

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

Compte rendue **SAE3.01**

Mettre en œuvre un **système de transmission**



	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

Sommaire

Sommaire	2
Introduction	3
Mention juridique	4
Droit et Risques Associés au Piratage d'une Télécommande de Porte de Garage.....	4
Le cadre légal	4
Les risques encourus	5
Exceptions et cas d'autorisation : le cadre de la SAE.....	5
Organisation	6
Planning de la réalisation de la SAE	6
Résumé des changements	7
Travaux pratique	8
Récepteur FM Monophonie	9
Stéréophonie	10
Décodage du RDS	11
Télécommande de garage	13
Fonctionnement du matériel.....	13
Réception du signal.....	14
Décodage du signal encodé	15
Réémission de la trame	17
Pour aller plus loin.....	18
Synthèse	23
Source :	24

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

Introduction

Dans un monde où les transmissions radiofréquence sont omniprésentes, comprendre et maîtriser les principes de communication sans fil devient essentiel. La SAE 3.1 nous plonge dans cet univers technique en nous donnant pour mission d'analyser et de reconstituer le fonctionnement d'une télécommande radio opérant à 433 MHz. Ce projet, qui explore des étapes clés telles que le décodage et l'encodage de trames binaires, nous permet de combiner théorie et pratique dans un cadre légal et technologiquement pertinent.

La consigne de la SAE 3.1 consiste à mettre en œuvre un système de transmission radiofréquence en analysant une télécommande radio (fréquence de 433 MHz). Voici les étapes principales du projet : Décodage de trame :

- Cette étape implique l'analyse d'un signal radio reçu. Nous devons identifier la fréquence porteuse (433 MHz), démoduler le signal (ASK), et décoder les éléments binaires de la trame, incluant le préambule, l'adresse et le mot de commande (ON/OFF).

Encodage de la trame :

- Enfin, nous configurerons l'émission radio sur la même fréquence (433 MHz) et encoderons la trame binaire sur la fréquence porteuse.

Afin de réaliser ces tâches, nous allons utiliser plusieurs outils à notre disposition afin de pouvoir capter, décoder, comprendre et réémettre les informations. Pour ce qui est de la captation et de la réémission de la trame, nous allons utiliser un boîtier Adalm Pluto SDR qui est une carte de développement RF qui peut être configurée comme un récepteur et émetteur SDR. Cette carte va être paramétrée via l'utilisation du logiciel open source GNU Radio qui est une suite logicielle dédiée à l'implémentation de radios logicielles et de systèmes de traitement du signal. Enfin pour le décodage du binaire et sa compréhension nous allons utiliser le logiciel Universal Radio Hacker.

Ce document a pour objectif de détailler les recherches et les tentatives réalisées durant nos recherches et durant la SAE. Nous verrons dans un premier temps ce que donne cette situation d'apprentissage et d'évaluation dans un cadre légal afin de faire un lien entre notre situation et son application en dehors du domaine scolaire. Nous verrons ensuite les apprentissages des travaux pratiques de cette SAE dont leur objectif était de nous replonger dans la programmation GNU Radio et l'utilisation des SDR avec pour objectif de recevoir la radio FM en monophonie dans un premier temps puis de la stéréophonie dans un second temps pour finir par la lecture de la RDS (Radio Digital System). Nous verrons ensuite les recherches réalisées en lien avec la télécommande de porte de garage et nous finirons par les codes GNU Radio réalisés pour cette SAE.

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

Mention juridique

Droit et Risques Associés au Piratage d'une Télécommande de Porte de Garage

Dans un cadre légal, la manipulation de dispositifs de sécurité tels que les télécommandes de portes de garage est strictement encadrée par la loi. Les télécommandes de portes de garage modernes utilisent des fréquences radio spécifiques, souvent accompagnées de systèmes de sécurité comme le "code tournant" (ou rolling code), afin de garantir que les signaux émis par la télécommande authentique ne puissent pas être interceptés et réutilisés de manière frauduleuse, mais le matériel à disposition pour cette situation d'apprentissage et d'évaluation ne possède pas ce dispositif. Il est donc important de retenir que l'utilisation des techniques apprises lors de ce projet ne peuvent être utilisés que dans un cadre légal tel que ce projet universitaire.

Le cadre légal

En France, comme dans de nombreux autres pays, le fait d'intercepter et de réémettre un signal radio privé ou sécurisé dans le but de contourner une sécurité constitue une infraction. Cette pratique est généralement qualifiée de **piratage** ou de **contournement de mesures de protection** et est régie par plusieurs dispositions législatives, notamment dans le Code pénal et le Code des postes et des communications électroniques :

1. **Atteinte aux systèmes de traitement automatisé de données** : L'article 323-1 du Code pénal prévoit des sanctions contre le fait d'accéder ou de se maintenir dans un système de traitement automatisé de données sans y être autorisé. Cela inclut le piratage d'équipements tels que les télécommandes de porte de garage, car l'utilisation frauduleuse de ces dispositifs peut permettre un accès illégal à des propriétés privées.
2. **Captation et transmission de données** : Selon l'article L33-3 du Code des postes et des communications électroniques, il est illégal d'intercepter ou de perturber les signaux radio qui ne sont pas destinés au public sans autorisation. En effet, capturer et réutiliser un signal émis par une télécommande dans le but de simuler son fonctionnement original constitue une captation illégale de données et une atteinte à la vie privée.
3. **Violation de domicile et intrusion dans une propriété privée** : L'utilisation d'une technique de piratage pour accéder à une propriété sans l'accord du propriétaire peut être considérée comme une violation de domicile, un délit punissable par des peines de prison et des amendes.

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

Les risques encourus

Les sanctions varient selon la gravité et l'intention de l'acte, ainsi que les conséquences de l'intrusion. Voici un aperçu des risques encourus :

1. **Sanctions pénales** : La peine pour l'accès frauduleux à un système de traitement automatisé de données est de **deux ans d'emprisonnement et de 60 000 euros d'amende**. Si cette intrusion a permis l'altération ou la suppression de données, les sanctions peuvent être portées à **cinq ans d'emprisonnement et 150 000 euros d'amende**.
2. **Infractions spécifiques à la captation de signaux** : La captation et la réémission de signaux privés sans autorisation peut également donner lieu à des poursuites spécifiques, avec des amendes supplémentaires. Par ailleurs, si cette réémission conduit à un accès non autorisé à une propriété privée, cela peut aggraver les sanctions.
3. **Responsabilité civile** : En plus des sanctions pénales, la personne reconnue coupable peut également être tenue responsable de tout dommage matériel ou moral causé à la victime, qui peut demander des dommages-intérêts pour intrusion, vol, ou perturbation de la tranquillité de son domicile.
4. **Cas d'aggravation en cas de récidive ou de préjudice** : Si le piratage conduit à un vol, à des dommages matériels ou à une atteinte à la vie privée, les sanctions sont automatiquement plus lourdes. Par ailleurs, une récidive peut également entraîner des peines majorées.

Exceptions et cas d'autorisation : le cadre de la SAE

Dans un cadre d'enseignement et de formation comme cette Situation d'Apprentissage et d'Évaluation, la manipulation de signaux radio et la reproduction de fréquences de télécommande peuvent être autorisées sous certaines conditions strictes. L'autorisation obtenue pour une SAE permet de pratiquer et de comprendre les techniques employées dans un cadre expérimental et pédagogique, sans intention de causer un préjudice ou de réaliser une infraction. Toutefois, cette autorisation est limitée au contexte spécifique de l'apprentissage et ne saurait s'étendre à des actions similaires réalisées en dehors de ce cadre

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

Organisation

Planning de la réalisation de la SAE



Voici les différences notables entre le **planning prévisionnel** du cahier des charges et le **planning actualisé** au-dessus :

1. Découverte de la SAE :

- Dans le prévisionnel, cette tâche est prévue pour débuter en septembre, avec une durée similaire dans le planning actualisé. Cette tâche a donc été respectée comme prévu.

