

**Pour aller plus loin... Introduction**

De part le côté « magique » de la communication radio, de part le fait que les ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'air soient invisible à l'œil nu, la réalisation de systèmes usant de la transmission sans fil interpelle et éveille toujours la curiosité.

A quoi ressemblent les signaux émis et reçus ? Peut-on les visualiser ? ...

Dans le contexte de l'exigence traitée par rapport au mini-projet « Service de proximité VAE CODO »

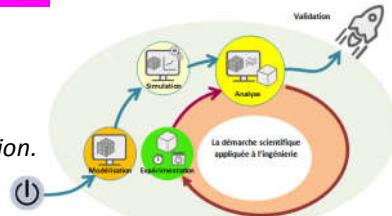
Sur quels paramètres et grandeurs influentes des signaux radios échangés a-t-on agit pour satisfaire l'exigence de sécurité d'anticollision ou celle de l'arrêt du VAE à la borne terminus pour y déposer le client ?

Peut-on améliorer les solutions proposées pour obtenir une meilleure fiabilité du résultat obtenu ?

Aurait-on pu faire autrement pour satisfaire l'exigence attendue ?

... Les questions qui traversent l'esprit sont multiples.

Cette activité a pour objectif de répondre à l'essentiel des ces interrogations et de démystifier ainsi les grands principes de la modulation/démodulation numérique des systèmes de transmission.

**Au sommaire de cette activité pratique :**

- Rappels et compléments de cours sur la modulation/démodulation numérique
- Modélisation et simulation sous MATLAB SIMULINK de la source de données et de son codage en bande de base
- Application expérimentale au module radio de la carte MICRO:BIT du mini-projet
- Mise en œuvre sous MATLAB SIMULINK d'une modulation / démodulation de type ASK
- Mise en œuvre sous MATLAB SIMULINK d'une modulation / démodulation de type FSK
- Analyse qualitative des relevés des spectres de fréquence réceptionnés par le module radio de la carte µBIT à des fins d'améliorations des performances des exigences du mini-projet « Service de proximité VAE CODO ».

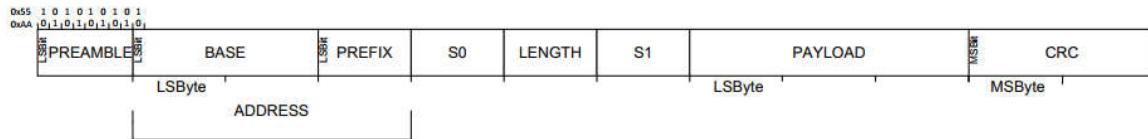
**A quoi ressemble le signal émis ?**

Quelle que soit l'exigence d'anticollision (ou d'arrêt à la borne terminus) traitée lors de la séance d'activation et selon le programme proposé, il convient de retenir que l'information émise ne se limite pas à une simple chaîne de caractère correspondante au nombre préalablement affecté au VAE (ou à la borne terminus).

Il s'agit en réalité d'un train d'impulsion, encore appelé trame de 0 et 1 binaires, organisé selon un protocole de transmission propre au module radio de la carte MICRO:BIT dont la configuration des paquets radios peut-être assimilée à celle figurant ci-dessous.

Configuration des paquets radios (Extrait de l'annexe du sujet de l'activité de lancement)

La radio envoie les différents champs du paquet dans l'ordre suivant : PREAMBULE, ADDRESS, S0, LENGTH, S1, PAYLOAD et CRC comme illustré ci-dessous de gauche à droite.



Le champ PREAMBULE est toujours long d'un octet. Son LSB est envoyé en premier à l'antenne. Si le premier bit de l'ADRESSE est 0 alors le préambule sera mis à 0x55 sinon le PRÉAMBULE sera mis à 0xAA.

Le champ ADRESSE de l'onde radio est composé de 2 parties : la base (réglable de 0 à 7) et le préfixe. Seules les données en provenance d'une carte présentant la même adresse seront prises en compte.

Les champs S0, LENGTH, S1, PAYLOAD concernent les données applicatives. La longueur combinée de ses données ne peut pas dépasser 254 octets (3 octets pour S0, LENGTH, S1 et 251 octets pour le message).

Le champ CRC de 16 bits (Contrôle de Redondance Cyclique) qui débute par l'octet le plus significatif permet de détecter d'éventuelles erreurs de transmission.

**RAPPELS ET COMPLEMENTS**

Pour compléter l'apport d'éléments de réponse à cette question, il convient également de rappeler ceci :

Un SYSTEME DE TRANSMISSION, c'est :

Un émetteur → **Un canal de transmission** → **Un récepteur**

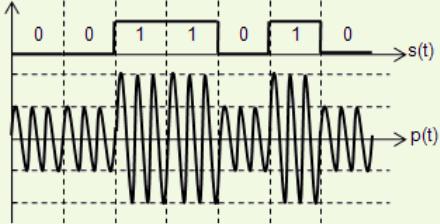
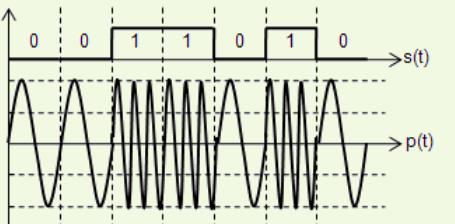
**Côté émetteur :**

- La source émet un message analogique ou numérique (message = suite d'éléments binaires ou train binaire)
- Le codeur peut, si nécessaire, adapter la source au type de **modulation** et au **canal de transmission** (compression et correction)
- La **modulation** adapte de spectre du signal **au canal** (milieu physique) et aux conditions de transmission.

Côté récepteur :

- Les fonctions de **démodulation** et de **décodage** réalisent l'inverse des fonctions de modulation et de codage pour récupérer le message envoyé.

Pour être transmise, la trame source une fois codée en bande de base doit être notamment transposée dans une bande de fréquence adaptée au milieu physique de propagation du canal de transmission à l'aide du modulateur numérique. Conformément au programme de l'EdS SI, nous nous limiterons ici à la modulation numérique de type ASK et FSK.

La Modulation d'amplitude ASK à 2 états	La Modulation de fréquence FSK à 2 états
	

Elle est principalement utilisée dans sa forme binaire.

Simple à réaliser mais peu performante et sensible au bruit.

Elle est utilisée dans des systèmes simples de télécommande.

Ce type de modulation est largement utilisé de part sa simplicité de mise en œuvre. A chaque symbole binaire correspond une fréquence.

Il existe plusieurs formes dérivées de FSK (exemple : la modulation GFSK utilisée dans le module radio de la carte MICRO:BIT qui permet de réduire le spectre de fréquence à l'aide d'un filtre Gaussien)

La FSK est largement utilisée dans les MODEMS Télécoms, Télécommandes radios et Téléphones sans fil (DECT, Pagers...)

Les paramètres des modulations numériques sont :

Le débit binaire = nombre de bits transmis par seconde (en bits/s)

Le débit Symbole ou la Rapidité de modulation = Nombre d'états de modulation ou de symboles par seconde (en bauds)

La qualité de liaison représentée le plus souvent par le TEB (Taux d'Erreur Binaire) ou BER (Bit error rate)

L'efficacité spectrale = rapport entre le débit binaire et la largeur de bande (en bits/s/Hz)

En comparaison avec la modulation analogique (AM et FM), la modulation numérique n'offre donc que des avantages :

Une meilleure capacité → Un plus grand nombre d'utilisateurs / au spectre de fréquence qu'il est possible d'utiliser

Une meilleure efficacité spectrale (en bits/s/Hz) à savoir un meilleur rapport entre le débit binaire et la largeur de bande

Une meilleure qualité des communications → meilleure protection contre les interférences même avec signal faible

La possibilité de **transmettre indifféremment** de la voix ou tout autre type de données

Une meilleure sécurité → Possibilités avancées de cryptage des données

Un coût plus faible → Les radios numériques sont plus faciles à produire et plus fiables.

CONCLUSION : Les systèmes modernes requièrent des techniques de modulation de plus en plus sophistiquées afin de satisfaire des contraintes de spectres, de débit, de qualité et d'intégrité des informations transmises ainsi que des coûts de fabrication. Seules des modulations numériques associées à des techniques de traitement du signal permettent de répondre à ses besoins. Les performances des modulations numériques sont largement améliorées par les techniques de codage et de multiplexage, notamment en efficacité spectrale et protection aux interférences.

L'utilisation de la modélisation et simulation multi-physiques contribue alors largement à cette évolution.



Appropriation des connaissances par la MODELISATION et la SIMULATION MATLAB-SIMULINK

Peut-on visualiser le signal émis ?

Fort des compléments théoriques apportés, nous comprenons que le signal de la trame émise n'est pas directement visible en tant que telle avec un oscilloscope traditionnel puisque la fréquence porteuse d'émission est généralement trop élevée (2.4 GHz dans le cas du module radio de la carte MICRO:BIT). Seul un appareil de mesure onéreux tel que l'analyseur de spectre permettent d'observer le spectre de fréquence émis (cf. fin de l'activité).

Les outils de simulation tels que MATLAB SIMULINK peuvent toutefois contribuer à satisfaire nos attentes.

