

DOCUMENT DE CADRAGE DE LA SAE22

Mesurer et caractériser un signal ou un système : Translation de fréquence

VERSION 1.0 DU 25 MARS 2022

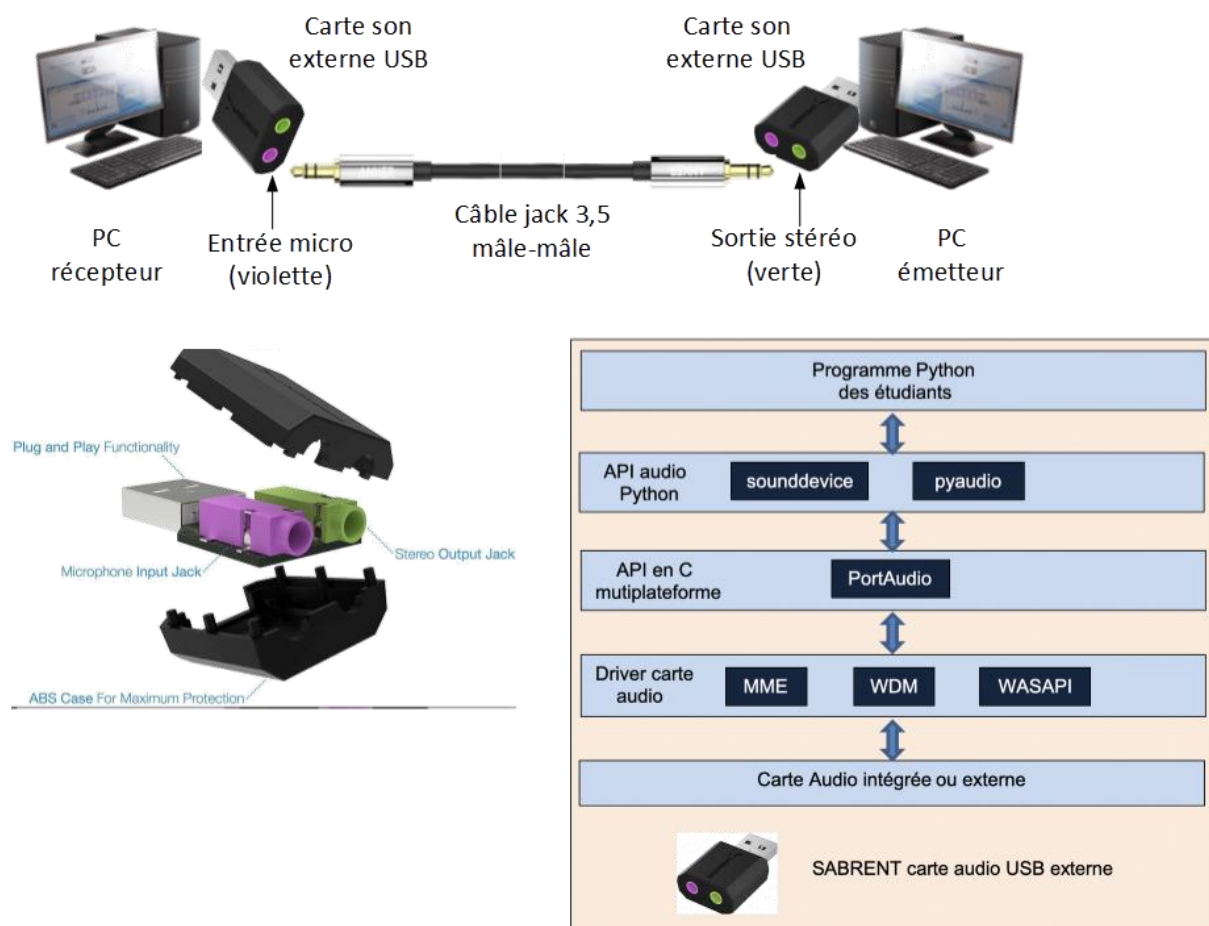
1. Introduction

La **translation de fréquence** est une opération fondamentale pour les transmissions hertziennes. Elle consiste à traduire le spectre d'un signal, sans en altérer le contenu, soit vers une fréquence plus élevée au niveau de l'émetteur (**up conversion**) afin de le transmettre dans la bande de fréquences qui lui est dédiée (par exemple 2,4GHz pour le Wifi), soit vers une fréquence plus basse (**down conversion**) au niveau du récepteur pour remettre le signal dans sa bande de fréquences initiale.

