

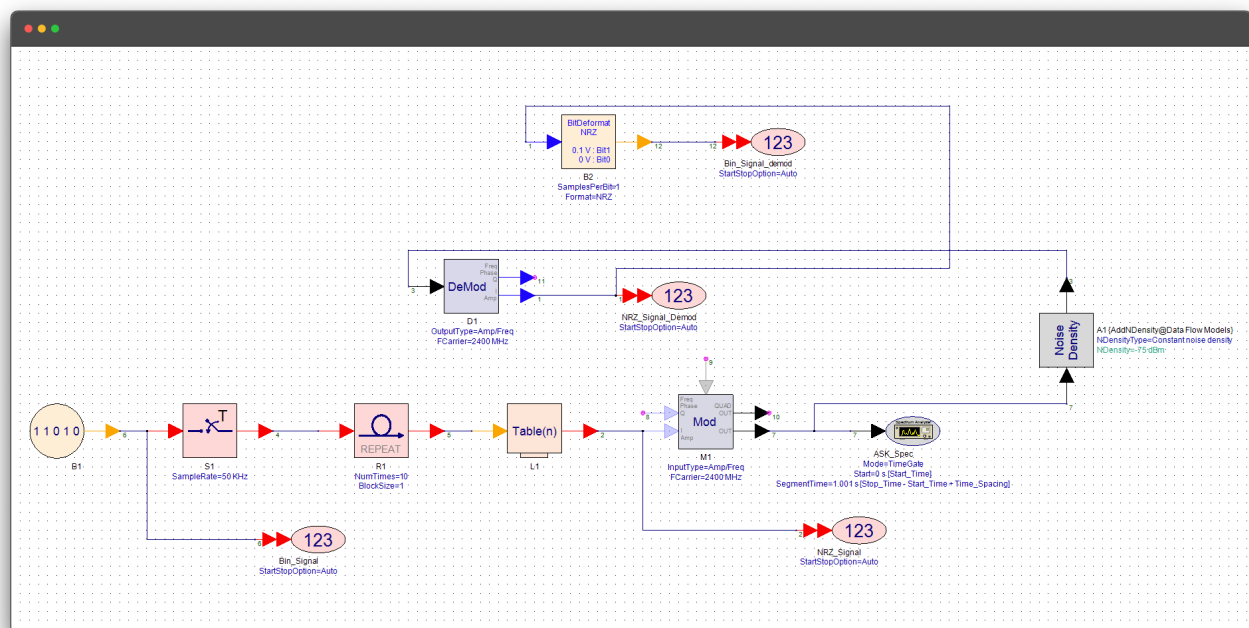
Rapport d'Analyse - Simulation de Transmission Numérique et Modélisation RF

PICAULT Romain & LEENAERTS Loïc

Introduction

Dans ce rapport, nous examinons deux éléments importants des télécommunications : la modulation numérique ASK-OOK (On-Off Keying) et la modélisation d'un canal RF. Ces deux concepts sont importants pour comprendre comment les signaux sont transmis sur de longues distances, même en présence de bruit. L'objectif principal est d'analyser les performances de ces systèmes et d'étudier leur comportement dans des environnements perturbés. En utilisant des observations pratiques et des simulations, ce rapport fournit une vue d'ensemble détaillée des mécanismes sous-jacents et des résultats obtenus.

Partie 1 : Transmission Numérique avec Modulation ASK-OOK



La modulation ASK-OOK est une méthode simple pour transmettre des signaux binaires. Elle fonctionne en variant l'amplitude d'une onde porteuse en fonction des données à transmettre : une onde est présente pour un « 1 » et absente pour un « 0 ». Afin de garantir une transmission fiable, la fréquence d'échantillonnage doit respecter la condition fondamentale du théorème de Shannon-Nyquist :

$$F_e > 2 \cdot F_{max}$$

Dans notre cas, $F_{max} = 50 \text{ kHz}$ est la fréquence maximale du signal utile, et nous choisissons une fréquence d'échantillonnage $F_e = 500 \text{ kHz}$. Cela permet d'obtenir 10 points par symbole :

$$N_{points/symbole} = \frac{F_e}{F_s} = \frac{500 \text{ kHz}}{50 \text{ kHz}} = 10.$$