2. Prise en main du matériel (hard et software) :

- Prévisionnel : Initialement prévue pour une durée en septembre.

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

- b. Actualisé : La tâche a pris un peu plus de temps, s'étendant partiellement jusqu'au début octobre. Il y a donc eu un léger décalage dû à nos difficultés de mise en fonction du matériel de réception.

3. Réception et démodulation du signal de la télécommande par l'ADALM Pluto :

- a. Prévisionnel : Elle était prévue en septembre et octobre.
b. Actualisé : Dans le planning actualisé, elle commence plus tard et s'est terminée la mi-octobre. Cette tâche a donc été respectée.

4. Mise en marche du boîtier de réception :

- a. Prévisionnel : Prévue pour fin septembre et début octobre.
b. Actualisé : La tâche est légèrement décalée et s'effectue en octobre dans le nouveau planning, ce qui indique un retard.

5. Analyse de la trame transmise :

- a. Prévisionnel : Initialement planifiée pour débuter en octobre et se prolonger dans le mois.
b. Actualisé : L'analyse commence comme prévu, mais elle est plus courte et plus condensée dans le temps.

6. Réémission de la trame :

- a. Prévisionnel : Prévue pour la mi-octobre.
b. Actualisé : Elle a été effectuée dans la même période, mais elle est un peu plus courte.

7. Rédaction du compte rendu :

- a. Prévisionnel : Cette tâche était initialement prévue pour commencer fin octobre et se poursuivre en novembre.
b. Actualisé : La tâche est commencée à la même période mais est plus condensée. Elle prend donc légèrement moins de temps que prévu.

8. Préparation de l'oral :

- a. Prévisionnel : Prévue pour début novembre jusqu'à la fin de la première semaine du mois.
b. Actualisé : Cette tâche est maintenue selon le prévisionnel avec la même durée et période en novembre.

Résumé des changements

- La majorité des tâches ont été réalisées avec un léger décalage vers la fin, notamment pour la mise en main du matériel, la réception et démodulation du signal, et la mise en marche du boîtier de réception.
- Quelques tâches comme l'analyse de la trame et la rédaction du compte rendu ont été légèrement raccourcies par rapport au prévisionnel.
- La préparation de l'oral a été maintenue selon le planning initial.

En somme, le projet a subi de petits ajustements, avec certains délais sur les étapes techniques, mais reste globalement dans les temps pour la préparation finale de l'oral.

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

Cette SAE nous aura permis par la simple rédaction de notre cahier des charges, de se rendre plus compte de nos capacités et de pouvoir à l'avenir avisé de manière plus juste nos planifications ce qui représente un atout dans le monde professionnel.

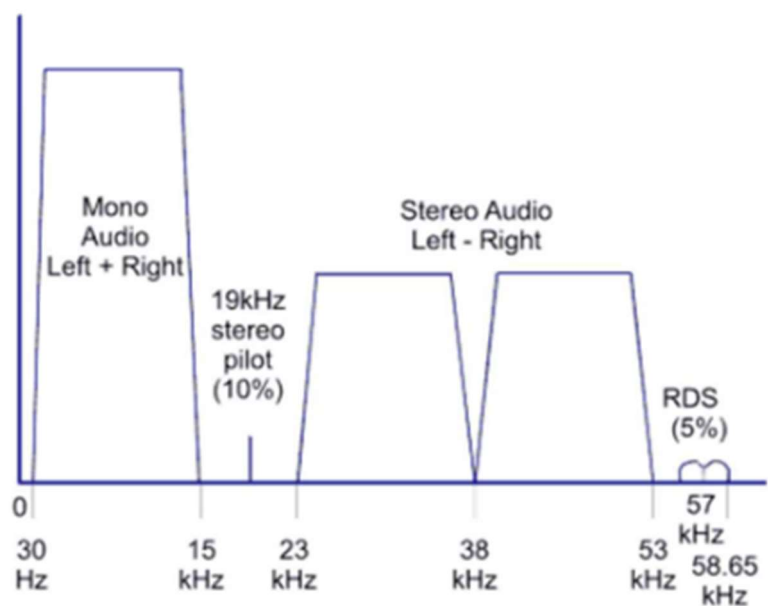
Travaux pratique

Dans le cadre des travaux pratiques liés à cette SAE, nous devons mettre en place un récepteur FM permettant de récupérer de la radio. Cela se décomposait en trois grandes étapes, qui sont :

- Un démodulateur monophonie
- Un démodulateur stéréophonique
- La récupération de la RDS (Radio Data System) qui correspond aux données numériques transmises avec le son, cela peut être le nom de la radio, le titre de la chanson jouée en ce moment à la radio...

Un signal FM (Frequency Modulation) démodulé correspond à ce schéma :

De 30 Hz à 15 kHz, nous avons le signal monophonie, c'est en récupérant ce dernier que nous allons pouvoir effectuer notre démodulateur monophonique FM. Ensuite, à 19 kHz, nous avons une porteuse qui est nécessaire pour la stéréo et pour récupérer les données numériques transmises grâce au RDS. Après de 23kHz jusqu'à 53kHz, nous avons le son gauche moins droite qui, combiné au son monophonique (qui est lui composé du son gauche plus droite) va nous permettre de récupérer la radio en stéréo. Et pour finir, au tour de 57 kHz, nous avons le signal RDS.



Donc, dans un premier temps, pour la réception monophonie, nous avons juste besoin du signal entre 30 Hz et 15 Hz, mais pour la stéréophonie, nous avons besoin du signal entre 30 Hz et 15 Hz, mais aussi de la porteuse à 19 Hz et du signal gauche moins droite situé entre 23 Hz et 53 Hz. Et ensuite, pour démoduler le RDS, nous avons besoin de la porteuse à 19 kHz et du signal RDS situé au tour de 57kHz.

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

Récepteur FM Monophonie

Pour réaliser la réception et l'écoute d'un signal FM en monophonie il faut d'abord démoduler ce signal (le signal compris entre 30Hz et 15kHz comme expliquer plus haut). En effet le signal récupérer peut s'écrire mathématiquement sous cette forme :

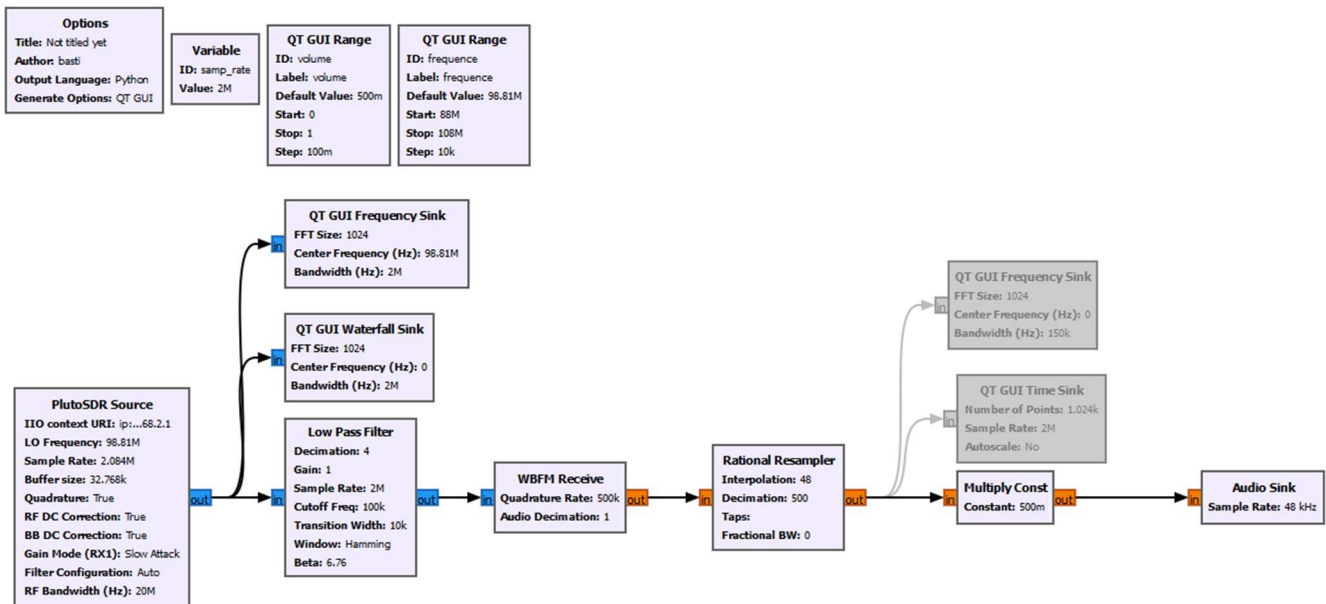
$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \Delta f \int_0^t m_{FM}(\tau) d\tau)$$

où :