Quand il s'agit de concevoir ou d'analyser les performances d'un système de transmission, il est d'usage de modéliser la source avec un générateur de séquence binaire pseudo aléatoire.

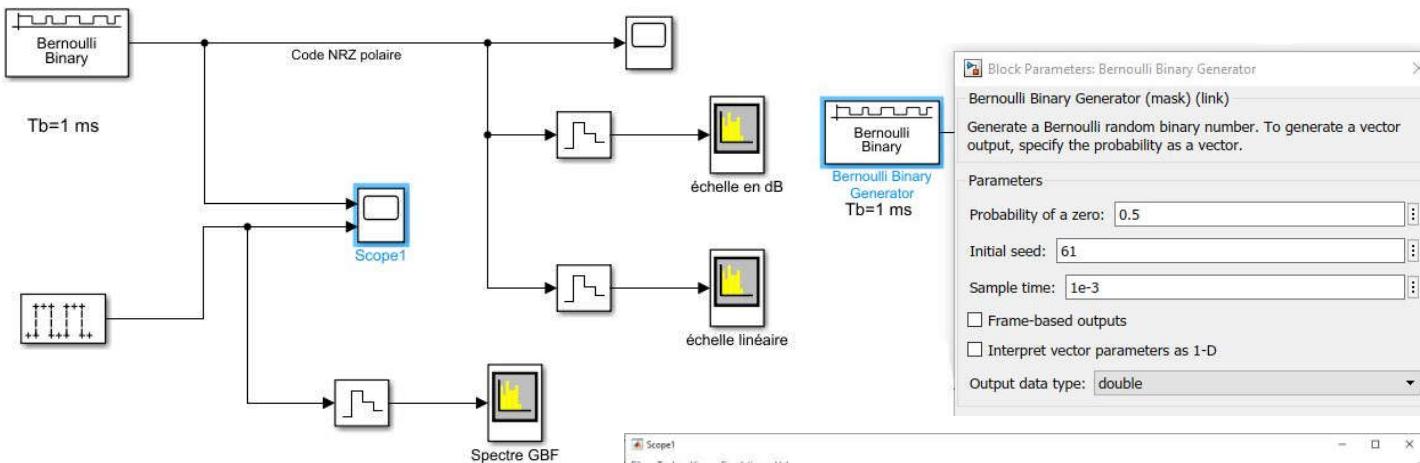
A la différence d'un simple GBF qui délivre un signal carré périodique, ce type de générateur délivre une séquence de 0 et de 1 binaires qui rend possible la visualisation de tout le spectre en bande de base tel qu'il se présente à l'entrée du modulateur.

1- Ouvrir le fichier **GenererLaSource1.slx**

S'assurer que le Générateur de séquence binaire Pseudo aléatoire est correctement réglé. Pour cela la probabilité de générer un 0 binaire doit être égale à **0.5**. Ce qui signifie qu'il y aura autant de chance d'avoir un 0 qu'un 1 en sortie mais de façon non périodique.

S'assurer également que le « Sample Time » est réglé à **1.10⁻³ s** ce qui signifie que la durée d'un bit est **Tb = 1 ms**.

Concernant le Générateur Basse Fréquence GBF s'assurer que le « Sample Time » est bien fixé à **1/5000 s**



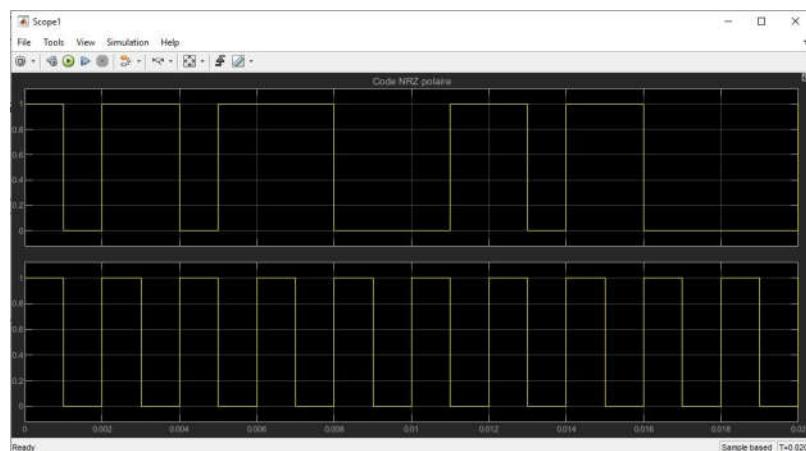
2- Lancer la simulation durant **20 ms** et observer les signaux ainsi générés.

Déterminer dans chacun des cas la valeur du débit binaire (en bit/s ou bps).

3- Quelle est la différence notable entre les 2 signaux ou codes générés ?

A quoi ressemble ce spectre ? Peut-on l'observer ?

4- Pour pouvoir répondre, lancer la simulation durant un temps infini (Stop Time = « **inf** »), observer les signaux à l'aide des 2 analyseurs de spectre et répondre au quiz afin d'appréhender les différences entre les 2 spectres de fréquence ainsi générés.



Spectre du GBF

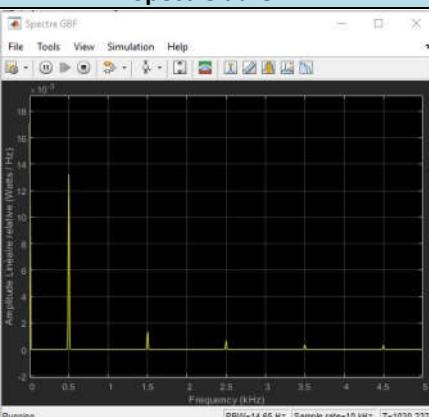


Figure 1

Le spectre du GBF est fait de raies discrètes. La raie principale est bien à la fréquence de 500 Hz puisque la période $T = 2$ ms étant donné que la durée d'un bit = 1 ms

Spectres du Générateur Pseudo aléatoire (en Watts et en dBWatts)

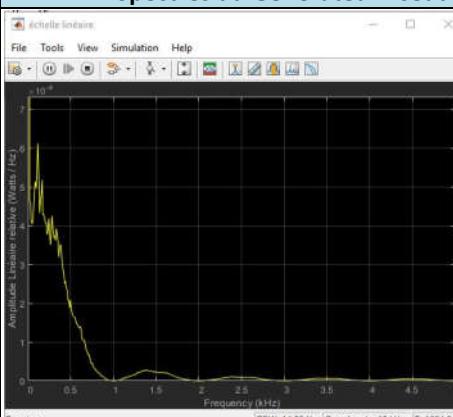


Figure 2

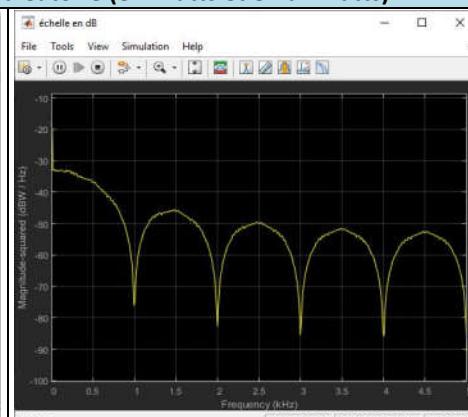


Figure 3

Quiz sur le spectre du générateur pseudo aléatoire (fig. 2 et 3)

Vrai **Faux**

On observe des raies discrètes ?

On observe un spectre continu de raies (une infinité de raies) ?

On observe plusieurs lobes ?

Notion de puissance d'émission : L'aire sous la courbe du spectre correspond à la densité spectrale de puissance. Le calcul de cette aire permet de déterminer la puissance du signal. *NB : Il faut faire appel aux transformées de Fourier et non aux séries de Fourier pour calculer cette aire.*

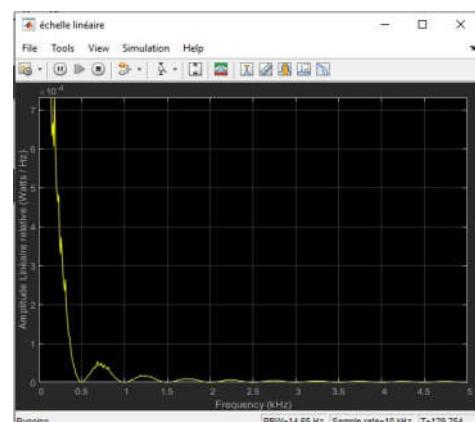
Le premier lobe « le lobe principal » détient plus de 90 % de la puissance d'émission.

Notion de largeur de bande et de bande passante :

La durée du lobe principal est de 1 ms donc la largeur de bande ou encore la bande passante est de 1 KHz (soit l'inverse de 1 ms).

Le spectre ci-contre s'obtient en en divisant de moitié la fréquence d'émission.

5- Chiffrer le débit binaire, la durée binaire et la bande passante.