Le signal numérique NRZ (Non-Return-to-Zero) est modulé en amplitude selon l'équation suivante :

$$S(t) = \begin{cases} A \cdot \cos(2\pi f_c t), & \text{si } b = 1, \\ 0, & \text{si } b = 0, \end{cases}$$

où A est l'amplitude de la porteuse et f_c sa fréquence. Ce processus permet de convertir une séquence binaire en un signal analogique prêt à être transmis. À la réception, le signal est démodulé grâce à un seuil de commutation fixé à 0,1 V :

$$\text{Sortie} = \begin{cases} 1, & \text{si } V_{NRZ-démod} \geq V_{seuil}, \\ 0, & \text{sinon.} \end{cases}$$

L'analyse de l'effet du bruit se fait en ajoutant un bruit blanc gaussien. Le rapport signal sur bruit (SNR) permet d'évaluer la qualité de la transmission :

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{bruit}},$$

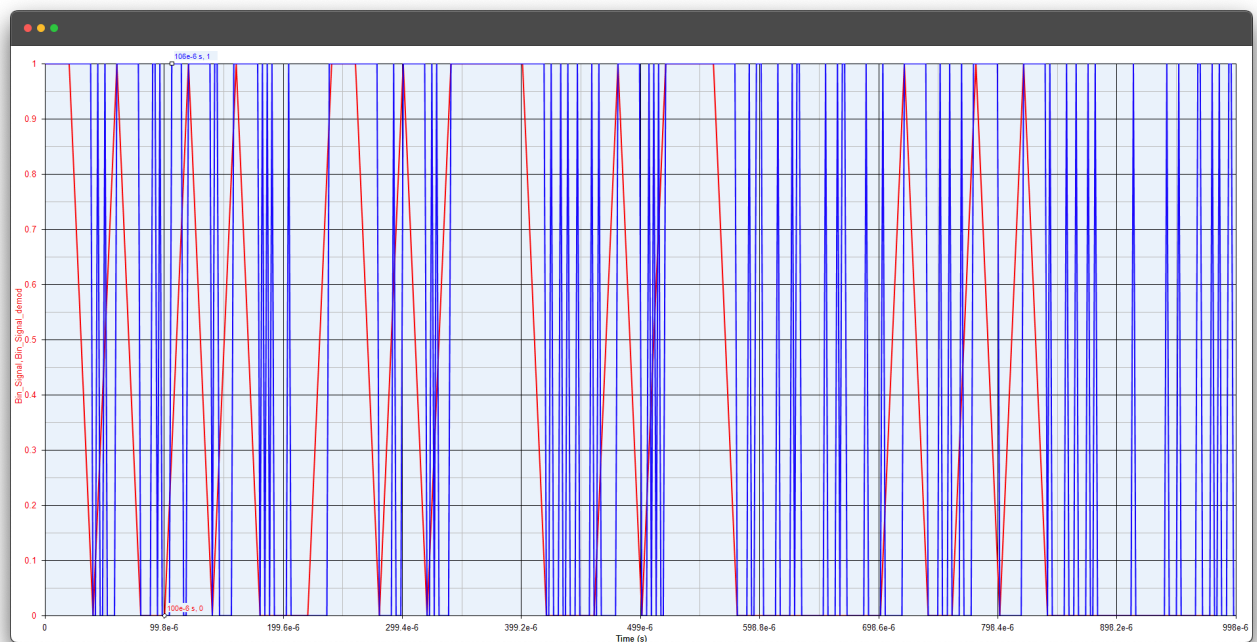
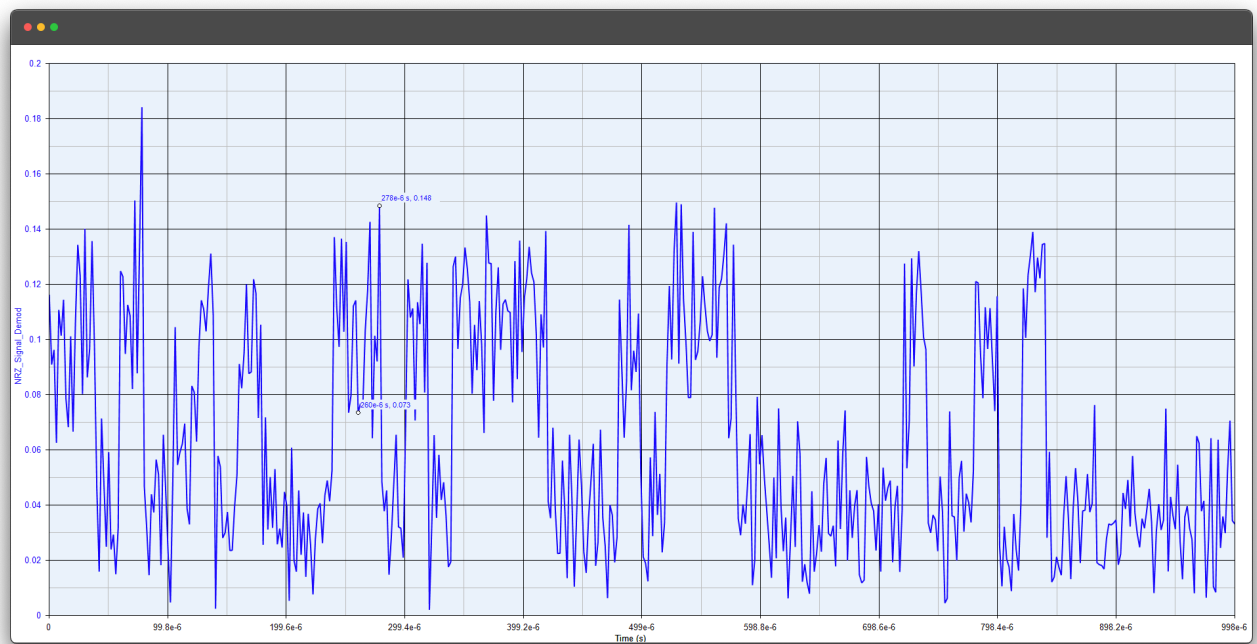
et en dB :

