs de débits binaires ou vitesse de transmission sont admissibles et peuvent être programmées (*Débit de 1 Mbit/s par défaut*)

Le type de modulation utilisé est un dérivé de la modulation FSK. Le GFSK, FSK Gaussien, comporte 2 sous-porteuses (une pour le 0 binaire et l'autre pour le 1 binaire)

7 niveaux de puissance d'émission peuvent être programmés (notés de 1 à 7). Le niveau 0 pour une puissance de -30 dBm est également possible. (*Puissance niveau 6 par défaut*)

**NB : 1 dBm se lit 1 décibel-milliwatt**

#### Précision sur la gamme de fréquence :

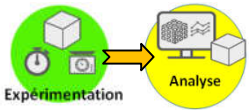
Le module radio utilise la bande de fréquences à 2,4 GHz. Cette bande de fréquences qui s'étale de 2 400 à 2 483,5 MHz est découpée en canaux espacés de 1 MHz (selon le débit binaire retenu).

#### Précision sur le type de modulation :

La modulation utilisée est GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) avec un débit de 1 Mbit/s sur la voie radio. C'est une modulation de fréquences de type FSK à deux états, dont le signal modulant est filtré par un filtre gaussien. Les données sont transmises sur une fréquence centrale  $F_c$ .

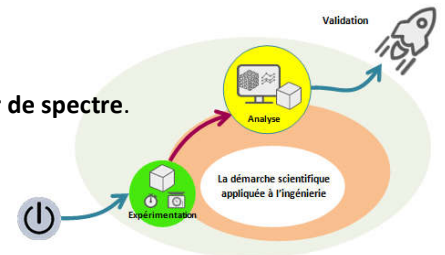
La modulation FSK fait correspondre à un élément binaire de valeur 1, une déviation de fréquence positive (transmission sur la fréquence  $F_c + \Delta f$ ), et à un élément binaire de valeur 0, une déviation négative (transmission sur la fréquence  $F_c - \Delta f$ ).

L'indice de modulation ( $2 \times \Delta f / D$  où  $D$  est le débit) est compris entre 0,28 et 0,35, ce qui correspond à  $140 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 175 \text{ kHz}$ .

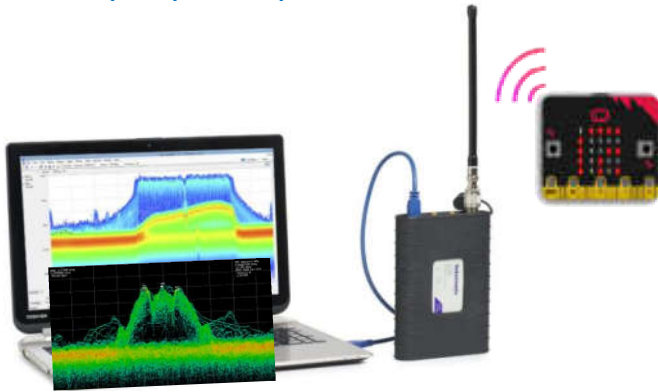


**EXPLOITATION DES RESULTATS**

Les relevés qui suivent ont été obtenus à l'aide d'un analyseur de spectre.



**Schéma de principe de l'expérimentation**



Programme contenu dans la carte  $\mu$ BIT émettrice réalisé à partir d'un quelconque éditeur en micro-Python (mu-editor par exemple)

```

Mu 1.1.D.beta4 - Test1.py
Mode Nouveau Charger Enregistrer Flasher Fichiers REPL Graphique Zoomer Dé-zoomer Thème Vérifier
Test1.py
1
2 from microbit import *
3 import radio
4
5 radio.on()
6 radio.config(channel=10,power=4,data_rate=radio.RATE_250KBIT)
7
8 while True:
9     radio.send("Salut Monsieur")
10    sleep(1)
11
    
```