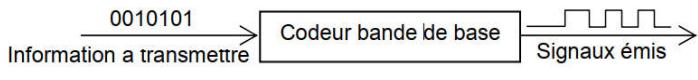
ANALYSE QUALITATIVE

6- Rayer la mauvaise proposition :

Plus la fréquence est petite et plus le débit binaire est	grand	petit
Plus le débit binaire diminue et plus le spectre est	large	étroit
Plus le débit est important et plus la bande passante est	large	étroite

Notons que dans la course à la compétitivité industrielle, tout l'enjeu de la recherche dans le domaine des transmissions numériques est de diminuer la largeur du spectre tout en conservant le même débit binaire. Parmi les défis à relever, il y a notamment celui de trouver un type de codage offrant un spectre le plus étroit possible sans perte d'information pour autant.

Le code NRZ polaire, proposé dans cette simulation, n'est donc pas le seul. Il existe d'autres formes d'encodage de l'information à transmettre plus performantes (le code RZ unipolaire, le code MANCHESTER...). Elles ont pour objectif de limiter le risque de perte de données à la réception.



Le codage en bande de base - Application au module RADIO de la carte MICRO:BIT

A quoi ressemblent les signaux émis par le module radio de la carte Micro:bit ?
Peut-on les observer autrement que par la simulation ?

Pour répondre à ces questions, nous allons :

- Implanter un modèle Simulink d'émission de données dans la carte MICRO:BIT reliée au PC via le port USB
- Visualiser le signal en bande de base émis ainsi que son spectre de fréquence à l'aide d'un oscilloscope (Picoscope)



MODELE sous MATLAB-SIMULINK

- 7- Ouvrir le fichier **Microbit_BandeDeBase2.slx** et paramétriser le générateur pseudo aléatoire de sorte que :

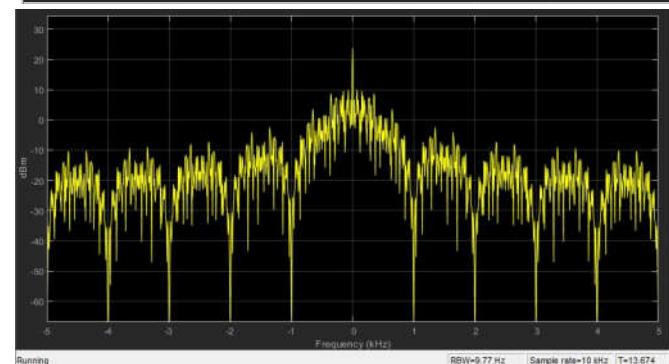
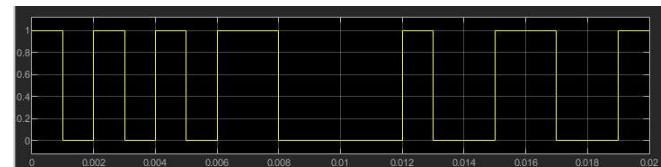
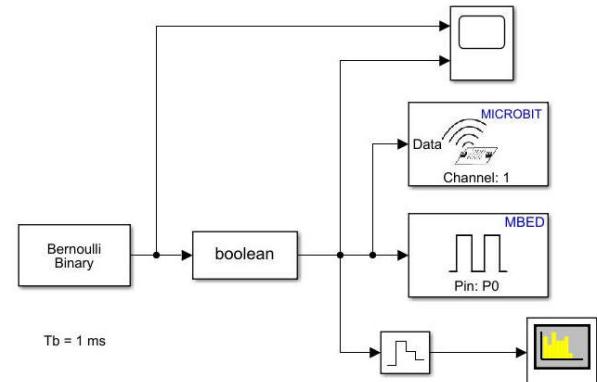
La probabilité de 0 binaire = 0.5

La durée d'un bit = 1 ms (1/1000)

Le canal de diffusion du message : N°1



SIMULATION sous SIMULINK

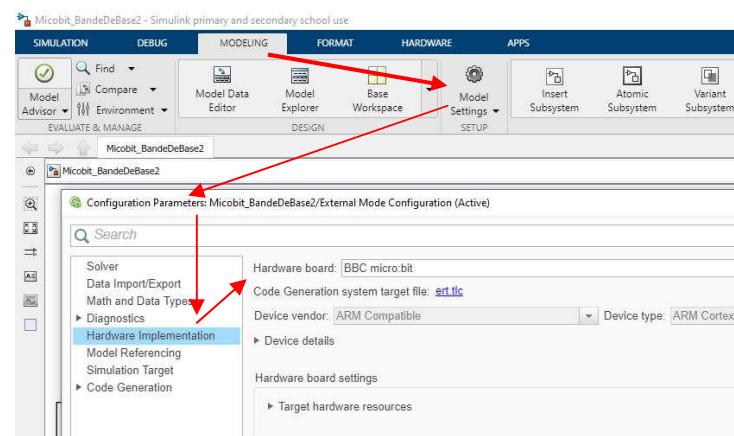


EXPERIMENTATION et ANALYSE DES ECARTS sur la carte MICRO:BIT

- 11- Connecter la carte MICRO-BIT au PC via le port USB.

- 12- Cliquer sur la commande **Modeling** à droite de Simulink puis **Model Settings** pour configurer les paramètres de la partie **Hardware board** en choisissant la carte : **BBC micro:bit** (voir figure ci-après).

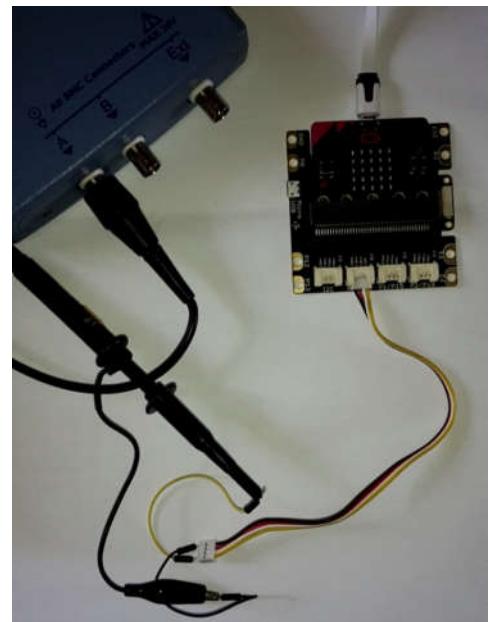
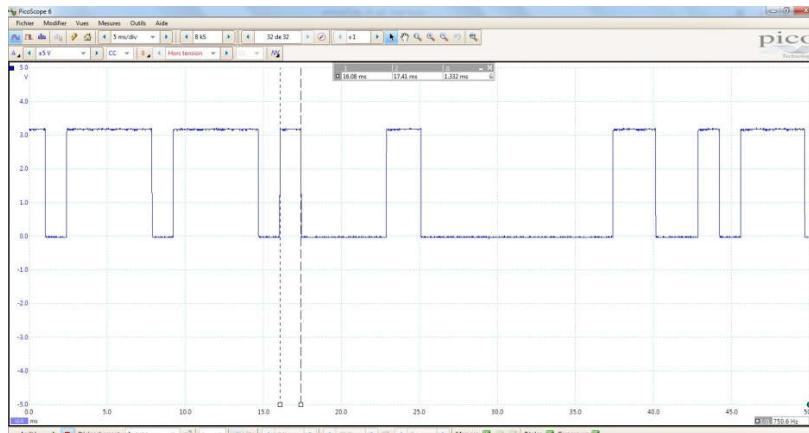
- 13- Une nouvelle fenêtre **HARDWARE** s'ouvre. Choisir un Stop Time « inf » (le programme bouclera durant un temps infini) et lancer le transfert.



ATTENTION !!! Se montrer patient durant le temps du téléchargement du programme.

14- Connecter l'oscilloscope (PICOSCOPE) de façon à observer le signal en bande de base accessible en sortie de la broche « pin 0 ».

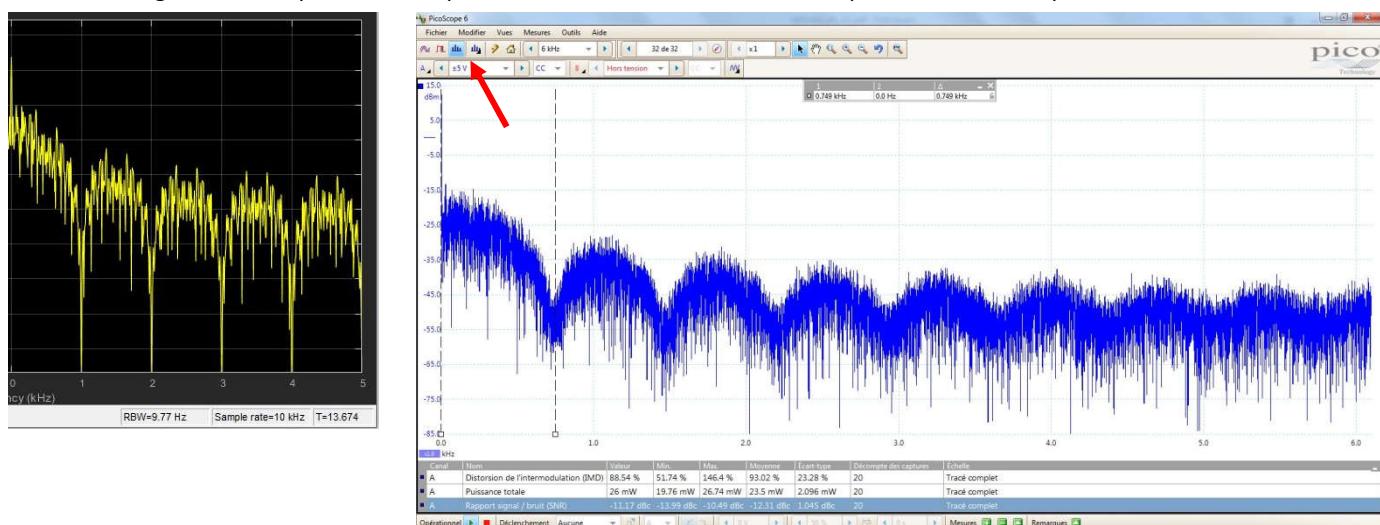
15- Régler le Picoscope afin d'obtenir le signal suivant.