- $s(t)$ est le signal FM modulé
- A est l'amplitude du signal
- f_c est la fréquence de la porteuse
- Δf est la déviation de fréquence maximale
- $m_{FM}(\tau)$ est le signal audio à transmettre

Pour démoduler ce dernier on utilise le bloc WBFM qui permet de démoduler automatiquement de la modulation en fréquence. Mathématiquement parlant, ce bloc permet de récupérer le signal $m_{FM}(t)$ (notamment grâce à des calculs de dérivé de la phase du signal d'entrer). Avant cela nous récupérons le signal a la fréquence voulue (ici 98.81 qui correspond à la fréquence d'émission d'une radio), cette dernière est choisie arbitrairement. Elle nous permet juste d'effectuer nos différent test pour savoir si notre démodulateur monophonique FM fonctionne comme attendu et qu'il possède notamment une qualité sonore correcte, grâce au bloc PlutoSDR Source. Puis on applique un filtre sur notre signal qui réduit le bruit et permet de diminuer la fréquence d'échantillonnage du signal pour pouvoir traiter ce dernier plus facilement. Ensuite on utilise le bloc Rational Resampler qui permet d'adapter le taux d'échantillonnage en sortie du démodulateur FM par rapport à celui de l'Audio Sink. Le bloc Multiply Const permet de régler le volume de sortie du signal. Enfin le bloc audio sink permet d'écouter le son. Voici donc le schéma expliquer :

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission



Ce schéma permet la réception monophonique d'un signal FM, autrement dit il permet d'écouter n'importe quelle radio.

Stéréophonie

Maintenant nous voulons avoir le son en stéréo, le principe de départ est identique. Il nous faut récupérer notre signal, lui appliquer un filtre et le démoduler toujours grâce au bloc WBFM Receive. En sortie du bloc cité avant, nous obtenons ceci :

$$(Left + Right) + (Left - Right) \cdot \cos(2\pi \cdot 38\text{kHz} \cdot t) + \sin(2\pi \cdot 19\text{kHz} \cdot t) + RDS(t)$$

La premier composante $(Left + Right)$ est notre signal monophonique que nous avons utilisé plus haut. $(Left - Right) \cdot \cos(2\pi \cdot 38\text{kHz} \cdot t)$ est-ce qui va nous permettre d'obtenir de la stéréo et $\sin(2\pi \cdot 19\text{kHz} \cdot t)$ représente notre porteuse à 19kHz. Pour obtenir de la stéréophonie, il faut commencer par isoler la porteuse et le signal $(Left - Right)$ grâce à des band filters avec comme fréquence c'elle indiqué sur le schéma du contenu d'un signal FM étudié plus haut. Ensuite il nous faut multiplier la fréquence de la porteuse par deux, ce qui nous donne $19 \times 2 = 38\text{kHz}$. Notre nouvelle porteuse, située à 38kHz, nous permet de démoduler le signal $(Left - Right)$ centré au niveau de notre nouvelle porteuse. Pour démoduler ce dernier il suffit de le multiplier par la porteuse à 38kHz. Ceci nous donne donc :

$$(Left - Right) \cdot \cos(2\pi \cdot 38\text{kHz} \cdot t) \cdot \cos(2\pi \cdot 38 \cdot t)$$

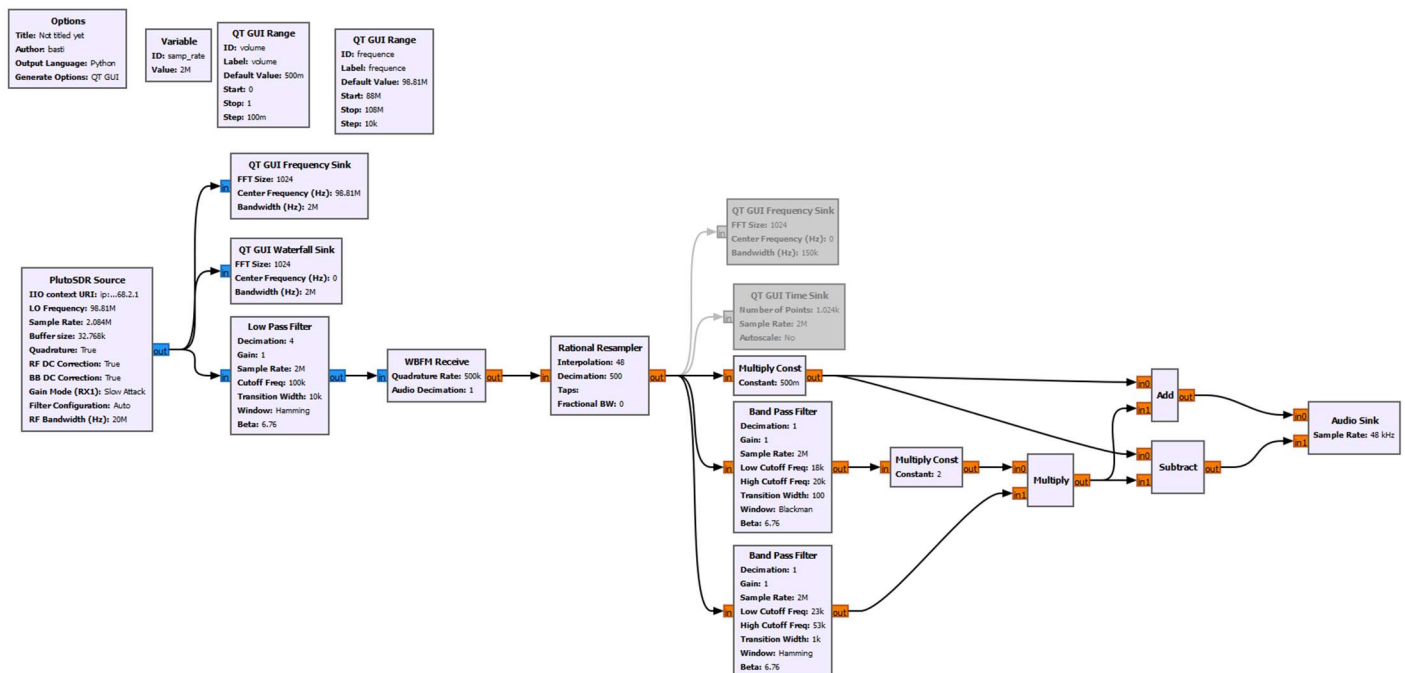
En utilisant l'identité trigonométrique $\cos(A)\cos(B) = \frac{1}{2} (\cos(A+B) + \cos(A-B))$

On obtient : $(Left - Right) \cdot \frac{1}{2} (\cos(2 \cdot 2\pi \cdot 38\text{kHz} \cdot t) + \cos(0))$

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

Après simplification cela donne : $\frac{1}{2} (Left - Right) \cdot \cos(2\pi \cdot 76\text{kHz} \cdot t) + \frac{1}{2} (Left - Right)$

On peut voir que l'on récupère bien le signal $(Left - Right)$. Maintenant que nous avons le signal $Left + Right$ et le signal $Left - Right$ nous pouvons avoir de la stéréophonie. En effet, si on fait $Left + Right + Left - Right$ on obtient le signal gauche et si on fait le calcul $Left + Right - (Left - Right)$ on obtient le signal de droite, ce qui une fois envoyer dans un audio Sink nous permet d'avoir le son en stéréophonie.



