ESCAPE NO GAME

Groupe 5: Misha DOPRE | Alexis DUPONT | Adem BRAHIM

Traitement du signal

Livrable 2

Table des matières :

I) Contexte

Général : L'agent K57, après une mission d'infiltration réussie dans une base secrète de cyberpirates, s'est retrouvé coincé dans une salle de conférence sans accès réseau. La composition des murs empêchait toute communication extérieure via les ondes traditionnelles. Le seul équipement disponible était un micro branché au système d'audioconférence, uniquement connecté au réseau lors des réunions. Notre mission au département R&D de l'agence AIL3C est de trouver une solution technique permettant à l'agent de communiquer vers l'extérieur dans de telles situations critiques. Nous devons proposer une solution innovante, basée sur les caractéristiques des ondes sonores, pour éviter que de telles situations ne se reproduisent.

Dans ce Livrable 2 : Nous devons concevoir un filtre passe-bande pour récupérer un signal non audible capté par un microphone. Cela inclut la proposition du schéma, l'étude de la réponse fréquentielle, le dimensionnement des composants, et la simulation du filtre.

II) Problématique

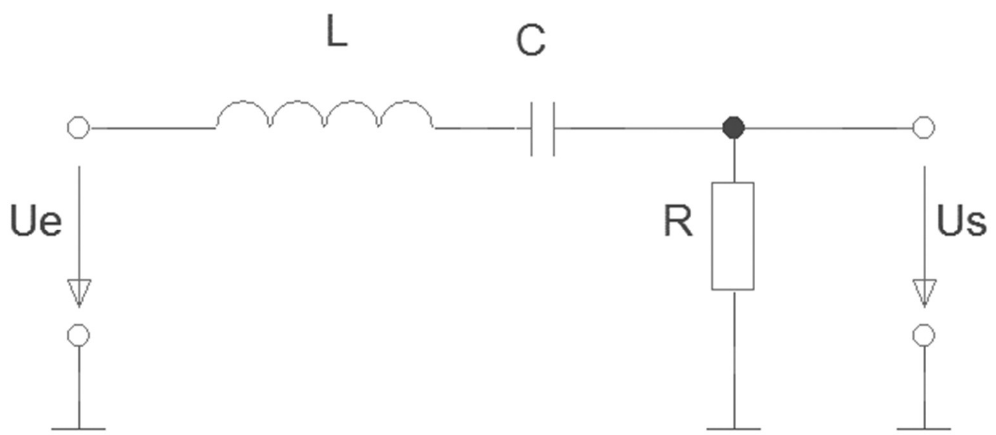
Comment concevoir un filtre passe-bande pour récupérer un signal non audible capté par un microphone, tout en filtrant les autres fréquences ?

III) Proposition et justification du schéma de filtre

Pour récupérer un signal non audible à partir d'un signal reçu, il est important de comprendre les caractéristiques des ondes sonores et les limitations des microphones et des haut-parleurs. Les humains entendent généralement des fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz, mais au-delà de 17 kHz, il devient difficile de percevoir les sons. Pour notre application, nous devons choisir une fréquence qui soit audible par le microphone mais non perceptible par l'oreille humaine.

Une fréquence centrale autour de 18 kHz semble donc être un bon compromis.

Pour extraire un signal non audible d'un signal composite, un filtre passe-bande est le choix le plus approprié. Un filtre passe-bande permet de sélectionner une bande de fréquences spécifique tout en atténuant les fréquences en dehors de cette bande. Un filtre de second ordre (ordre 2) offre une bonne sélectivité en fréquence et est suffisant pour notre application. Enfin, le filtre RLC utilise des composants passifs simples (résistance, inductance, capacité), ce qui le rend facile à réaliser et à ajuster.



IV) Analyse de la fonction de transfert d'un circuit électronique

Fonction de transfert

Définition : La fonction de transfert H(jω) d'un circuit est une représentation mathématique qui décrit comment le circuit modifie un signal en fonction de la fréquence. Pour un filtre passe-bande RLC de second ordre, la fonction de transfert est donnée par :

$$H(j\omega) = \frac{V_{\text{out}}(j\omega)}{V_{\text{in}}(j\omega)}$$

où Vout(jω) est la tension de sortie et Vin(jω) est la tension d'entrée.