16- Vérifier la durée d'émission d'un bit.

Expliquer l'écart avec la valeur simulée et celle obtenue par la mesure.

17- Observer également le spectre de fréquence. Vérifier la valeur de la bande passante et la comparer avec celle simulé.



18- Augmenter le débit binaire de sorte qu'il atteigne 2500 bits/s. En déduire la largeur de spectre du lobe principal.

Validation



REtenir l'essentiel

19- Compléter la phrase suivante en rayant les mentions inutiles :

Si la durée d'émission d'un bit diminue alors

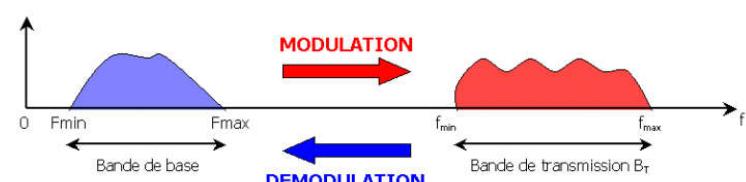
{
 Le débit binaire
 La bande passante

augmente	diminue
augmente	diminue

En référence au cours, il apparaît que les applications de la transmission en bande de base se limitent essentiellement à la transmission filaire sur de courtes distances. En effet, plus la distance de transmission augmente et plus l'atténuation du signal devient importante. La dégradation du signal se fait vite ressentir pour des émissions sur de longues distances.

On lui préfère alors la modulation en bande transposée à des fréquences beaucoup plus élevées encore appelée « Transmission par Modulation/Démodulation ». Notons que cette technique est, de fait, obligatoire pour des transmissions de longue distance faisant appel à des canaux non-électriques tels que le canal de transmission radio ou encore le canal de transmission par fibre optique.

Qu'elle soit du type ASK, FSK ou autres... Chacune de ces modulations a des propriétés spécifiques qui affectent la complexité du modulateur-démodulateur, son coût, l'encombrement spectral de la porteuse, la consommation de l'émetteur et l'immunité au bruit du signal modulé.

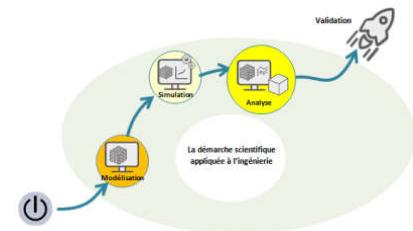


Comment créer un signal modulé en amplitude ?



Mise en œuvre d'une MODULATION NUMÉRIQUE de type ASK sous SIMULINK

La transmission en modulation de bande transposée du type ASK réalise une translation du spectre de fréquence. Cette translation s'obtient en multipliant le signal en bande de base généré par un **signal modulant** de fréquence plus élevée appelé porteuse. Le signal ainsi obtenu et transmis s'appelle le **signal modulé**.



20- A partir des 2 relevés Simulink suivants, préciser :

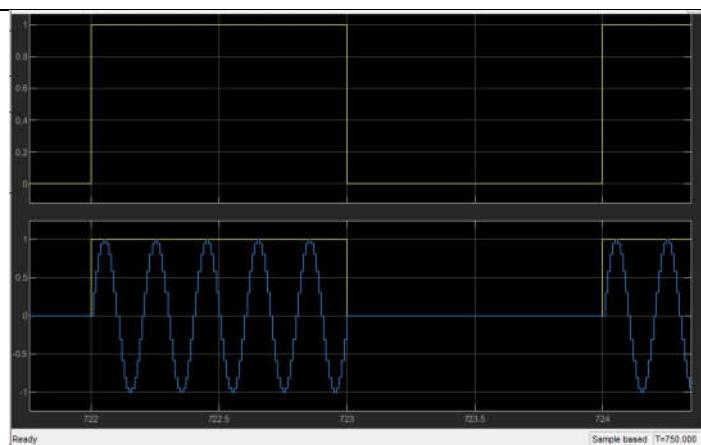
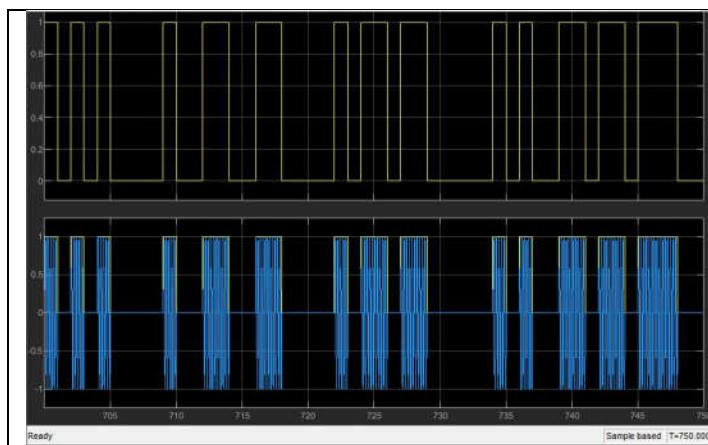
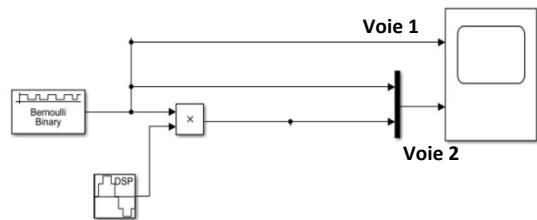
Quelle voie de l'oscilloscope représente le signal en bande de base ?

Quelle voie de l'oscilloscope représente le signal modulé ?

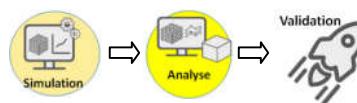
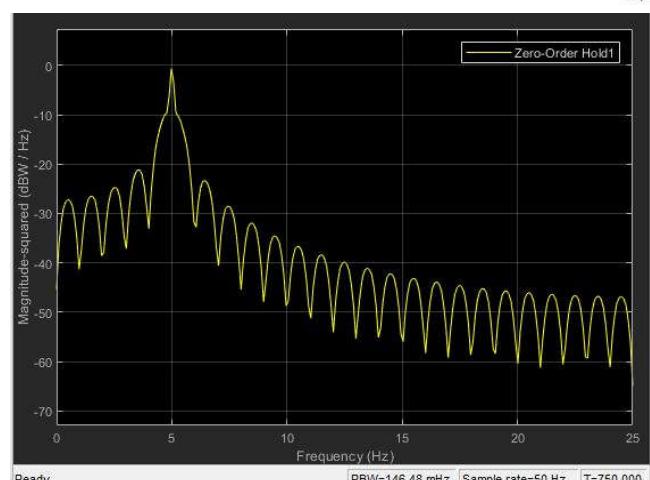
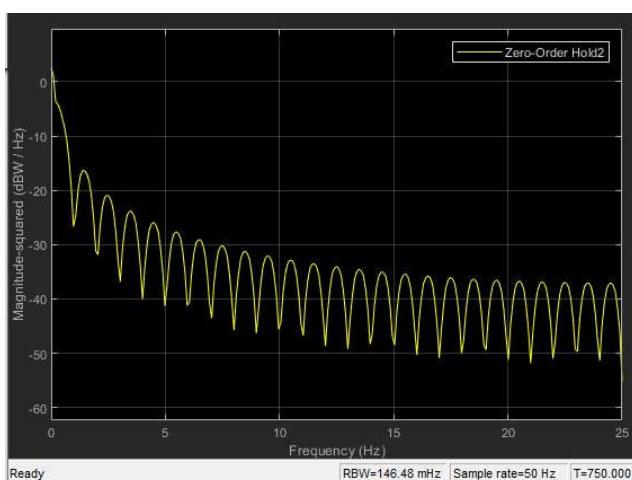
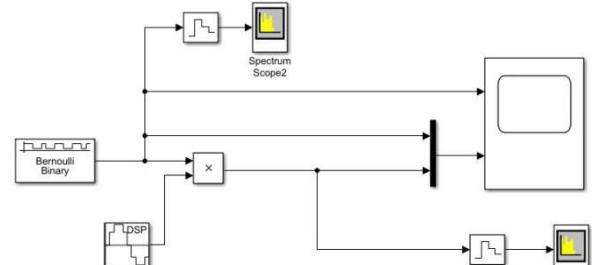
La durée d'un bit → ?