Ce schéma Gnu radio permet la réception FM de la radio en stéréophonie, ce dernier suit les explications de fonctions écrites plus haut.

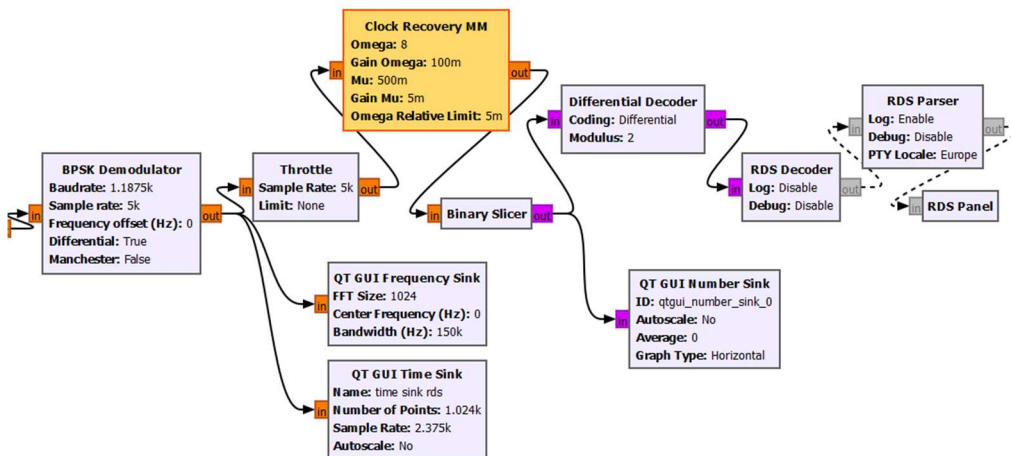
Décodage du RDS

Le « Radio Digital System », ou RDS, correspond à des données numériques transmises au travers des fréquences radio de la bande FM et permet aux récepteurs d'afficher notamment le nom de la station écoutée. Pour décoder le RDS, il faut utiliser la même base que pour la monophonie et la stéréophonie, il nous faut démoduler la FM grâce au bloc WBFM. Une fois la FM démodulée, il nous faut encore une fois récupérer la porteuse, puis multiplier sa fréquence par trois (la fréquence de la porteuse va donc être de 57 kHz). Une fois notre porteuse à la bonne fréquence, il nous faut récupérer notre signal RDS grâce à un band pass filter. Ensuite, il faut multiplier le signal RDS filtré par notre nouvelle porteuse à 57 kHz. Une fois ceci fait, il nous faut décoder le RDS pour pouvoir l'afficher, c'est au niveau de cette étape que nous avons rencontré des problèmes. En effet, une modulation de phase

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

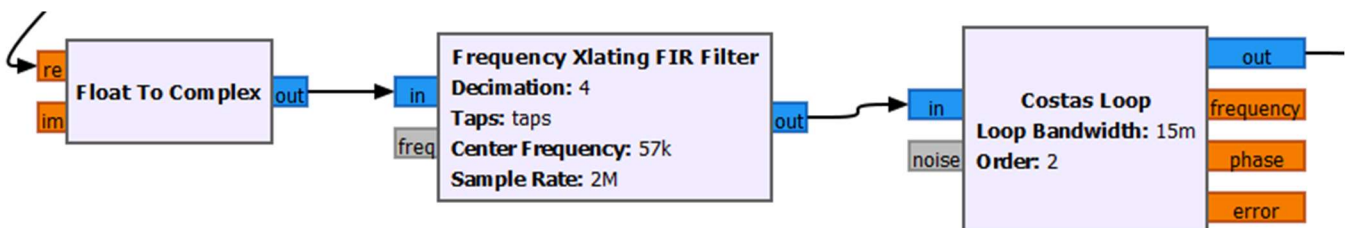
est utilisée pour coder la RDS. Pour démoduler un signal modulé en phase, nous avons essayé deux techniques :

- La première technique est d'utiliser un bloc BPSK démodulateur, qui comme son nom l'indique, permet de démoduler de la BPSK (Binary Phase Shift Keying). Le schéma suivant montre notre essai de démodulation avec ce dit bloc :



Cette technique a échoué, après plusieurs tests nous n'arrivions toujours pas à décoder la RDS, ou du moins nous arrivions à récupérer du binaire mais celui-ci ne faisait pas sens.

- La deuxième technique a été d'utiliser une boucle de Costas, qui elle aussi permet de démoduler de la BPSK, autrement dit elle permet aussi de démoduler une modulation de phase. Voici une partie du schéma GNU Radio de notre tentative de démodulation avec le bloc Costas Loop



Cette tentative a aussi échoué, sûrement due à une compréhension partielle de la boucle de Costas.

Finalement après plusieurs tentatives ne nous sommes pas arrivé à récupérer et à lire le signal du RDS. Cela est sûrement dû a une partiel incompréhension de notre part de la modulation en phase et notamment de la boucle de costas.

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

Télécommande de garage

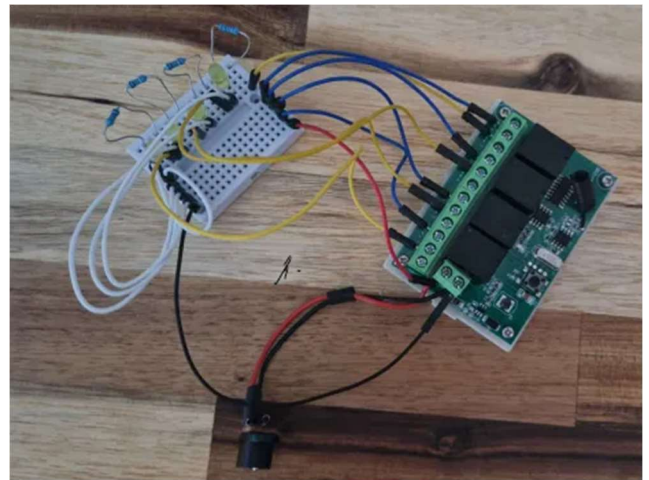
Maintenant que nous avons repris en main l'outil GNU Radio grâce au TP, qui nous on permis de réaliser un récepteur radio (FM) fonctionnel, nous pouvons commencer à nous pencher sur le cœur de la SAE, la compréhension intégrale du fonctionnement d'un dispositif de transmission de binaire pas voie hertzienne en étudiant le cas d'une télécommande de porte de garage. Pour cela, dans un premier temps nous allons prendre en main notre matériel, ensuite nous allons récupérer le signal émis pas notre télécommande, pour le démoduler puis de le décoder, dans le but d'avoir une vision claire des données transmises par la télécommande. Et pour finir, nous allons simuler une télécommande. D'après notre compréhension des données étudiées en amont, nous devrions être capable d'atteindre cet objectif.

Fonctionnement du matériel



Nous avons à notre disposition comme matériels, une télécommande type télécommande de porte de garage. Elle possède quatre boutons et la fréquence de cette dernière est de 433.92Mhz. Il nous est très important de connaître cette fréquence car elle sera la base de tout ce qui va suivre.

Ensuite nous avons un récepteur, qui est imagé via la photo si dessus. Ce récepteur est bien sûr capable de capter les données envoyées par notre télécommande. Il va nous permettre d'attester que notre simulation de la télécommande sur notre ordinateur fonctionne bien. Nous avons câblé notre récepteur de manière à avoir quatre LEDs qui s'allumeront quand nous appuierons sur les boutons.



Voici une image d'un récepteur pour notre télécommande, ce dernier est composé d'un module permettant la réception et le décodage du signal, de quatre relais permettant de faire passer le courant suivant les boutons pressés sur la télécommande. A ceci nous avons rajouté quatre LED pour pouvoir plus facilement visualiser l'appui de chaque bouton. Les couleurs des câbles utilisés ne sont pas

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

bonnes, nous sommes au courant de ceci qui est due au fait que ces derniers n'étaient pas fournis, et que nous avons donc dû prendre les nôtres et nous n'avions plus les câbles de la bonne couleur.