Les équations du circuit :

1. **Loi des Mailles** : La somme des tensions autour d'une maille est nulle.
2. **Loi des Nœuds** : La somme des courants entrant dans un nœud est égale à la somme des courants sortant de ce nœud.

Dans notre circuit, on a : Vin = Vr + Vc + Vl

où Vr, Vc, et Vl sont les tensions aux bornes de la résistance, du condensateur, et de l'inductance, respectivement.

Impédances des composants :

- Résistance R : Zr = R
- Condensateur C : $Zc = 1/j\omega C$
- Inductance L : Zl = jωL

Grâce aux impédances, nous pouvons écrire :

$$H(j\omega) = \frac{V_{\text{out}}(j\omega)}{V_{\text{in}}(j\omega)} = \frac{j\omega RC}{1-LC\omega^2+j\omega RC}$$

Variations du Module en Fonction de la Pulsation

Le module de la fonction de transfert |H(jω)| ou |H(s)| représente l'amplitude ou le gain du système linéaire en fonction de la fréquence (domaine fréquentiel. Il permet d'analyser le comportement fréquentiel du système, notamment les bandes passantes, les fréquences de coupure et les résonances.

$$|H(j\omega)| = \left|\frac{j\omega RC}{1-LC\omega^2+j\omega RC}\right|$$

En simplifiant :

$$|H(j\omega)| = \frac{\omega RC}{\sqrt{(1-LC\omega^2)^2+(\omega RC)^2}}$$

Pour étudier les variations du module en fonction de ω, nous devons analyser cette expression. Le module atteint son maximum à la fréquence de résonance ω0.

Fréquence de résonance

Définition : La fréquence de résonance ω0 est la fréquence à laquelle le module de la fonction de transfert |H(jω)| atteint son maximum. Pour un filtre passe-bande RLC, cette fréquence est déterminée par les valeurs de l'inductance L et de la capacité C.

Dans un circuit RLC, elle est donnée par : $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

En termes de pulsation, cela devient : $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

- L est l'inductance en henrys (H),
- C est la capacité en farads (F)

Facteur de qualité Q

Définition : Le facteur de qualité Q d'un circuit RLC est une mesure de la sélectivité du circuit. Il est défini comme le rapport entre la fréquence de résonance et la largeur de bande à -3 dB.

Il est donné par : $Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$ ou $Q = \frac{f0}{\Delta f}$

V) Le dimensionnement des composants

Nous devons choisir nos valeurs de manière que la fréquence de résonance ω0 corresponde à la fréquence centrale du signal non audible et que le facteur de qualité Q soit suffisamment élevé pour obtenir une bonne sélectivité.

Fréquence centrale

Nous devons choisir une fréquence centrale qui soit audible par le microphone mais non perceptible par l’oreille humaine. Une fréquence centrale de 18 kHz semble donc être adaptée à la situation.

Calcul de l'inductance L

Définition : L'inductance L est un composant passif qui stocke de l'énergie sous forme de champ magnétique. Pour notre application, nous choisissons une valeur d'inductance de L = 10 mH.

Calcul de la capacité C

La capacité C est un composant passif qui stocke de l'énergie sous forme de champ électrique. Pour déterminer la valeur de la capacité, nous utilisons la fréquence de résonance ω0 et l'inductance L.

On sait que : $\omega 0 = 1/\sqrt{LC}$

Donc pour une fréquence centrale de 18 kHz, on a :

$\omega 0 = 2\pi \times 18000 \approx 113097\ rad/s$

Puisque L = 10 mH, on peut calculer C :

$C = \frac{1}{L\omega 0^2} = \frac{1}{(2\pi \times 18000)^2 \times 10 \times 10^{-3}} \approx 7.82 \times 10^{-9}\ F$

$C \approx 7.82\ nF$

Calcul de la résistance R

Définition : La résistance R est un composant passif qui dissipe de l'énergie sous forme de chaleur. Pour déterminer la valeur de la résistance, nous utilisons le facteur de qualité Q.