En déduire le débit binaire → ?

La fréquence de la porteuse → ?



21- A l'aide du modèle et du relevé spectral, préciser la technique employée ainsi que la valeur de la transposition de bande.



22- Ouvrir le fichier **ModulationASK1.slx** et vérifier l'essentiel de vos réponses.

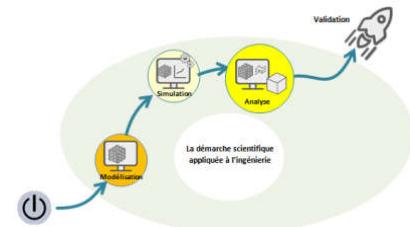
Quelles sont les limites d'une modulation/démodulation ASK ?

Pour répondre à cette question, nous allons scinder le travail en 2 parties :

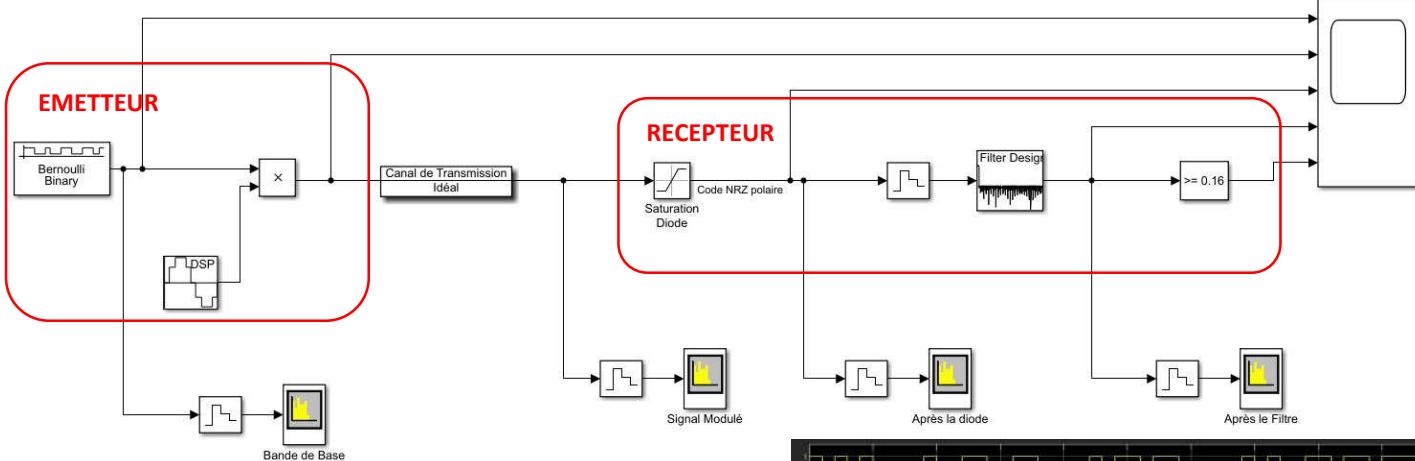
Le MODEM ASK parfait et le MODEM ASK bruité



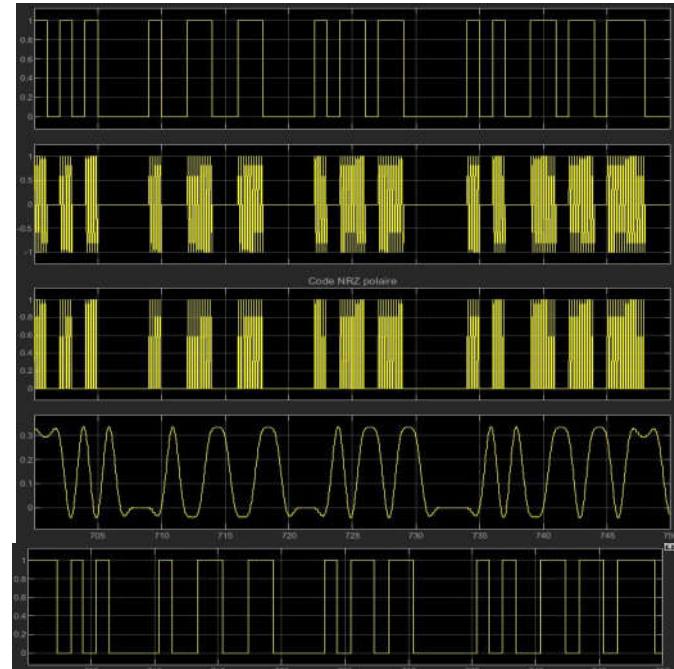
Mise en œuvre d'une modélisation complète de la modulation/démodulation de type ASK sous MATLAB SIMULINK → PARFAITE (SANS BRUIT)



23- Ouvrir le fichier **MODEM_ASK.slx**



- 24- Repérer ci contre le chronogramme du
- Signal de la séquence binaire
 - Signal modulé
 - Signal démodulé



- 25- Quels constats peut-on faire au niveau du signal de sortie si l'on ne tient pas compte du temps de retard lié aux temps de calculs ?

- 26- Quelles sont les caractéristiques du filtre numérique ?

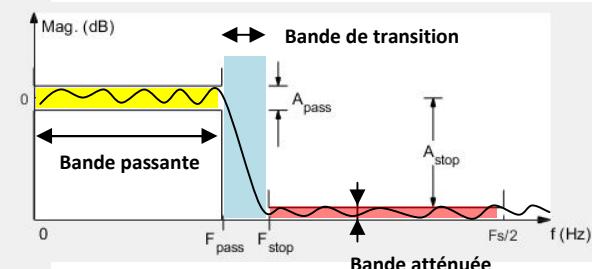
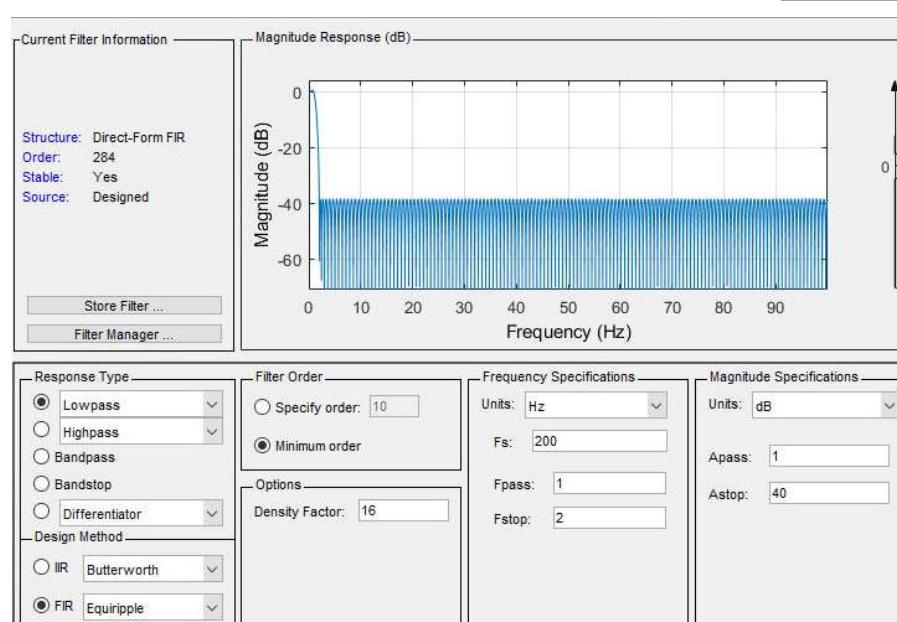
Pour répondre à cette question, préciser :

Le type de filtre employé :

La bande passante (en Hz) :

La largeur de bande de transition (en Hz) :

L'atténuation (en dB) de la bande atténuée :



Gabarit du filtre numérique retenu

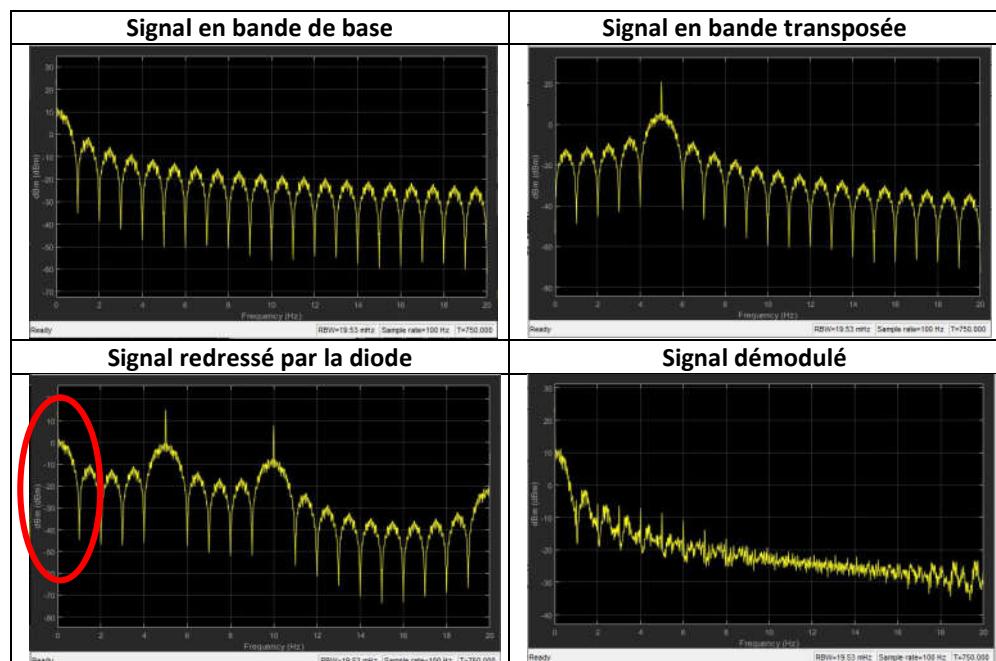


27- Analyse spectrale

Les vertus de la diode permettent de recréer le lobe principal du signal en bande de base.