Réception du signal

La première étape est la réception du signal grâce à notre Adam Pluto (qui fera ici office de récepteur). Une fois notre signal récupéré nous devons le démoduler dans le but de récupérer du binaire pour pouvoir l'analyser et donc en déduire les données transmises par la télécommande.

Nous allons donc démoduler le signal, voici les explications mathématiques derrière cette démodulation :

Nous recevons un signal qui a cette forme :

$$A_p \cos(2\pi ft + \phi)$$

Où :

A_p est l'amplitude du signal

f la fréquence du signal

ϕ le déphasage du signal

Pour démoduler le signal il suffit de le multiplier par lui-même, autrement dit le mettre au carré, ce qui donne mathématiquement :

$$(A_p \cos(2\pi ft + \phi))^2 = A_p^2 \cos^2(2\pi ft + \phi)$$

$$\text{Or } \cos^2 x = \frac{1 + \cos 2x}{2}$$

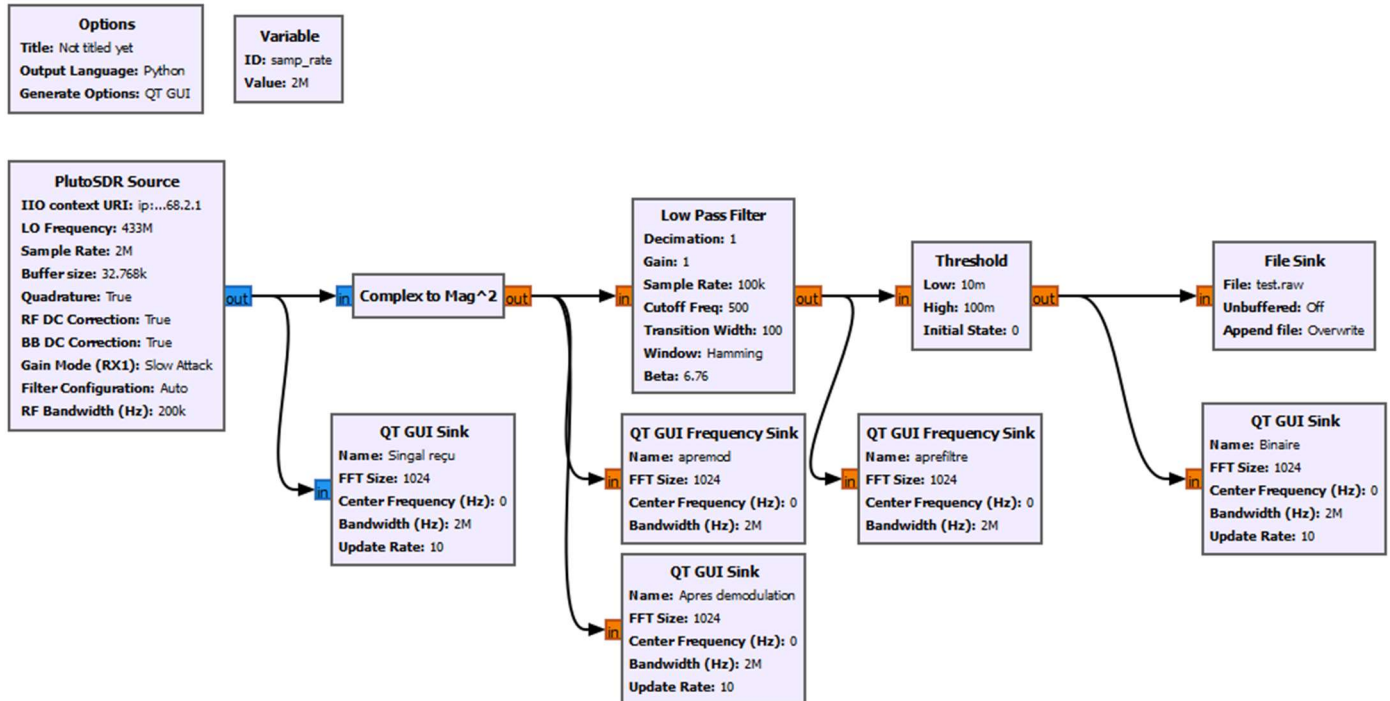
$$\text{Donc } A_p^2 \cos^2(2\pi ft + \phi) = A_p^2 \times \frac{1}{2} \times (\cos(2\pi ft + \phi) + 1) = \frac{A_p^2}{2} + \frac{A_p^2}{2} \cos(2\pi ft + \phi)$$

$\frac{A_p^2}{2}$ est notre signal démodulé qui porte l'information,

Il faut éliminer la composante fréquentielle $2\pi ft$ grâce à un filtre passe bas, autrement dit il faut enlever le signal $\frac{A_p^2}{2} \cos(2\pi ft + \phi)$. En effet, ce dernier nous est d'aucune utilité car il ne porte pas les données qui nous intéressent, il est juste une composante découlant de la démodulation.

Ceci nous a permis de constituer le schéma Gnu Radio suivant qui permet donc la réception et la démodulation des données envoyées par notre télécommande.

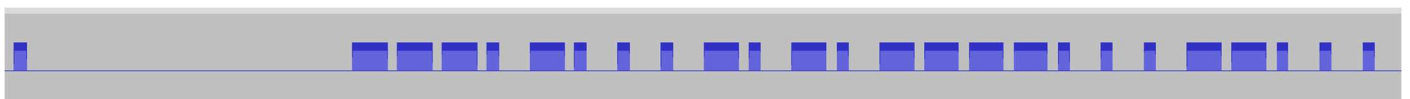
	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission



Sur le schéma, nous voyons bien le bloc **Complex to Mag²** qui permet de démoduler le signal comme expliquer plus haut. Nous voyons aussi un **band Pass Filter** permettant de récupérer uniquement les données dont nous avons besoin en éliminant le bruit. Ensuite nous avons un **Threshold** qui permet de transformer notre signal en binaire (notre signal en sortie de filtre correspond presque à du binaire, mais, pour lisser ce dernier et avoir le bon type, nous sommes obligé d'utiliser ce bloc). Et pour finir nous écrivons le binaire reçu dans un fichier, dans le but de le décoder plus tard. Ce schéma permet donc une réception et un démodulation d'un dispositif de transmission de binaire par voie hertzienne.

Décodage du signal encodé

Grâce à l'exécution de notre schéma GNU Radio nous pouvons récupérer les trames lorsque nous appuyons sur un bouton, notamment en ouvrant le fichier écrit grâce à l'outil Audacity (outil qui permet notamment la visualisation temporelle de fichier raw). Par exemple, le bouton A donné cette trame :



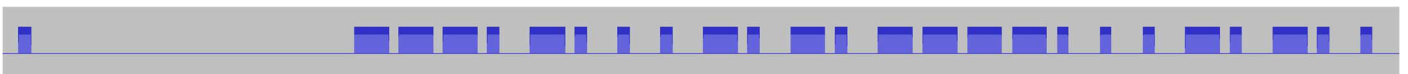
Nous allons donc essayer de comprendre et de décoder cette dernière. Tout d'abord nous pouvons voir le bit de start suivi de 31 zéros, qui est le préambule, ce dernier permet d'annoncer au récepteur qu'il va recevoir des informations.