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{bruit}} \right).$$

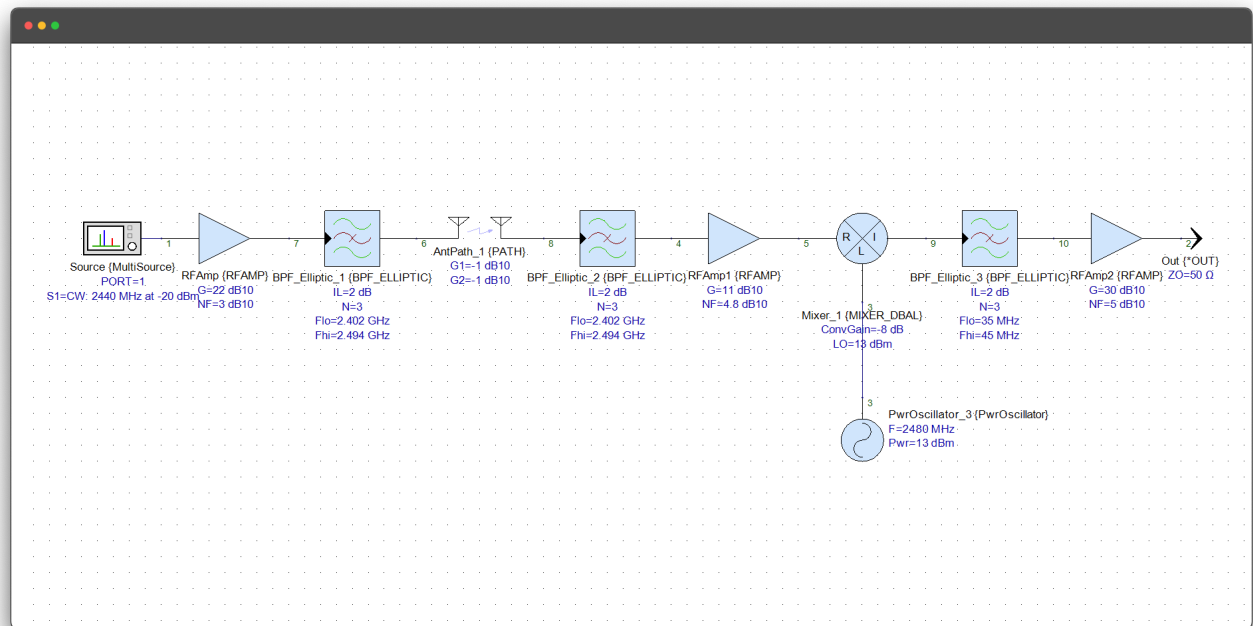
Lorsque le bruit augmente, on peut utiliser la probabilité d'erreur binaire (BER). Elle nous fournit une mesure de la dégradation des performances :

Voici les observations :

- Avec $P_{bruit} = -100 \text{ dBm}$, le signal est peu perturbé, et le BER reste proche de zéro.
- Avec $P_{bruit} = -40 \text{ dBm}$, le bruit domine totalement le signal, et la transmission devient inutilisable :