Entourer ce lobe sur le spectre concerné.

Que deviennent les autres lobes une fois filtrés et adaptés ?

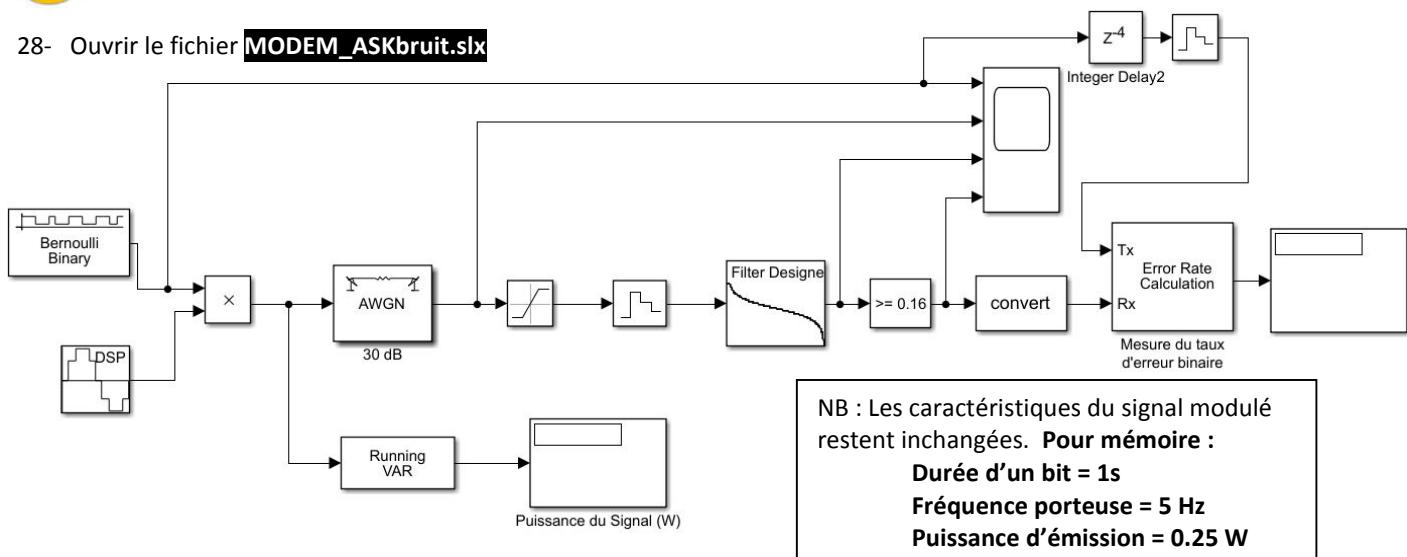


Malheureusement, comme pour tout système électronique, les signaux transmis sont soumis à des perturbations indésirables. Nous allons voir l'influence d'un signal bruité sur la modulation/démodulation d'amplitude ASK afin de constater les limites de cette dernière en termes de qualité de transmission.



Mise en œuvre une modélisation complète de la modulation/démodulation de type ASK sous MATLAB SIMULINK
→ REEL (AVEC BRUIT)

28- Ouvrir le fichier MODEM_ASKbruit.slx



Le bloc SIMULINK de modélisation du canal de transmission (repéré AWGN) permet de simuler l'influence du bruit sur la ligne de transmission des données. Le dernier bloc de calcul, quant à lui, permet d'évaluer le nombre d'erreurs commises en fonction du réglage du rapport de la Densité spectrale de puissance du signal sur la Densité spectrale de puissance du bruit soit encore, le rapport de puissance signal/bruit.



29- Si pour une durée de simulation de 5000 s correspondant à l'émission de 5000 bits, la simulation permet de conclure qu'un signal peu ou pas bruité (rapport de puissance signal/bruit = 30 dB) ne génère pas d'erreur, qu'en est-il d'un signal bruité avec un rapport de 20 dB ?

Relever pour cela le Nombre et le Taux d'erreurs binaires pour le nombre de bits émis.



Aucun système de transmission de données ne peut tolérer un taux d'erreur aussi élevé.

A titre d'exemple, la transmission de programme de télévision numérique TNT tolère un nombre d'erreur maximum de 1 bit pour 1 000 000 de bits émis.

Au delà, le signal numérique se fige à l'écran ou n'est plus reçu.



CONCLUSION

Quelles sont les limites d'une modulation/démodulation ASK ?

La modulation numérique ASK est donc très sensible au bruit pour la simple raison que le niveau de bruit s'ajoute à l'amplitude du signal. Sachant que l'information à transmettre est contenue dans cette amplitude du signal, cet ajout de bruit génère des erreurs de transmission.

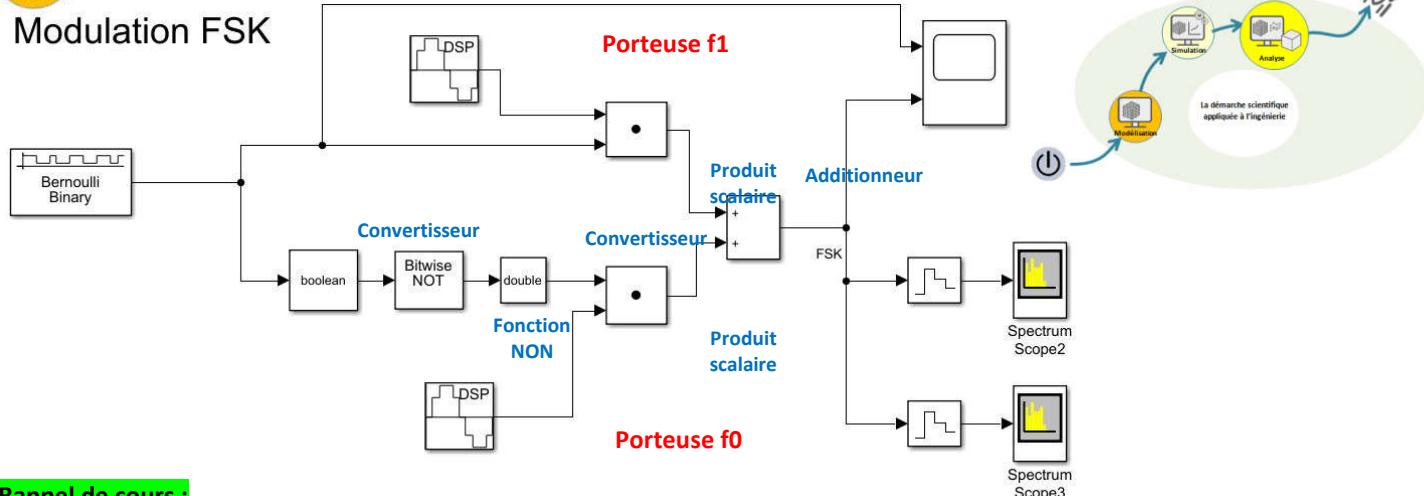
Dans le cas de la modulation numérique FSK, l'information à transmettre est contenue dans la fréquence. Par conséquent l'ajout du bruit en amplitude devient moins gênant rendant ainsi ce type de transmission plus fiable.

Comment créer un signal modulé en amplitude ? Quels sont les avantages et inconvénients d'une modulation FSK ?