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

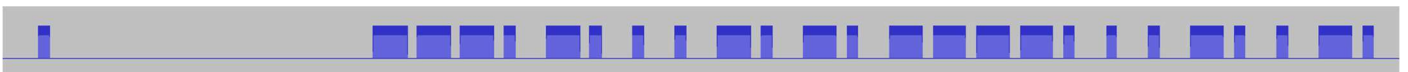
Ensuite nous avons 24 bits d'information, les 20 premiers correspondent à l'adresse de la télécommande qui est censée être unique et les quatre derniers sont utilisés pour coder quel bouton a été actionné. Ici, les bits sont codés en EV1527, ce qui diminue les possibilités d'erreur de décodage par le récepteur vu qu'il n'y a pas de longue suite de 0 et de 1. L'EV1527 code les 1 sous la forme de la suite 1110 et les 0 avec la suite 1000. Si nous décodons la trame (sans le bit de start) en EV1527 (autrement dit on prend la trame visualisée sur Audacity et on relève tous les bits un par un) nous obtenons : 1110 1110 1110 1000 1110 1000 1000 1000 1110 1000 1110 1000 1110 1110 1110 1000 1000 1000 1110 1110 1000 1000 1000. Ce qui donne en binaire normal 111010001010111100011000 (en suivant la conversion EV1527 vers binaire expliqué plus en amont). On peut donc en déduire l'adresse de la télécommande (qui est les 20 premiers bits) : 11101000101011110001.

Nous pouvons aussi connaître le code du bouton A (en effectuant le même raisonnement que pour l'adresse de la télécommande) qui est 1000. Si nous répétons l'étude de la trame avec tous les boutons, nous allons pouvoir confirmer que notre adresse de télécommande trouvée est correcte, mais aussi savoir les codes de chaque bouton correspondant aux lettres B, C et D.

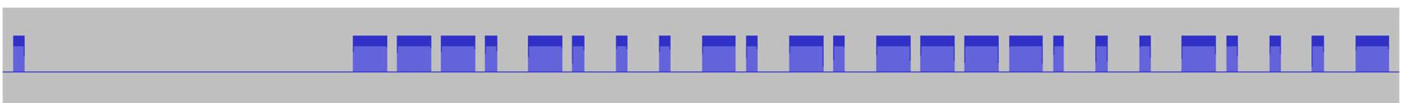
Trame de l'appui sur le bouton B.



Trame de l'appui sur le bouton C



Trame de l'appui sur le bouton D



Suite à la réception de ces différentes trames, nous pouvons conclure que l'adresse de notre télécommande est bien 111010001010111100011000. Et nous connaissons aussi le code de chaque bouton :

- Bouton A : 1000
- Bouton B : 0100
- Bouton C : 0010
- Bouton D : 0001

Nous avons donc compris la logique de notre trame nous connaissons l'adresse de notre télécommande et le code correspondant à chaque bouton. De là, nous sommes donc capables de

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

recréer une trame qui correspond au fonctionnement de notre télécommande et qui va donc permettre de faire fonctionner, déclencher notre récepteur.

Réémission de la trame

Maintenant que nous connaissons la structure de la trame envoyer par notre télécommande et réceptionner par notre récepteur, nous pouvons essayer de simuler un bouton de notre télécommande grâce à Gnu radio et notre Adam Pluto (qui va faire office d'émetteur). Pour cela nous prenons le code en EV1527 de l'appui du bouton A avec le préambule, qui est :

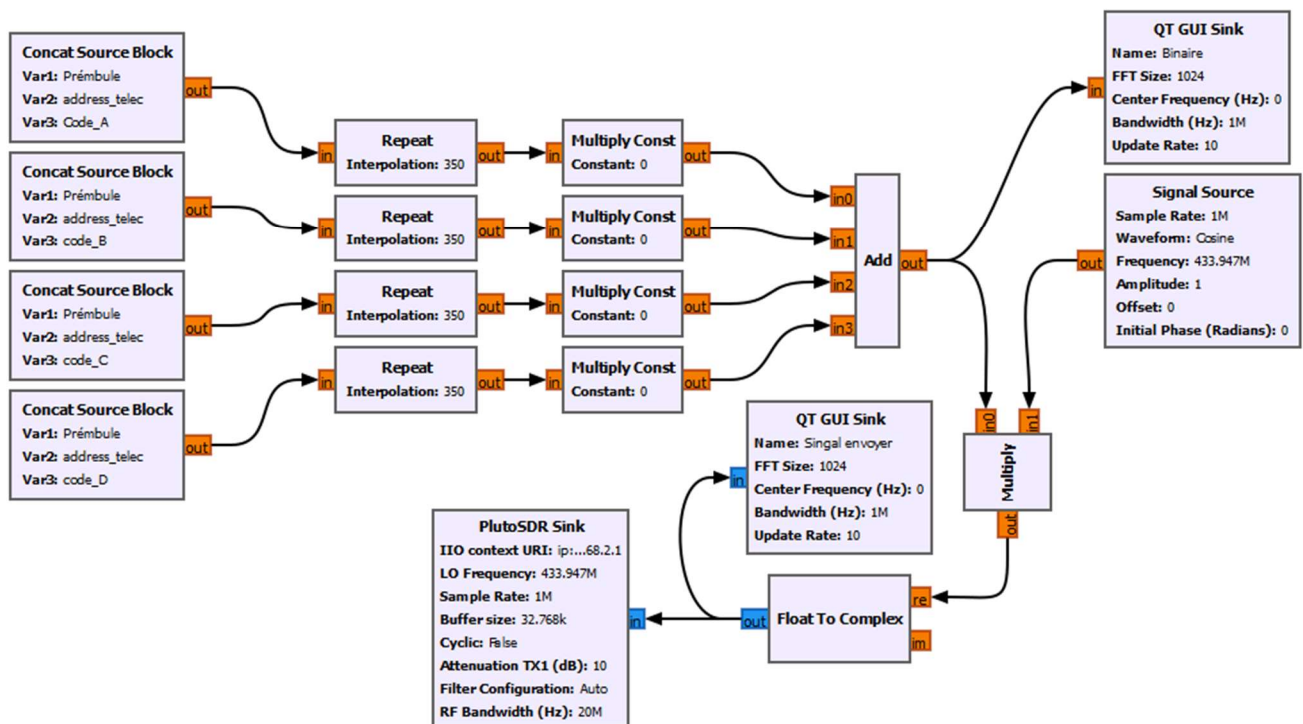
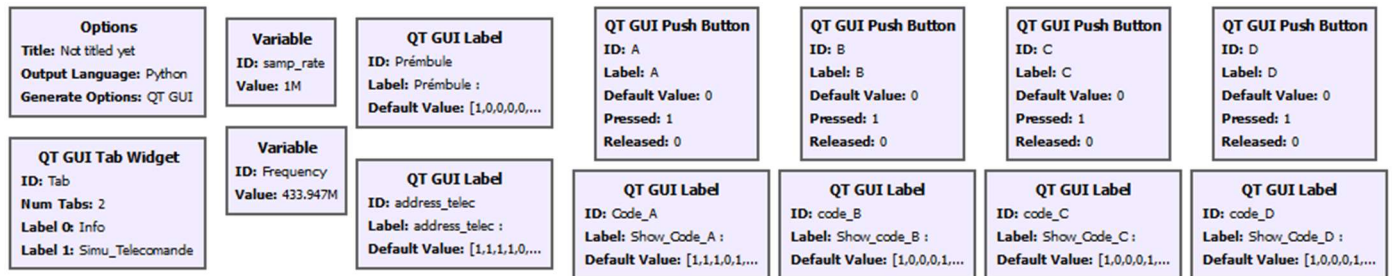
```
10000000000000000000000000000000 1110 1110 1110 1000 1110 1000 1000 1000 1110 1000 1110
1000 1110 1110 1110 1110 1000 1000 1000 1110 1110 1000 1000 1000.
```

Nous mettons cette suite de 0 et de 1 dans un bloc Vecteur source, ce dernier permet d'envoyer une suite binaire. Ensuite, nous avons un bloc repeat qui étire le signal en répétant chaque bit pour que la longueur de chaque symbole corresponde à celle du signal adéquat avec le récepteur. Maintenant, nous devons moduler le signal, mathématiquement nous avons un signal binaire ou le bit 0 est représenté par une absence d'amplitude et le bit 1 est représenté par une amplitude fixe. Il nous suffit de multiplier ce signal binaire par une porteuse de la forme :

$$A_p \cos(2\pi ft + \phi)$$

Ici f vaut 433.947MHz qui correspond à la fréquence de notre télécommande et du récepteur. Une fois cette multiplication faite, il nous faut convertir le signal (à l'aide du Float To complex) pour ensuite l'envoyer au récepteur. Ces explications nous donnent le schéma gnu radio ci-dessous :