La translation de fréquence est réalisée en multipliant le signal à transmettre par un signal sinusoïdal. Dans le cas particulier où le signal à transmettre est un signal analogique, on parle de **modulation AM** « Amplitude modulation » car l'amplitude de la sinusoïde est modulée par celle du signal analogique.

2. Objectifs et organisation générale de la SAE

Cette SAE vous propose d'effectuer la transmission d'un signal audio modulé AM entre 2 PC relié via les cartes son comme illustré sur le schéma ci-dessous :



La SAE est décomposée en 2 parties :

- Simulation d'une transmission d'un signal audio modulé AM dans un notebook Jupyter
- Transmission en temps réel d'un signal audio modulé AM entre 2 PC via les cartes sons

Rendus : pour cette SAE vous devrez réaliser 3 notebooks Jupyter (1 notebook pour la simulation et 2 autres notebooks pour la transmission temps réel, 1 pour l'émetteur et 1 pour le récepteur. Vous devrez de plus faire un diaporama pour la soutenance orale. Lors de cette soutenance, vous aurez 12 minutes de présentation et 8 minutes de questions.

Nombre d'étudiants par groupe de SAE : 2 étudiants d'un même groupe de TP

Enseignants responsables : Willy Guillemain (WG : willy.guillemain@uvsq.fr), Luc Bondant (LB : luc.bondant@uvsq.fr), Bastien Bechadergue (BB : bastien.bechadergue@uvsq.fr).

Salles pour la SAE : Pour les séances de projet vous utiliserez les salles de TP suivantes :

- Groupe A : salle E48 (2 enseignants)
- Groupe B : salle E50 (1 enseignant)

Ressources: les ressources qui vous aideront à réaliser cette SAE sont :

- R205/206 : signaux et systèmes pour les transmissions
- Fiche ressource 1 : Notions de thread, d'assignement et de copie superficielle
- Fiche ressource 2 : Stream audio avec Python
- Fiche ressource 3 : Filtrage numérique en temps réel avec Python et Scipy
- Signal audio NR2.wav
- Casque audio
- Oscilloscope à FFT RTB2002 et cordon mini-jack BNC

Notation :

Vous aurez 3 notes pendant cette phase de SAE :

- 1 note sur votre notebook de simulation
- 1 note sur vos notebooks pour la transmission AM en temps réel (émetteur et récepteur)
- 1 note sur la présentation orale

La moyenne de la SAE sera constituée comme indiqué ci-dessous :

75% (1/3 Notebook simulation + 1/3 transmission AM temps réel + 1/3 note soutenance orale) + 25% (17/33 x R205/R206 + 4/33 x R211 + 3/33 x R213 + 9/33 x R214).

3. Planning prévisionnel

Le planning prévisionnel du travail à réaliser pour cette SAE est indiqué ci-dessous :

			Demi-journée libre	Demi-journée SAE	SA22 : Mesurer et caractériser un signal ou un système				Encadrement SAE 22 (22h30 HETD)		
					CM	TD	TP	Projet	CM	TD	TP
Sem	N°	N°					E48/E50	E48/E50			
31-janv.	5	36									
7-févr.	6	37									
14-févr.	7	38									
21-févr.	8	39									
28-févr.	9	40	BQ9(1,25)								
7-mars	10	41	BV11(3h)	SAE21							
14-mars	11	42	U12 (2h)	SAE22							
21-mars	12	43	BV13(3h)	SAE21							
28-mars	13	44		SAE21					1		
4-avr.	14	45	U15 (3h)	SAE22				4			
11-avr.	15	46	BV16(4h)	SAE21			3				
18-avr.	16	47	U17(3h)	SAE22				4			
25-avr.	17	48									
2-mai	18	49									
9-mai	19	50					3				
16-mai	20	51	W21(1,5)	SAE23				4			
23-mai	21	52		SAE23			4				
30-mai	22	1	BO23(3h)	SAE23							3
6-juin	23	2	BO24(3h)	SAE23							4