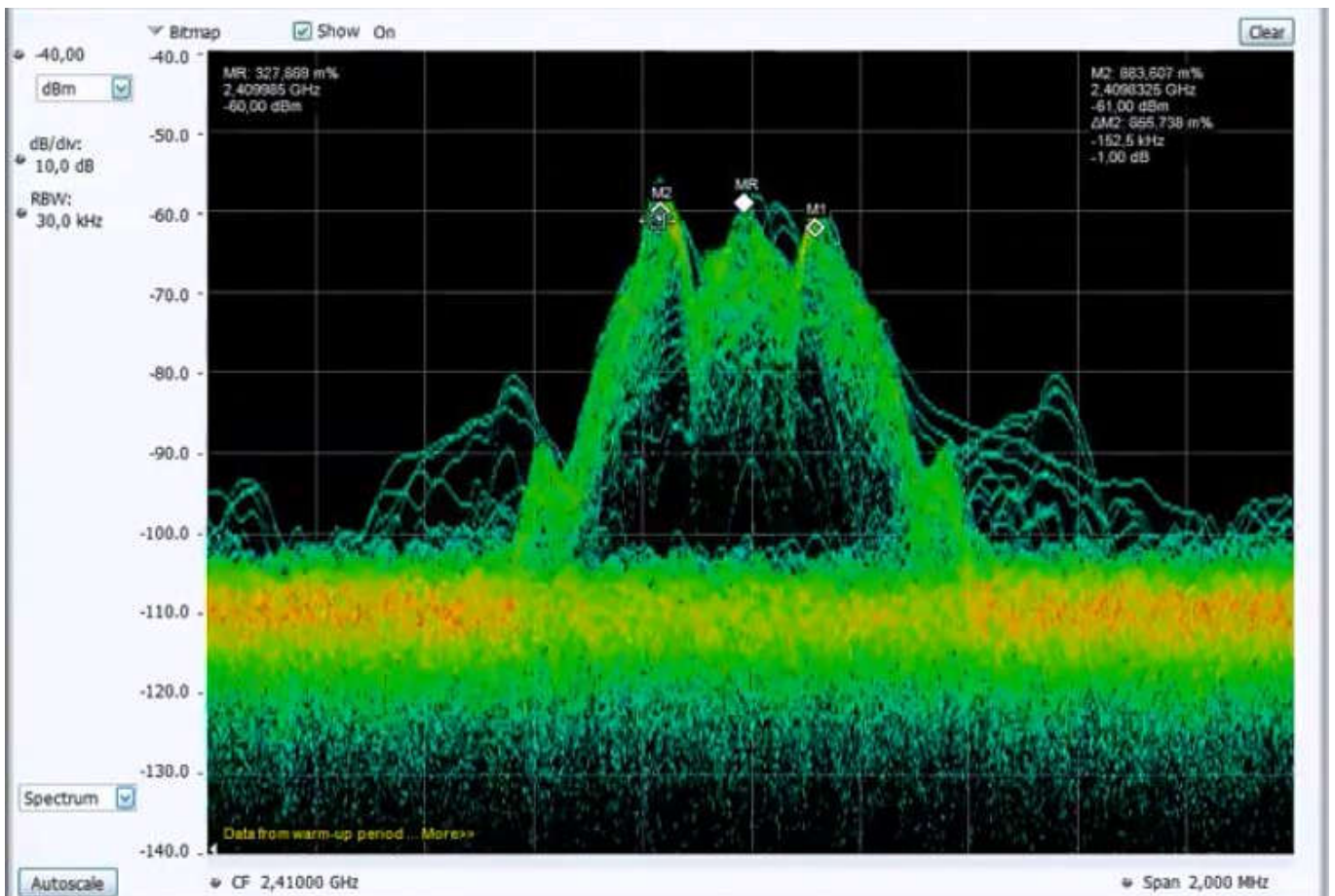
1- Pour chacun des relevés de l'analyseur de spectre (cf. page 2), retrouver les valeurs des paramètres de configuration X, Y, Z correspondants à la ligne de commande  $\rightarrow$

**radio.config (channel = X, power = Y, data\_rate=radio.RATE\_Z)**

2- Sachant que le span est de 2 MHz (soit 200 kHz /carreau), déterminer à partir du relevé ci-dessous :

- La fréquence de la porteuse du signal modulé  $\rightarrow ?$
- La fréquence de la sous porteuse du 0 binaire  $\rightarrow ?$
- La fréquence de la sous porteuse du 1 binaire  $\rightarrow ?$

3- Ces valeurs de sous porteuses sont-elles conformes à la théorie ?