Mise en œuvre d'une MODULATION NUMÉRIQUE de type FSK sous SIMULINK

Modulation FSK



Rappel de cours :

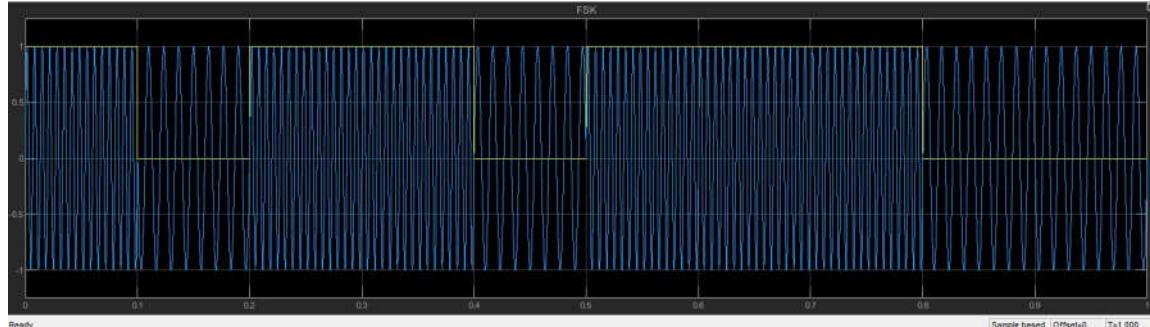
Dans ce type de modulation, la fréquence du signal modulé (*ici désignée par le repère FSK*) peut prendre 2 valeurs

f0 = fp : Fréquence de la porteuse pour la transmission d'un 0 binaire

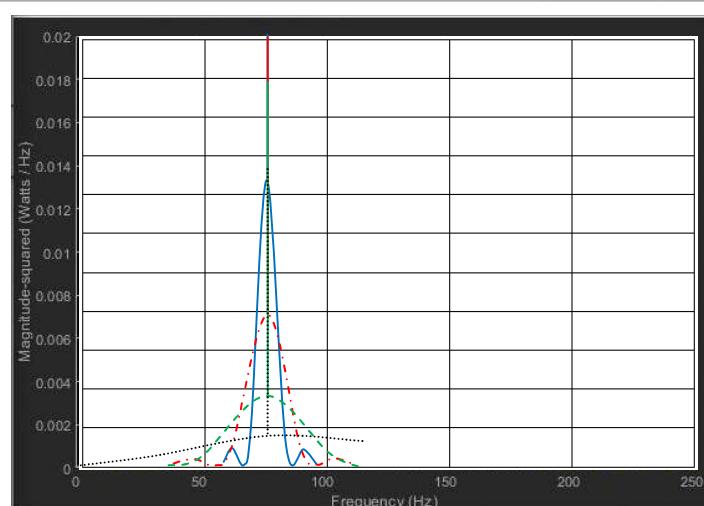
f1 = 2 x fp : Fréquence de la porteuse pour la transmission d'un 1 binaire

A partir de l'exemple de relevé de simulation suivant :

- 30- Déterminer le débit binaire (en bps), les fréquences f0 et f1 (en Hz).



- 31- Compléter ci-contre à main levée l'allure du spectre de fréquence attendu pour un débit binaire de 10 bps (trait continu bleu).
- 32- Repérer les allures de spectre dont les débits binaires sont de 20 bps, 40 bps puis 100 bps.
- 33- Du point de vue puissance d'émission, l'aire sous la courbe enveloppe de puissance est visiblement constante ou variable ?



- 34- Ouvrir le fichier **ModulationFSK.slx** et vérifier l'essentiel des réponses.

**CONCLUSION****Quels sont les avantages et inconvénients d'une modulation FSK ?**

La modulation FSK offre une meilleure immunité au bruit que la modulation ASK (pour les raisons évoquées précédemment). Le taux d'erreur binaire est donc meilleur.

Il n'y a pas de risque de perte de synchronisation au niveau du récepteur en raison de la présence de raies discrètes pour le 0 et 1 binaire.

La modulation FSK offre également une bonne efficacité énergétique mais au détriment d'une faible efficacité spectrale.

En effet, plus le débit binaire augmente et plus l'étalement du spectre augmente. L'optimisation du nombre de canaux sur une étendue de spectre donnée est donc loin d'être parfaite en raison de la faible densité d'occupation qu'il est possible de réaliser sans risque d'interférences. Pour palier ce manque d'efficacité spectrale, il existe des variantes de la FSK telle que la MSK qui permet de minimiser la largeur du spectre.

→ Retour aux problèmes initialement posés en introduction de l'activité :

A quoi ressemblent les signaux émis et reçus ? Peut-on les visualiser ? ...

Dans le contexte de l'exigence traitée par rapport au mini-projet « Service de proximité VAE CODO »

Sur quels paramètres et grandeurs influentes des signaux radios échangés a-t-on agit pour satisfaire l'exigence de sécurité d'anticollision ou celle de l'arrêt du VAE à la borne terminus pour y déposer le client ?

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

Aurait-on pu faire autrement pour satisfaire l'exigence de service et de sécurité attendue ?

A défaut de disposer d'analyseur de spectre, nous allons exploiter des relevés déjà enregistrés afin d'analyser qualitativement des résultats obtenus pour différentes valeurs de fréquence de canal de transmission, de puissance d'émission et de débits binaires.

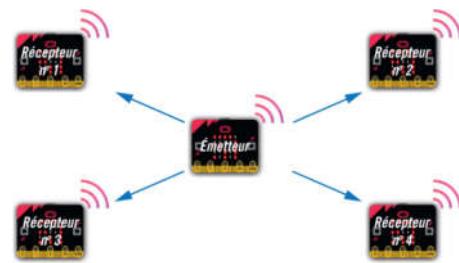
Analyse qualitative de relevés des spectres de fréquences réceptionnés par le module radio de la carte micro:bit



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](#). 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 :

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

Commentaires associés :

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 :

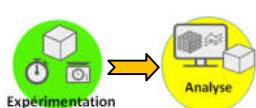
Le module radio utilise la bande de fréquences à 2,4 GHz. Cette bande de fréquences qui s'étale de 2 400 à 2 483,5 MHz est découpée en canaux espacés de 1 MHz (selon le débit binaire retenu).

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 $F_c - \Delta f$).

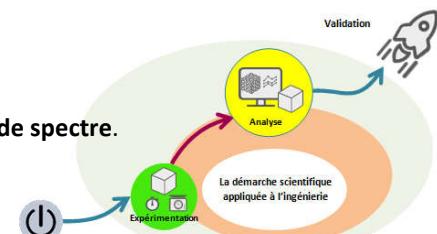
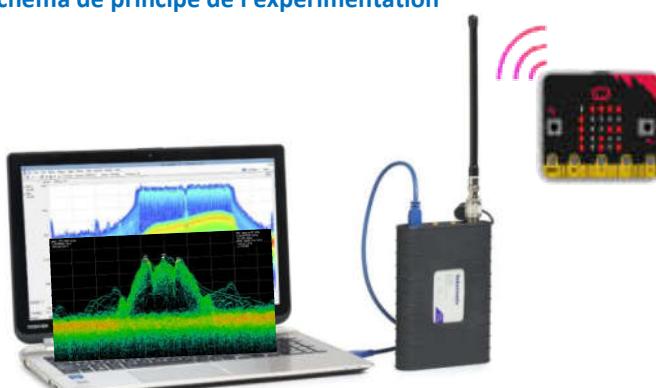
L'indice de modulation ($2 \times \Delta f / D$ où D est le débit) est compris entre 0,28 et 0,35, ce qui correspond à $140 \text{ kHz} \leq \Delta f \leq 175 \text{ kHz}$.



EXPLOITATION DES RESULTATS

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

Schéma de principe de l'expérimentation



La démarche scientifique appliquée à l'ingénierie

Programme de la carte µBIT émettrice réalisé à partir d'un quelconque éditeur en micro-Python (mu-editor par exemple)

```

Mu 1.1.0.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

```

- 35- 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 :

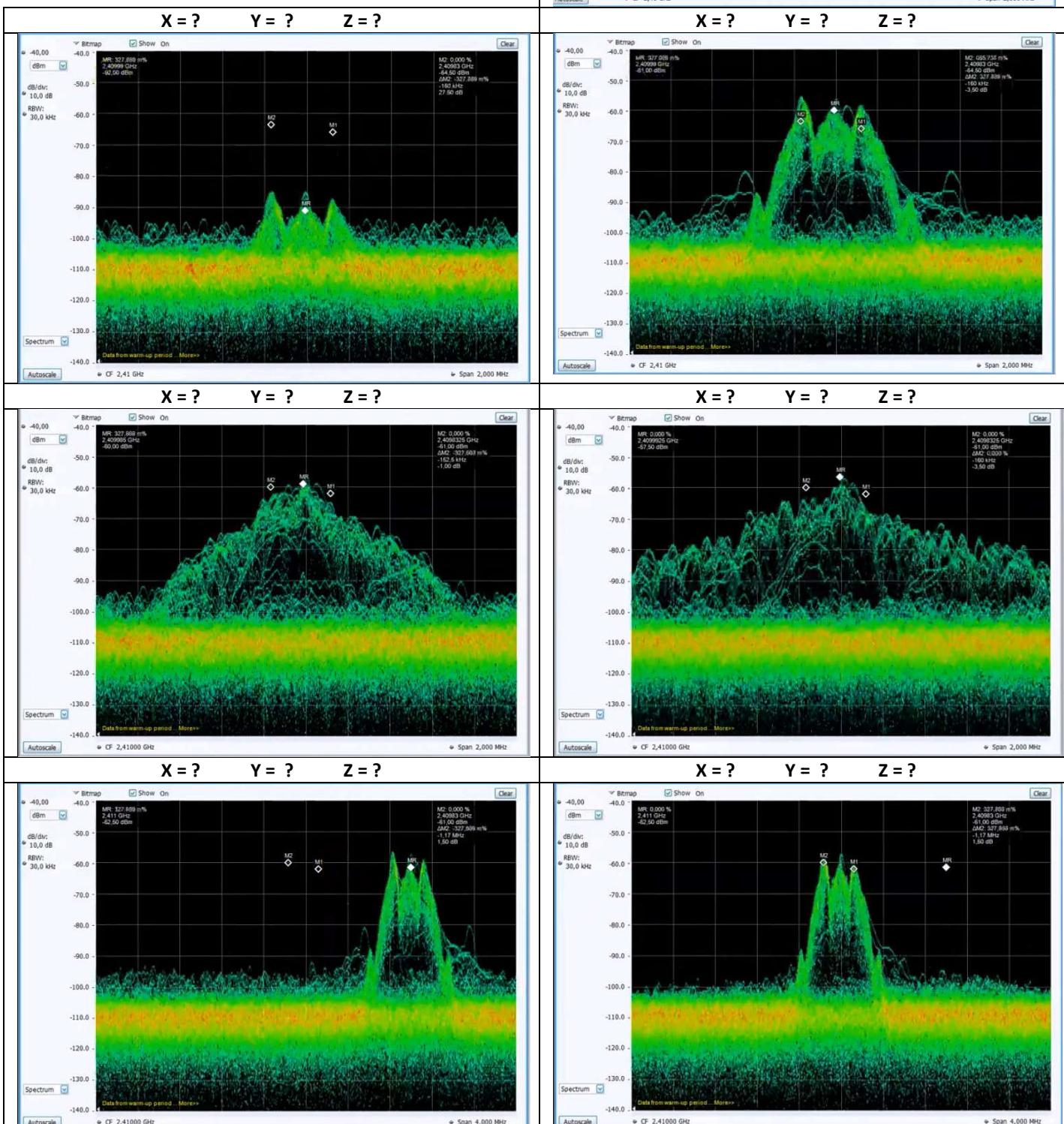
radio.config (channel = **X**, power = **Y**, data_rate=radio.RATE_**Z**)