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission



Il reprend la même logique de modulation qu'expliqué plus haut mais en implémentant quatre boutons qui correspond aux quatre boutons de notre télécommande. Pour faire cela, nous avons voulu utiliser des variables, une pour le préambule, une pour l'adresse de la télécommande et une variable pour chaque code de bouton. Or, le bloc vecteur source ne permet pas la concaténation de variable et nous n'avons pas trouver de solution pour le faire. C'est donc pour cela que nous avons décidé de créer notre propre bloc qui prend en entrée les trois variables données plus haut et qui a le même comportement qu'un blocs vecteur source. Voici le code de ce dit blocs :

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

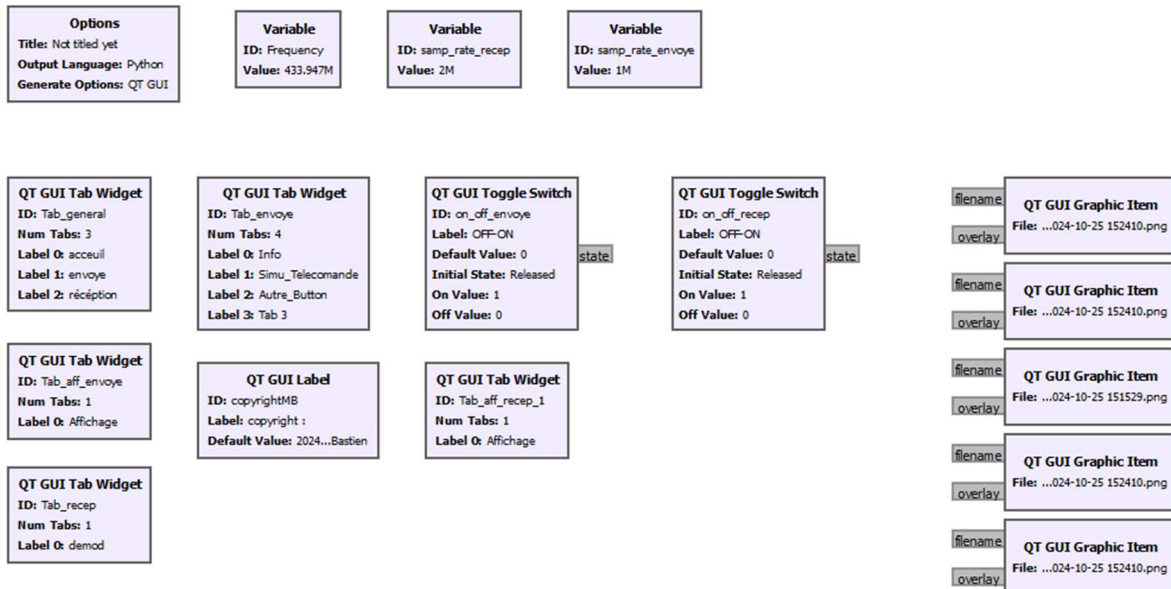
```
1 import numpy as np
2 from gnuradio import gr
3
4 class concat_source_block(gr.sync_block):
5     """Bloc pour concaténer trois listes et les utiliser comme source de données."""
6
7     def __init__(self, var1=None, var2=None, var3=None):
8         gr.sync_block.__init__(self,
9                                 name="Concat Source Block",
10                                in_sig=None, # Pas d'entrées
11                                out_sig=[np.float32]) # Sortie en float32
12
13     # Initialisation des variables
14     self.var1 = var1 if var1 is not None else []
15     self.var2 = var2 if var2 is not None else []
16     self.var3 = var3 if var3 is not None else []
17
18     # Concaténation initiale
19     self.result = np.array(self.var1 + self.var2 + self.var3, dtype=np.float32)
20     self.offset = 0 # Suivi de la position de Lecture dans le résultat
21
22     def work(self, input_items, output_items):
23         """Envoie les données concaténées comme sortie."""
24         noutput_items = len(output_items[0])
25
26         # Calculer combien d'éléments nous pouvons copier à partir du résultat
27         available_items = len(self.result) - self.offset
28         items_to_copy = min(noutput_items, available_items)
29
30         # Copier les éléments dans la sortie
31         output_items[0][:items_to_copy] = self.result[self.offset:self.offset + items_to_copy]
32
33         # Mettre à jour l'offset
34         self.offset += items_to_copy
35
36         # Si on atteint la fin du résultat, remettre l'offset à zéro pour répéter
37         if self.offset >= len(self.result):
38             self.offset = 0 # Boucle à nouveau
39
40         return items_to_copy
```

Le code ci-dessus est le code du nouveau bloc que nous avons créé pour répondre à un besoin que nous avons créé. Il s'agit d'un bloc qui prend trois entrées en texte et renvoie une sortie en float32 contenant la concaténation des trois entrées. Il répond à notre besoin d'avoir le code le plus général

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

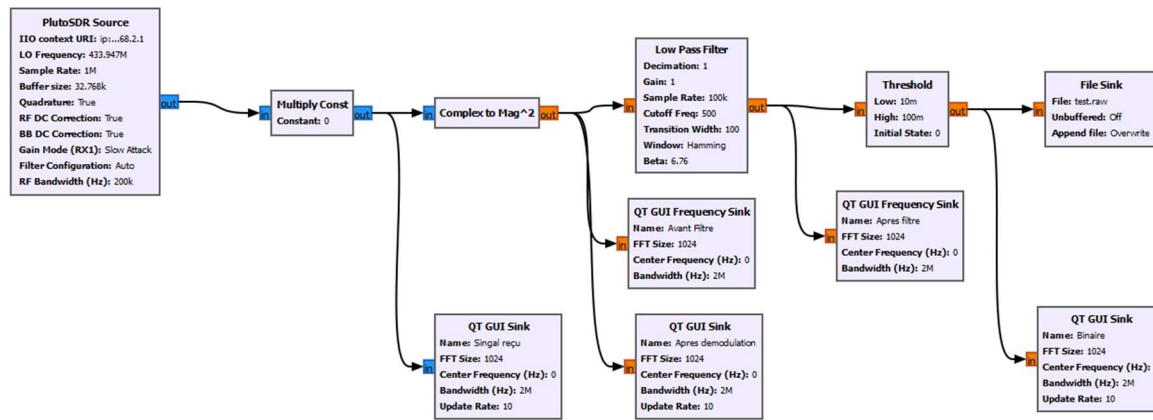
possible et donc de pouvoir choisir le préambule, le code de la télécommande et le message envoyé. Le bloc s'appelle le Concat Source Bloc.

A ce stade-là, nous avons donc un schéma GNU Radio qui simule bien une télécommande classique, mais nous sommes allés encore plus loin. En effet, il est possible d'allumer plusieurs LED sur le récepteur grâce à la télécommande. Donc pourquoi ne pas rajouter quelques boutons qui font la même chose. Le code binaire quand on appuie sur le bouton A et C par exemple est 1010, le code des boutons A et B et C est 1110. De là, on a donc ajouté trois boutons qui allume 2 LED, 3 LED et 4 LED en même temps. Nous nous sommes aussi dit, que pour une potentielle utilisation réel, il pourrait être bien de réunir les schéma GNU Radio permettant la réception et l'émission. Tous cela donne le schéma GNU Radio suivant :

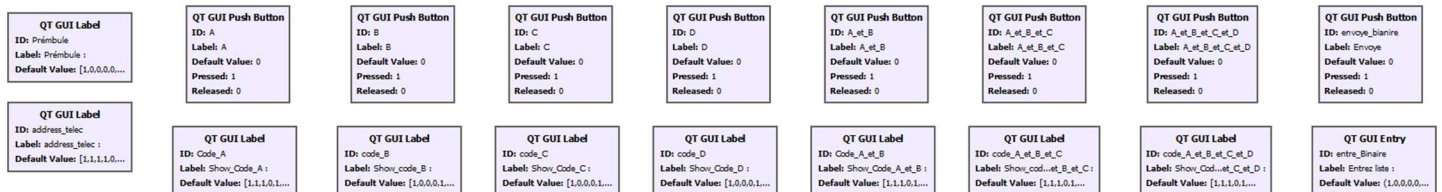


Dans cette première partie du schéma, nous avons l'interface graphique que nous avons mis en place pour faciliter la lisibilité. Elle contient notamment des Widget qui permettent de créer différentes fenêtres dans Gnu Radio. Ici nous avons par exemple une fenêtre pour la réception et une fenêtre pour l'émission. Quelque chose d'important à noter, sur cette partie du schéma, est qu'il y a aussi le sample rate pour l'envoi et la réception du signal.