Ligne de commande de configuration de l'émetteur :

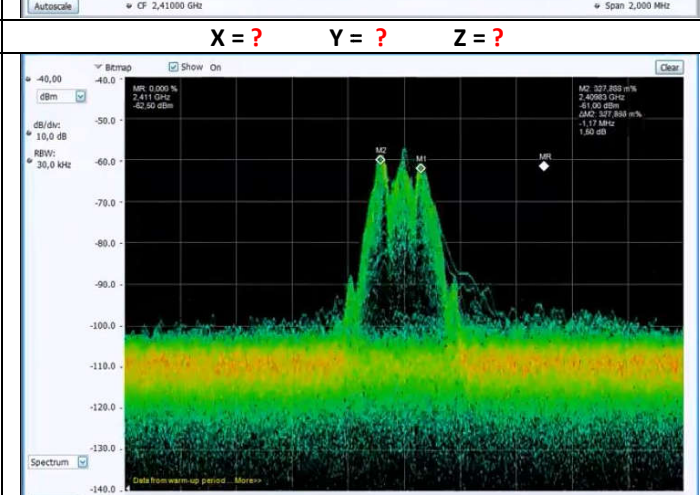
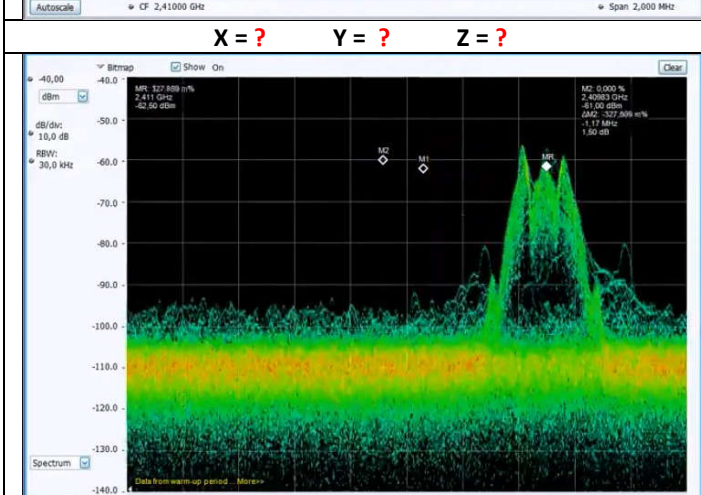
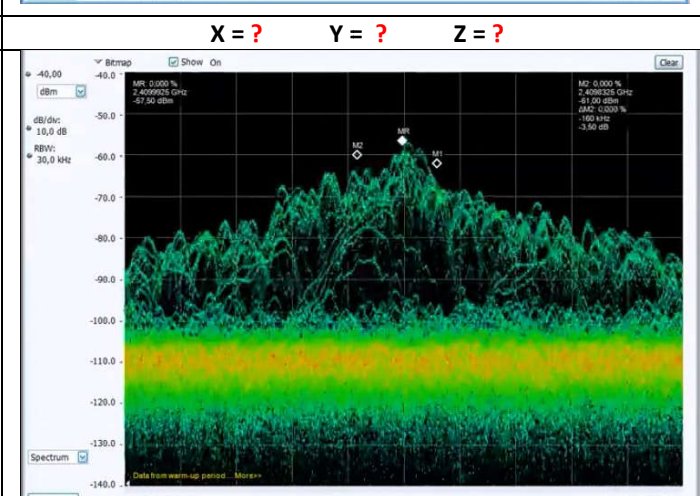
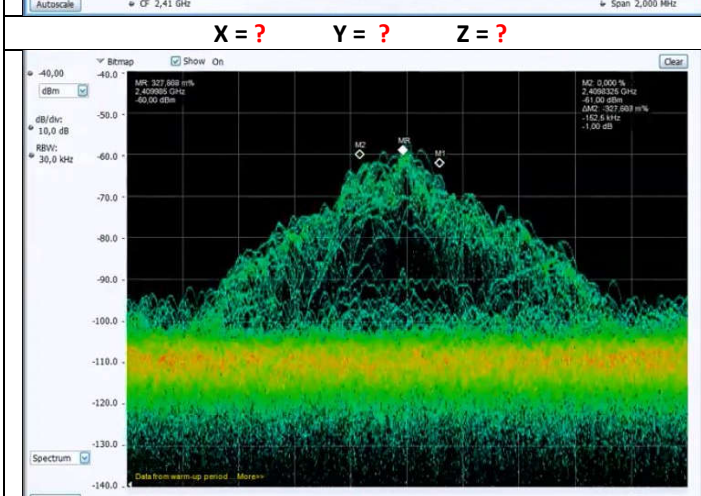
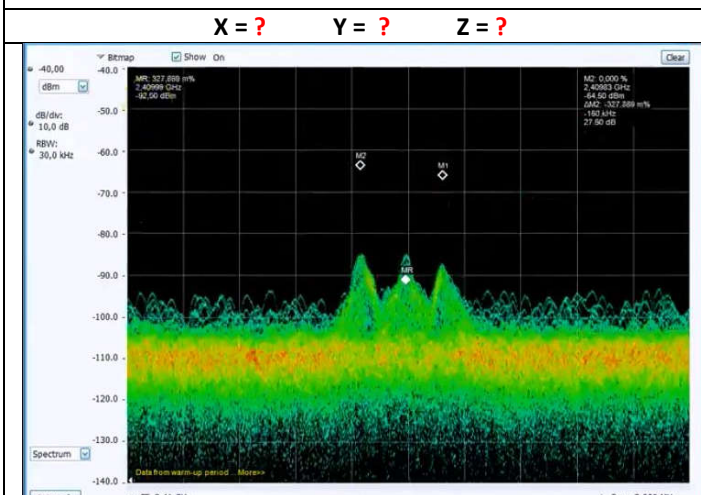
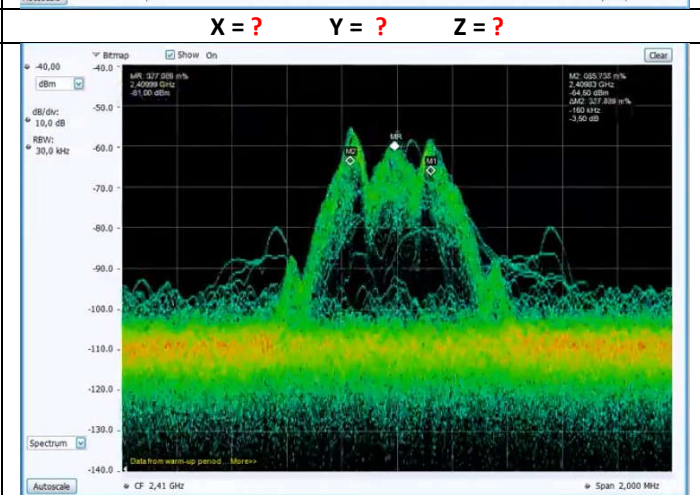
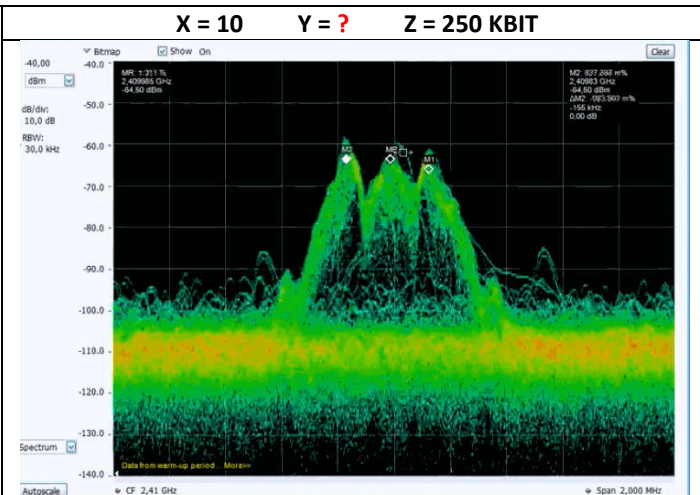
radio.config (channel = X, power = Y, data\_rate=radio.RATE\_Z)