Le facteur de qualité Q est donné par la formule :

$Q = \frac{1}{2}\sqrt{L}/C$

$Q = \frac{f0}{\Delta f}$

Pour Q = 10, on peut calculer R :

$R = \frac{1}{Q}\sqrt{\frac{L}{C}}$

$R = \frac{1}{10}\sqrt{\frac{10 \times 10^{-3}}{7.82 \times 10^{-9}}} \approx 113.08\ \Omega$

Les valeurs calculées de L = 10 mH, C = 7.82 nF, et R = 113.08 Ω permettent d'obtenir une fréquence de résonance de 18 kHz et un facteur de qualité de 10, ce qui est idéal pour notre application.

VI) Analyse de la fonction de transfert d'un filtre électronique

Fonction transfert T(ω) d'un filtre passe – bande RLC

$$T(\omega) = \frac{V_{\text{out}}(\omega)}{V_{\text{in}}(\omega)} = \frac{j\omega RC}{1 - LC\omega^2 + j\omega RC}$$

- Vout(ω) est la tension de sortie
- Vin(ω) est la tension d'entrée
- R est la résistance
- C est la capacité
- L est l'inductance
- ω est la pulsation

Comportement de T(ω) en Fonction de la Fréquence

Module de la fonction de transfert :

$$|T(\omega)| = \left|\frac{j\omega RC}{1 - LC\omega^2 + j\omega RC}\right|$$

$$|T(\omega)| = \left|\frac{j\omega RC(1 - LC\omega^2) - (j\omega RC)^2}{(1 - LC\omega^2)^2 + (\omega RC)^2}\right|$$

$$|T(\omega)| = \left|\frac{j\omega RC(1 - LC\omega^2) - j^2\omega^2 R^2 C^2}{(1 - LC\omega^2)^2 + (\omega RC)^2}\right|$$

$$|T(\omega)| = \left|\frac{j\omega RC(1 - LC\omega^2) + \omega^2 R^2 C^2}{(1 - LC\omega^2)^2 + (\omega RC)^2}\right|$$

$$|T(\omega)| = \frac{\omega RC}{\sqrt{(1 - LC\omega^2)^2 + (\omega RC)^2}}$$

Phase de la fonction de transfert :

$$\varphi = \arg(T(\omega))$$

Pour déterminer la phase, nous devons analyser les parties réelles et imaginaires de la fonction de transfert. La phase varie de 0° à 180° en passant par 90° à la fréquence de résonance.

Phase à Basses Fréquences

À basses fréquences (ω < ω0), la phase est proche de 0°.

Phase à la Fréquence de Résonance

À la fréquence de résonance ($\omega = \omega 0$), la phase est de 90°.

Phase à Hautes Fréquences

À hautes fréquences ($\omega > \omega 0$), la phase est proche de 180°.

Gain en dB

$$G_{dB} = 20 \log |T(\omega)|$$

Gain en dB à Basses Fréquences

À basses fréquences ($\omega < \omega 0$), le gain augmente à +20 dB/décade. Cela signifie que pour chaque décade (facteur de 10) d'augmentation de ω, le gain augmente de 20 dB.

Gain en dB à la Fréquence de Résonance

À la fréquence de résonance ($\omega = \omega 0$), le gain atteint un maximum. Cela signifie que le filtre passe-bande laisse passer les fréquences autour de ω0 avec un gain maximal.