Partie 2 : Simulation d'un Canal RF



Le canal RF représente l'environnement dans lequel le signal est transmis. Il introduit des pertes dues à la distance et au milieu de transmission. Ces pertes, appelées pertes en espace libre, sont calculées par :

$$A_{dB} = 32,45 + 20 \cdot \log_{10}(f) + 20 \cdot \log_{10}(d),$$

où f est la fréquence (en MHz) et d la distance (en km). Par exemple, pour une fréquence $f = 2400$ MHz et une distance $d = 10$ m :

$$A_{dB} = 32,45 + 20 \cdot \log_{10}(2400) + 20 \cdot \log_{10}(0,01) = 60 \text{ dB}.$$

Pour compenser ces pertes, des amplificateurs sont utilisés. Un amplificateur RF avec un gain G est décrit par :

$$P_{sortie} = P_{entrée} \cdot 10^{\frac{G}{10}},$$

où G est exprimé en dB. Par exemple, un gain de 22 dB pour un signal d'entrée à -20 dBm donne :

$$P_{sortie} = -20 + 22 = 2 \text{ dBm}.$$

Le signal passe ensuite dans un mélangeur, qui convertit la fréquence RF (F_{RF}) en une fréquence intermédiaire (IF) :

$$F_{IF} = |F_{RF} - F_{LO}|,$$

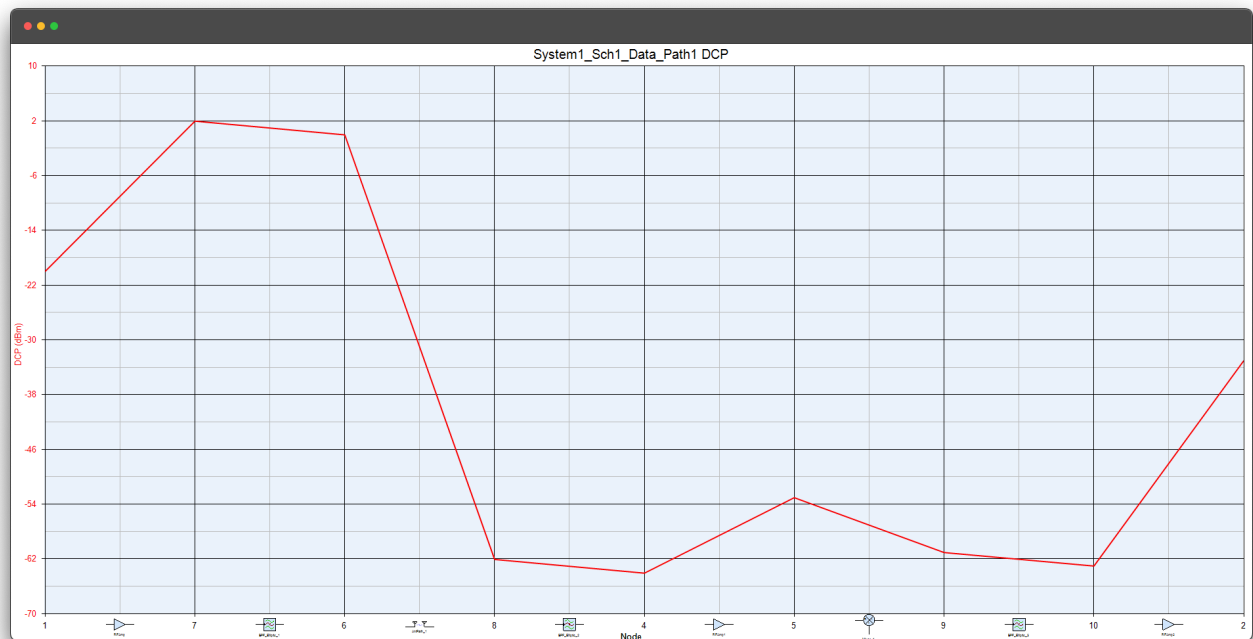
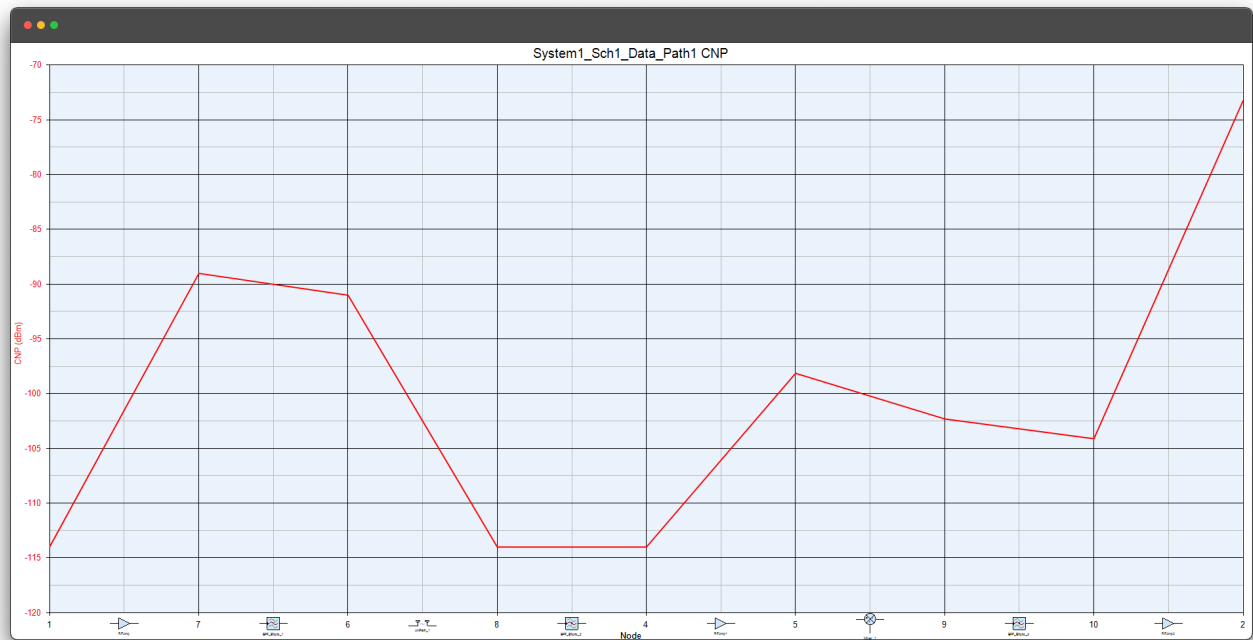
où $F_{RF} = 2440$ MHz et $F_{LO} = 2480$ MHz. Ainsi :