Valeurs possibles :

channel = X = 10 ou 11

power = Y = 0 ou 4 ou 5

radio\_RATE\_Z = 250KBIT ou 1 MBIT ou 2 MBIT



**PUISSANCE D'EMISSION**

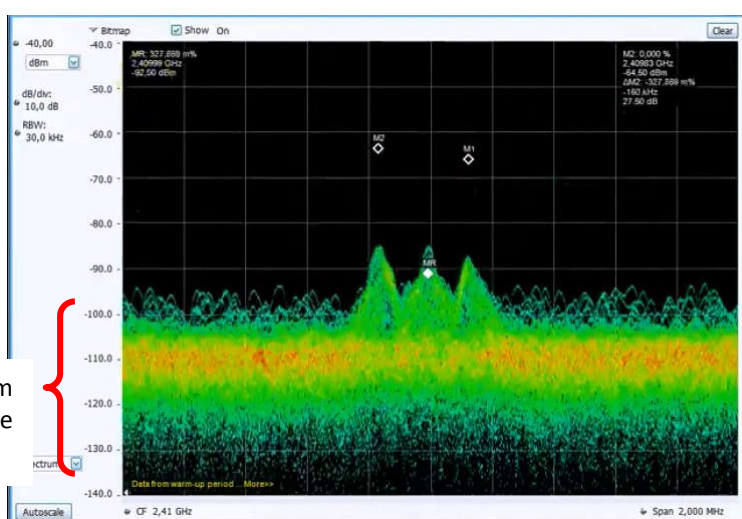
Lors de la réalisation du mini-projet « service de proximité VAE CODO », une expérimentation visant à estimer la distance de détection en cm pour différents couples de valeurs de puissance d'émission et de distance de détection à permis de trouver les relevés suivants :