Gain en dB à Hautes Fréquences

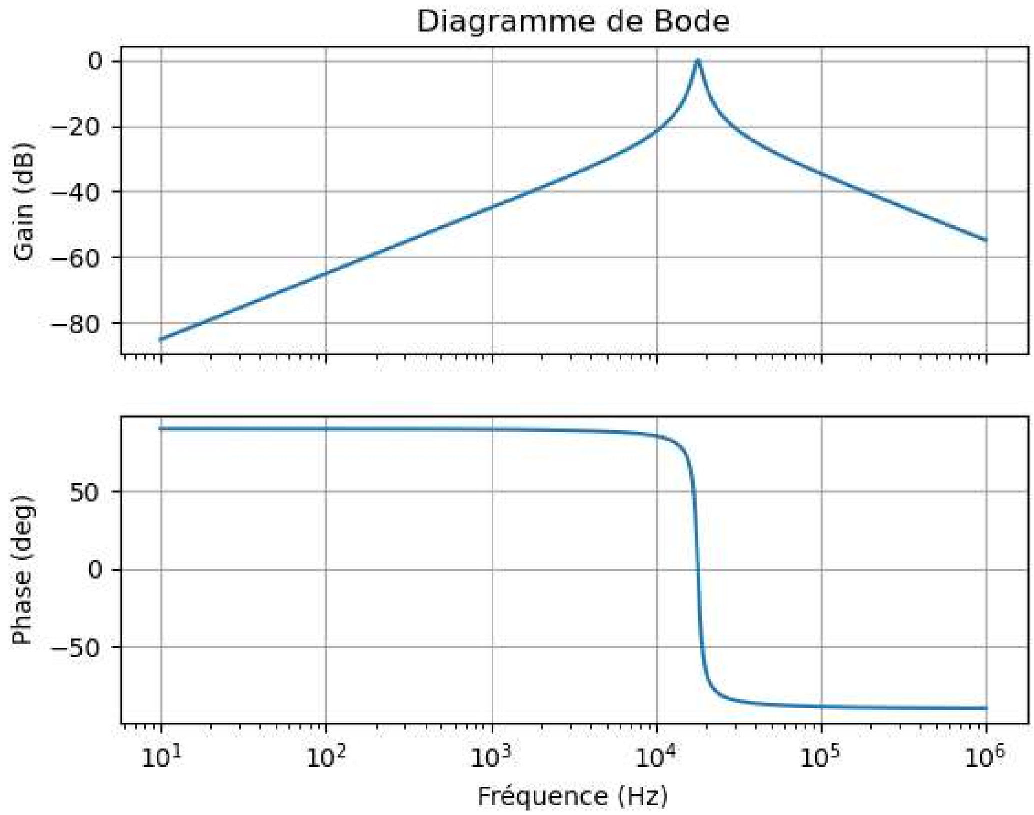
À hautes fréquences ($\omega > \omega 0$), le gain diminue à -20 dB/décade. Cela signifie que pour chaque décade d'augmentation de ω, le gain diminue de 20 dB.

<u>VII) Le diagramme de Bode</u>

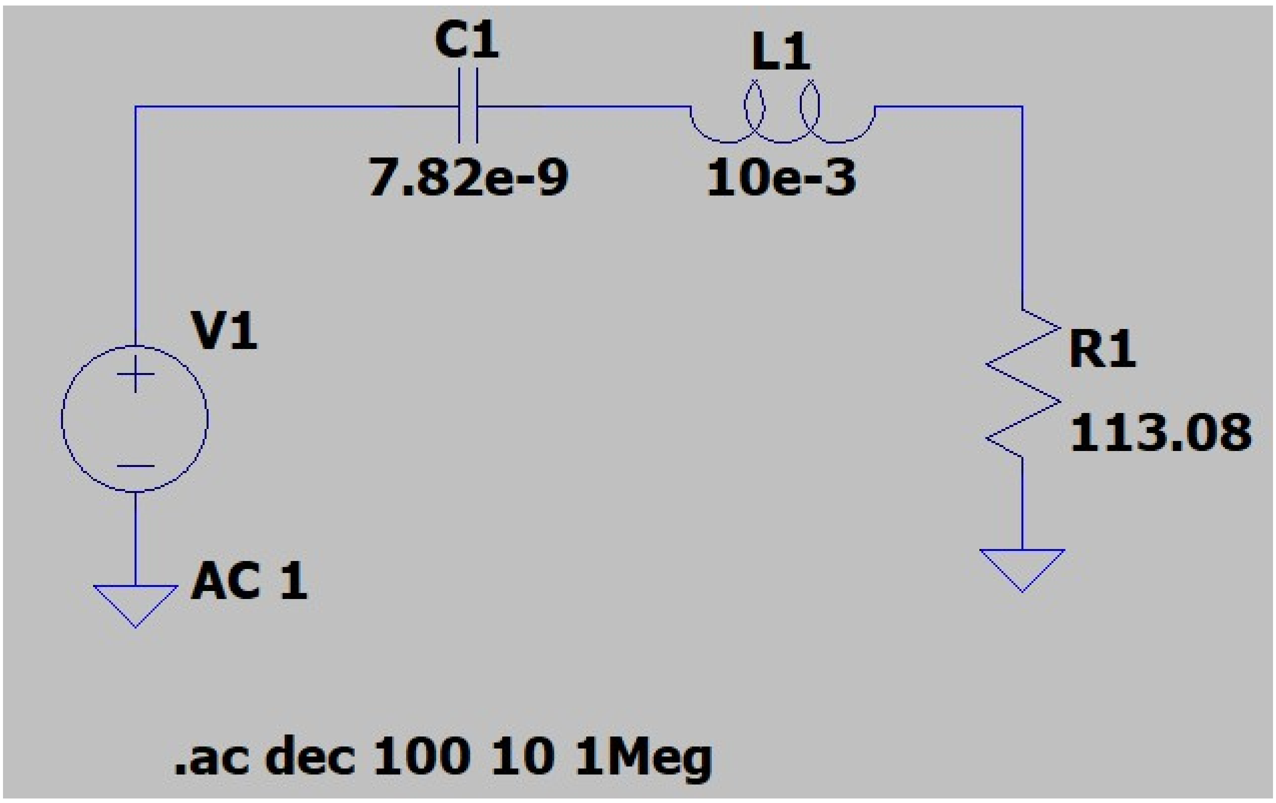
Voici un code python afin de tracer le diagramme de Bode :

```python
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Paramètres du circuit
R = 113.08
L = 10e-3
C = 7.82e-9

# Fréquences
f = np.logspace(1, 6, 1000)
omega = 2 * np.pi * f

# Fonction de transfert
T = (1j * omega * R * C) / (1 - L * C * omega**2 + 1j * omega * R * C)

# Module et phase
gain_db = 20 * np.log10(np.abs(T))
phase = np.angle(T, deg=True)

# Tracer le diagramme de Bode
fig, ax = plt.subplots(2, 1, sharex=True)

# Gain en dB
ax[0].semilogx(f, gain_db)
ax[0].set_ylabel('Gain (dB)')
ax[0].set_title('Diagramme de Bode')
ax[0].grid(True)

# Phase
ax[1].semilogx(f, phase)
ax[1].set_ylabel('Phase (deg)')
ax[1].set_xlabel('Fréquence (Hz)')
ax[1].grid(True)

plt.show()
```