$$F_{IF} = |2440 - 2480| = 40 \text{ MHz}.$$

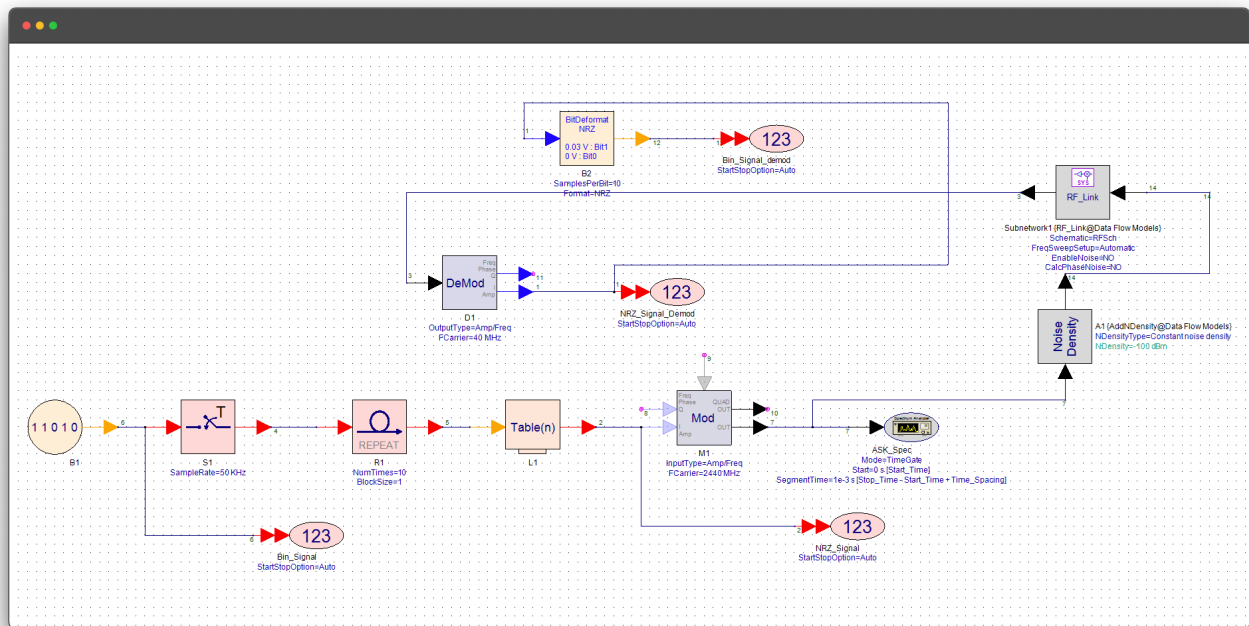
Pour évaluer le bruit total dans le canal, nous utilisons la formule en cascade :