Puissance d'émission (Variable Force de 0 à 7)	Variable Distance (de 0 à 9)	Estimation de la distance de détection en cm (avec un mètre ruban)
1	3	25 à 30 cm
1	2	10 à 15 cm
1	1	5 cm
0	5	25 à 30 cm
0	4	10 à 15 cm
0	3	5 cm

Afin d'éviter la collision entre 2 VAE CODO qui se suivent et au vue de la vitesse de déplacement de ces derniers, la distance de sécurité de 10 à 15 cm pour cette reproduction à échelle réduite a été jugée suffisante. Il apparaît dans ce tableau de relevés que 2 couples de valeurs (F = 1 et D = 2) et (F = 0 et D = 4) peuvent convenir à la programmation.

4- Au regard du relevé ci-contre et de la remarque apportée, quel couple de valeurs est-il préférable de choisir ? Justifier la réponse.

**NB** : les signaux de puissance  $\leq -100$  dBm (-93 dBm en théorie) sont noyés dans le bruit.

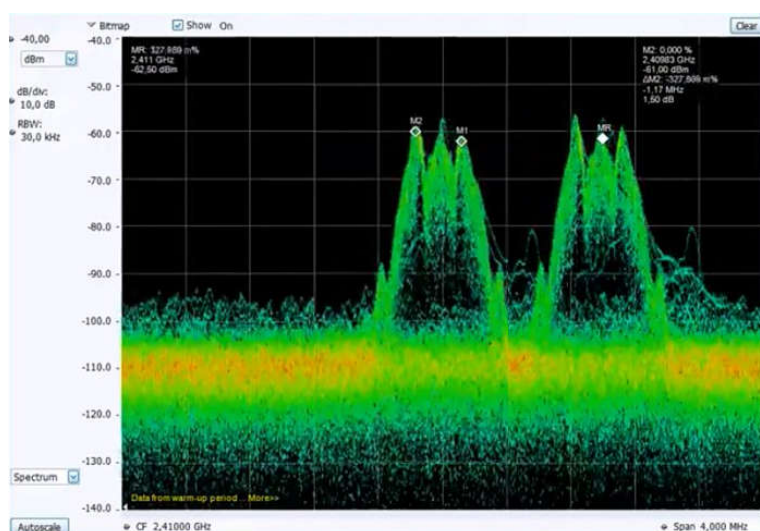


**CANAL DE TRANSMISSION**

Le relevé ci-contre fait apparaître les spectres des canaux 10 et 11 avec un étalement du balayage en fréquence (span) de 4 MHz.

5- Déterminer la fréquence porteuse du canal de transmission N°11. Comparer sa valeur avec celle du canal N° 10. Est-elle conforme aux données constructeurs ?

6- Compte tenu des fonctions électroniques qui constituent le récepteur, justifier le fait que le signal transmis ne peut pas être reçu par une carte réceptrice ayant un canal différent de la carte émettrice.



7- A-t-on usé des propriétés du paramètre « channel » pour permettre l'identification de tous les acteurs radios du mini-projet « service de proximité VAE CODO » ? Que la réponse soit positive ou négative, comment as-t-on procédé ?

**DEBIT BINAIRE**

- 8- La réponse à la question 6 se justifie par le fait que le filtre numérique du récepteur atténue très fortement le signal reçu dès lors qu'il n'est pas dans sa bande passante. Si l'on fait usage de canaux contigus, cette justification est-elle vérifiée pour un débit binaire de 2 Mbit/s ?
- 9- Par défaut le débit binaire du module radio est de 1 Mbps. Que se passe-t-il si l'on programme un débit de 250 Kbps ?

Validation

**CONCLUSION en lien avec le mini-projet**

- 10- Dans le contexte du mini-projet « service de proximité VAE CODO », apporter des éléments de réponses aux questions posées en introduction de cette activité :

***Sur quels paramètres et grandeurs influentes des signaux radios échangés a-t-on agit pour satisfaire les exigences de sécurité (anticollision, respect des priorités) et de prise en charge du client ?***

***Peut-on améliorer les solutions proposées pour obtenir une meilleure fiabilité des résultats obtenus ?***

***Aurait-on pu faire autrement pour satisfaire les exigences de service et de sécurité attendues ?***