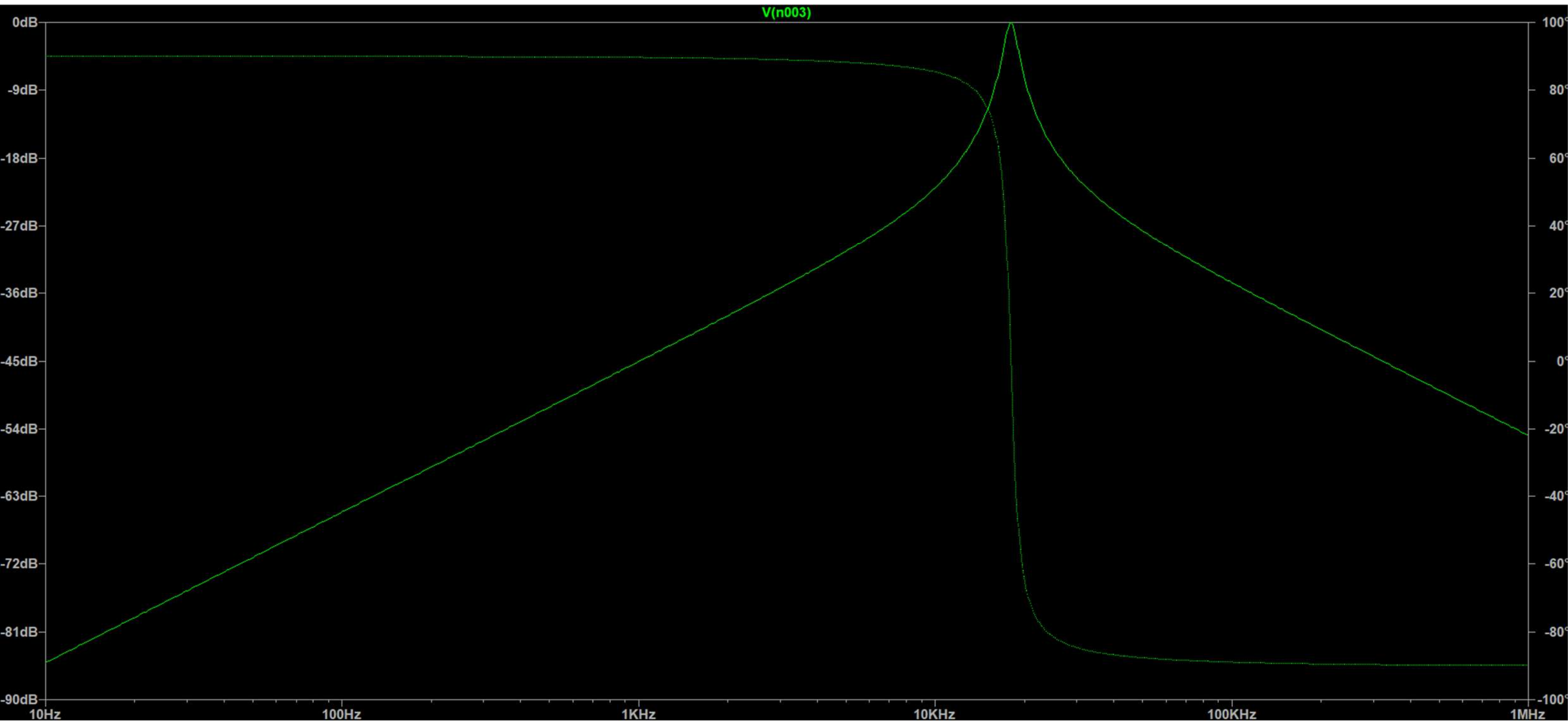
Le résultat obtenu à partir du code :