$$NF_{total} = NF_1 + \frac{NF_2-1}{G_1} + \frac{NF_3-1}{G_1 \cdot G_2},$$

où NF représente la figure de bruit et G les gains des différents composants.

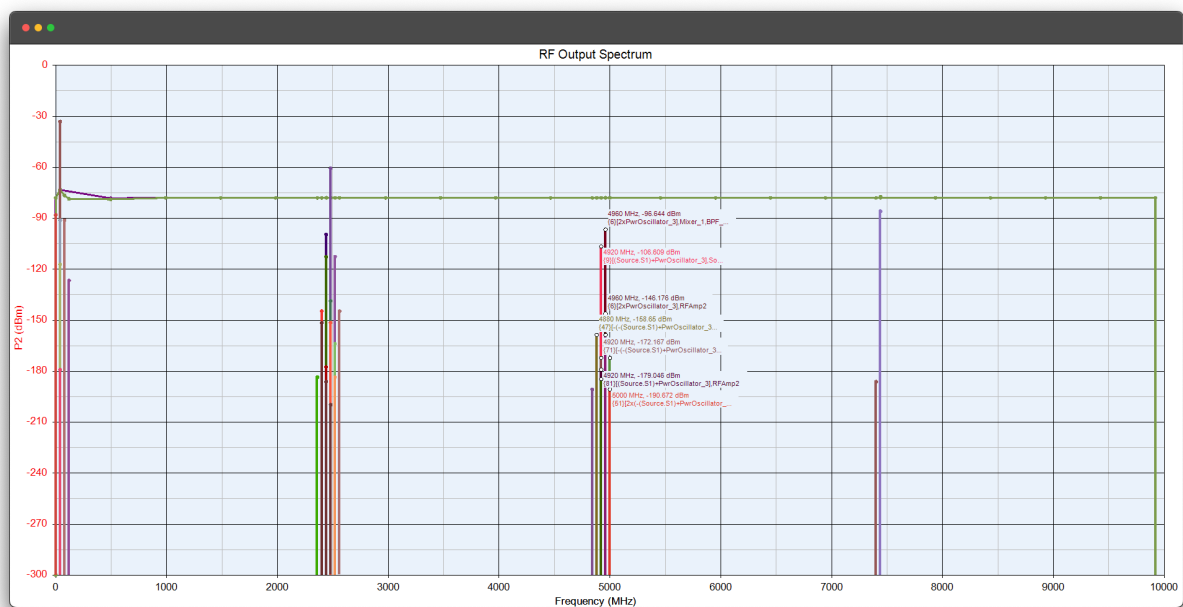


Partie 3 : Simulation Mixte Numérique et RF



En intégrant un canal RF dans une transmission numérique, plusieurs phénomènes sont observés :

- Le bruit introduit des distorsions dans les signaux binaires, visibles sous forme d'harmoniques supplémentaires dans le spectre. Cela complique la récupération des bits transmis.



- Les transitions entre états logiques (passage de 0 à 1 ou de 1 à 0) deviennent moins nettes.

Des ajustements au niveau du démodulateur, comme la modification du seuil de commutation, permettraient d'améliorer la qualité de la transmission malgré ses dégradations.

Conclusion

Cette étude a montré que, la simplicité d'implémentation de la modulation ASK-OOK la rend peut-être vulnérable au bruit. En revanche, l'ajout d'un canal RF avec des amplificateurs et des filtres améliore significativement la robustesse de la transmission. Les calculs et les résultats expérimentaux confirment ces observations. Pour aller plus loin, il serait intéressant d'explorer des techniques de modulation plus avancées, comme la PSK, pour améliorer davantage la qualité et la fiabilité des systèmes de communication. Un modèle d'IA pourrait être également une bonne méthode de modulation et de démodulation en effectuant des prises de décisions sur des critères et seuils plus souples et surtout variables.