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

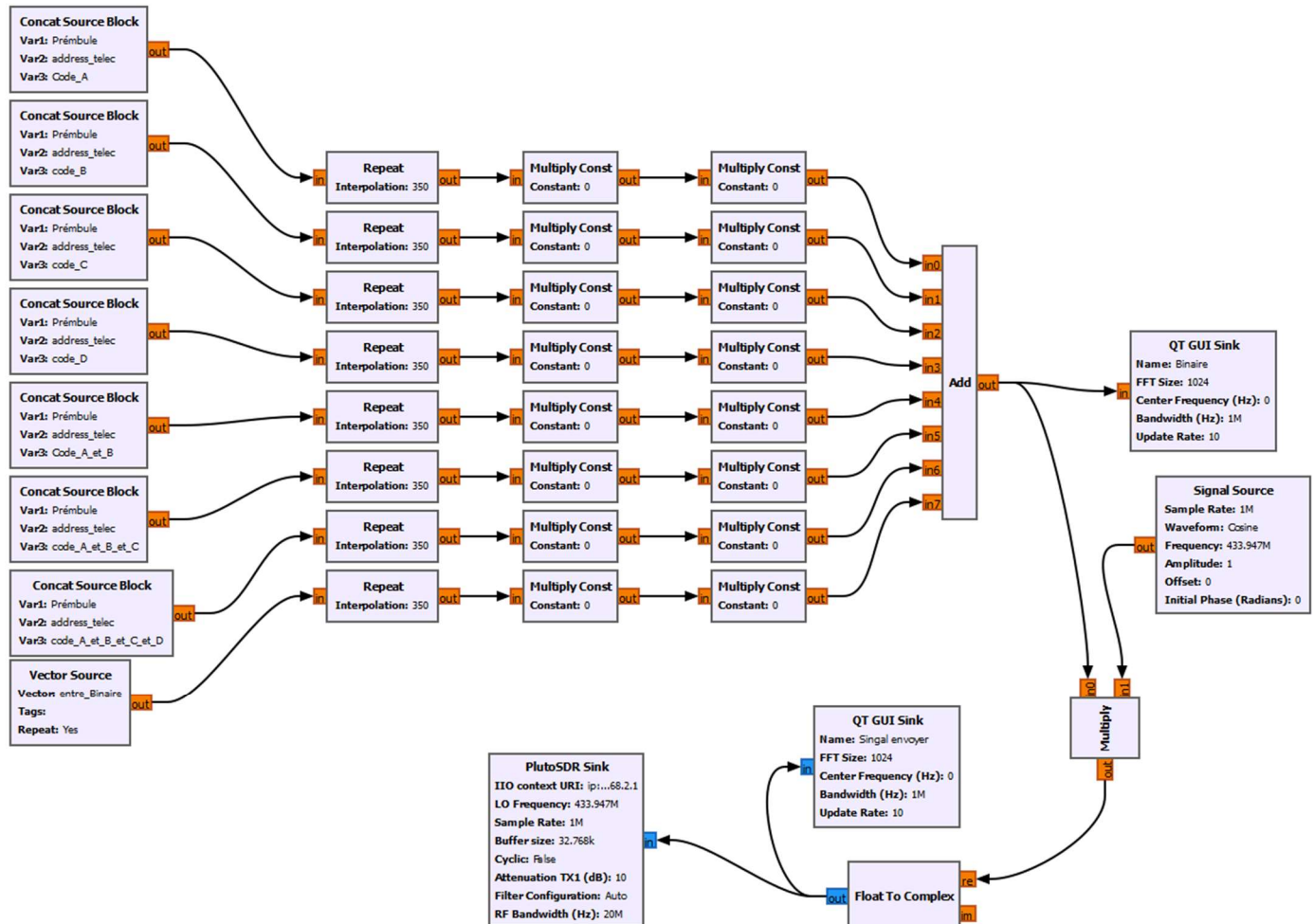


Ici nous avons le code du récepteur qui n'a pas changer, mise a par des modifications au niveau de l'affichage des blocs QT GUI.



Ce schéma comprend tous les boutons et toutes les variables ou presque, utile pour simule une télécommande. Nous avons donc les boutons qui simule l'appui de A, B, C, D mais aussi les boutons pour l'appui de A et B de A, B et C et de A, B, C, D. Nous avons aussi nos variables qui sauvegarde le préambule et l'adresse de la télécommande.

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission



Enfin, ce dernier code permet de simuler la télécommande (notamment tous les boutons expliqué plus haut). Il reprend le code de l'émetteur expliqué dans une partie plus en amont.

Nous avons donc réalisé un petit outil très utile pour copier et simuler une télécommande. Il permet à la fois la réception et l'émission en incluant différentes possibilités notamment pour l'émission. Faire ce schéma GNU Radio a été très intéressant. Il nous a d'abord permis de vraiment comprendre tous les tenants et aboutissants d'une télécommande de garage. Il nous a aussi permis de très bien prendre en main une grosse partie des blocs présents sous GNU Radio. Il nous a enfin même permis de créer le nôtre et nous a aussi fait découvrir de nouveaux blocs.

Synthèse

Dans ce compte rendu, nous avons détaillé les différentes étapes et observations de notre projet pour la SAE 3.1. Ce projet nous a amenés à travailler avec divers matériels et logiciels pour réaliser une série de tâches techniques, comme la réception et la démodulation de signaux par voie

	SAE3 .01
Date :	26/10/2024
Etudiant(s) :	Soleilhac Bastien / Bermond Michel
Sujet :	Mettre en œuvre un système de transmission

hertzien, ainsi que l'analyse et la réémission de trames à l'aide du dispositif ADALM Pluto. Chaque étape du projet est décrite en suivant une progression logique, depuis la prise en main des outils jusqu'à la mise en fonction de notre schéma final sur GNU Radio. Nous avons également organisé notre travail à l'aide d'un diagramme de Gantt pour structurer les tâches et répartir nos efforts sur la durée du projet.

Nous avons réussi à mener le projet conformément aux attentes initiales, même si certains ajustements de timing ont été nécessaires pour respecter les délais de certaines étapes techniques. Malgré quelques décalages et des phases légèrement condensées, comme l'analyse de la trame, nous avons pu respecter les principales échéances de notre planning prévisionnel et sommes désormais prêts pour la présentation finale.

Ce projet nous a permis de développer nos compétences techniques en communication hertzienne, binaire, encodage et programmation GNU Radio, ainsi qu'en gestion de projet en adaptant notre calendrier aux défis rencontrés. Finalement, nous sommes satisfaits des résultats obtenus, qui montrent une progression solide dans l'atteinte des objectifs pédagogiques de la SAE.

Source :

<https://connect.ed-diamond.com/MISC/misc-086/analyse-radiofrequence-d-une-cle-de-voiture> -- Compréhension fonctionnement télécommande

<https://www.csa.fr/Informer/Comment-recevoir-la-television-et-la-radio/Comment-ecouter-la-radio/Le-RDS-sur-les-radios-FM> -- Définition du RDS

<https://zeta-two.com/radio/2015/06/23/ook-ask-sdr.html> -- Site qui nous a permis d'obtenir certain valeur, paramètre pour des bloc Gnu Radio (notamment la valeur de l'interpolation pour l'émission)