Voici le schéma utilisé sur LTspice afin de tracer le diagramme de Bode :



Le résultat obtenu à partir de LTspice :



Critique des résultats obtenus :

Les deux diagrammes concordent.

Gain en dB

- **Axe des Abscisses (Fréquence en Hz)** : L'axe des abscisses représente la fréquence sur une échelle logarithmique allant de 10 Hz à 1 MHz.
- **Axe des Ordonnées (Gain en dB)** : L'axe des ordonnées représente le gain en décibels (dB).

Comportement du Gain

- **À Basses Fréquences (10 Hz à 1 kHz)** : Le gain augmente linéairement avec une pente de +20 dB/décade. Cela signifie que le filtre atténue les basses fréquences.
- **À la Fréquence de Résonance (autour de 18 kHz)** : Le gain atteint un pic, indiquant que le filtre laisse passer les fréquences autour de la fréquence de résonance avec un gain maximal.
- **À Hautes Fréquences (au-delà de 18 kHz)** : Le gain diminue linéairement avec une pente de -20 dB/décade. Cela signifie que le filtre atténue les hautes fréquences.

Phase en Degré (Graphique Inférieur)

- **Axe des Abscisses (Fréquence en Hz)** : L'axe des abscisses représente la fréquence sur une échelle logarithmique allant de 10 Hz à 1 MHz.
- **Axe des Ordonnées (Phase en degrés)** : L'axe des ordonnées représente la phase en degrés.

Comportement de la Phase

- **À Basses Fréquences (10 Hz à 1 kHz)** : La phase est proche de 90 degrés, indiquant que le filtre introduit un déphasage de 90 degrés à ces fréquences.
- **À la Fréquence de Résonance (autour de 18 kHz)** : La phase change rapidement de 90 degrés à -90 degrés, indiquant un changement de phase à la fréquence de résonance.
- **À Hautes Fréquences (au-delà de 18 kHz)** : La phase est proche de -90 degrés, indiquant que le filtre introduit un déphasage de -90 degrés à ces fréquences.

VIII) Conclusion

Dans ce livrable, nous avons conçu et analysé un filtre passe-bande RLC pour récupérer un signal non audible capté par un microphone. En choisissant une fréquence centrale de 18 kHz, nous avons dimensionné les composants du filtre pour obtenir une fréquence de résonance et un facteur de qualité adaptés à notre application. Les simulations et les diagrammes de Bode ont confirmé la performance du filtre, démontrant sa capacité à atténuer les fréquences indésirables tout en laissant passer le signal cible.

Dans le prochain livrable, nous aborderons la chaîne de transmission complète, en expliquant le fonctionnement de notre solution et en justifiant les choix techniques pour chaque étape de la transmission. Nous détaillerons également l'impact de différents types de données sur cette chaîne de transmission, en illustrant chaque étape avec des exemples concrets.