Les valeurs possibles sont :

channel = X = 10 ou 11

power = Y = 0 ou 4 ou 5

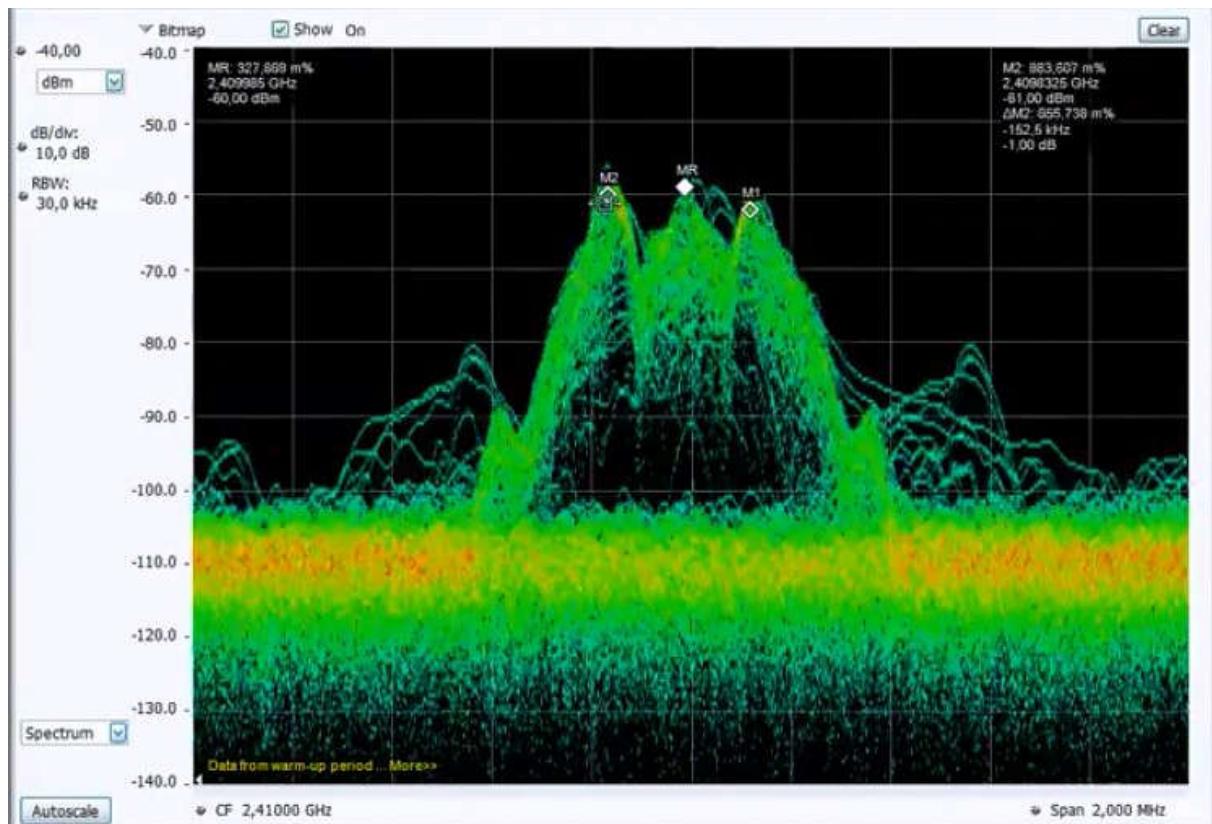
radio_RATE_Z = 250KBIT ou 1 MBIT ou 2 MBIT



36- 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
- La fréquence de la sous porteuse du 0 binaire
- La fréquence de la sous porteuse du 1 binaire

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



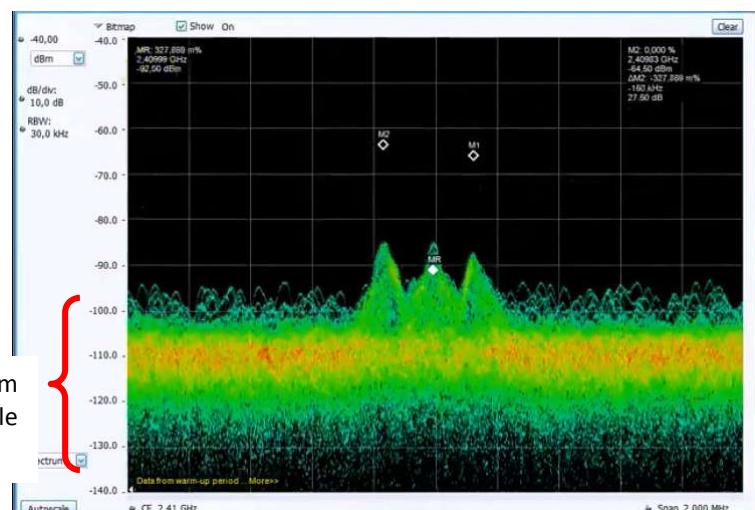
PUISSEANCE D'EMISSION

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 a 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.

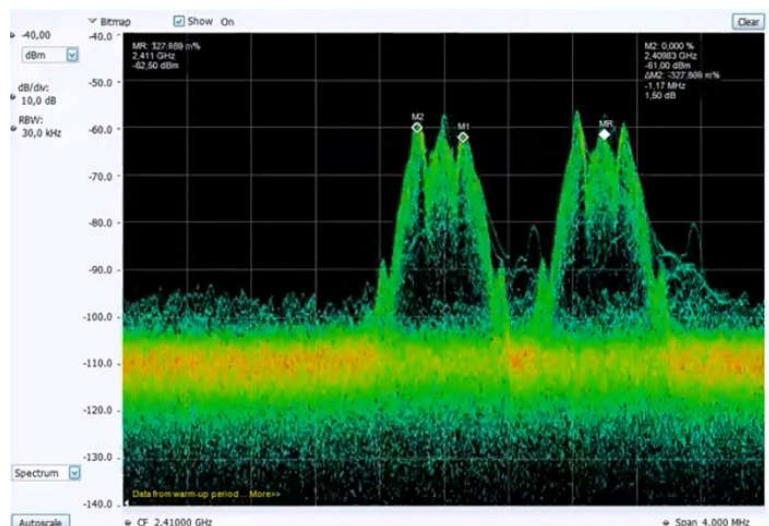
37- Au regard du relevé ci-contre et de la remarque apportée, quel couple de valeurs est-il préférable de choisir ? Justifier la réponse.



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

Fréquence du 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.



- 38- 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 ?
- 39- 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.
- 40- A-t-on usé des propriétés du paramètre « channel » pour permettre l'identification des VAE du mini-projet ?
Que la réponse soit positive ou négative, comment as-t-on procédé ?

DEBIT BINAIRE

- 41- La réponse à la question 39 se justifie par le fait que le filtre numérique du récepteur atténue très fortement le signal reçu dès lors que ce dernier n'est pas dans la bande passante. Si l'on fait usage de canaux contigus, cette justification est-elle vérifiée pour un débit binaire de 2 Mbit/s ?
- 42- 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 ?



CONCLUSION en lien avec le mini-projet

- 43- 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 l'exigence d'anticollision ou celle d'arrêt à la borne terminus pour finaliser la prise en charge du client ?

Peut-on améliorer les solutions proposées pour obtenir une meilleure fiabilité du résultat obtenu ?

Aurait-on pu faire autrement pour satisfaire l'exigence attendue ?