Semaine	Volume horaire	Travail à réaliser en séance	Encadrant
28 mars	1h de CM	Présentation de la SAE	WG
4 avril	4h00 de projet	Émetteur AM en simulation et début du récepteur	Aucun
11 avril	3h00 de TP	Récepteur AM en simulation	WG, LB, BB
18 avril	4h00 de projet	Finalisation du notebook de simulation	Aucun
9 mai	3h00 de TP	Évaluation des notebooks de Simulation Transmission et réception d'un signal audio entre les 2 PC et filtrage temps réel	WG, LB, BB
16 mai	4h00 de projet	Transmission du signal modulé AM vérification de ses caractéristiques à l'oscilloscope à FFT et démodulation synchrone avec une porteuse locale	Aucun
23 mai	4h00 de TP	Transmission du signal modulé AM avec porteuse et réception et démodulation synchrone du signal avec la porteuse récupérée par filtrage	WG, LB, BB
30 mai	3h00 de TP	Présentation des notebooks à l'enseignant et préparation du diaporama pour la soutenance	WG, LB, BB
6 juin	4h00 de TP	Soutenance de SAE	WG, LB, BB

Séance de la semaine du 4 avril (4h de projet) : Émetteur AM en simulation et début du récepteur

1. Charger le signal audio avec la librairie soundfile, visualiser une tranche de ce signal et sa FFT et en déduire la largeur de bande du signal.
2. Préciser la fréquence d'échantillonnage du signal audio, le nombre de bits de codage et le nombre de niveau de quantification.
3. Après avoir relu l'introduction, modéliser (écrire l'équation mathématique dans votre notebook) le signal modulé AM et prendre la transformée de Fourier de cette équation pour en déduire l'expression de la transformée de Fourier du signal modulé AM. Expliquer pourquoi on parle de translation de fréquence.

On souhaite faire une translation de fréquence avec $f_0 = 10\text{KHz}$.

4. Effectuer un petit programme pour créer, avec Python, le signal modulé AM. Visualiser une tranche du signal audio et du signal modulé AM (sur le même graphique) ainsi que leur Densité Spectrale de Puissance en dBm (en bilatéral).

Le récepteur reçoit le signal modulé AM et doit récupérer le signal audio de départ. On doit donc re-translater (down conversion) le signal dans sa bande de départ. Pour cela, en démodulation synchrone, on multiplie le signal AM par le même signal sinusoïdal que celui utilisé sur l'émetteur.

5. Modéliser (écrire l'équation mathématique dans votre notebook) le signal correspondant et prendre la transformée de Fourier de cette équation.

Remarque : avant de prendre la transformée de Fourier on pourra linéariser cosinus au carré.

Séance de la semaine du 11 avril (3h de TP) : Récepteur AM en simulation

1. Effectuer un petit programme pour créer, avec Python, le signal re-translater. Visualiser une tranche de ce signal et sa Densité Spectrale de Puissance en dBm (en bilatéral).
2. Si on veut récupérer le spectre du signal audio de départ, quelle « opération » doit-on appliquer sur ce signal ?
3. Mettre en place cette opération avec Python et Scipy.
4. Visualiser la même tranche du signal audio de départ et du signal audio démodulé pour vérifier qu'on obtient bien le même signal. Visualiser aussi la DSP du signal démodulé.
5. Enregistrer le signal audio démodulé dans un fichier .wav et écouter ce signal pour vérifier que vous obtenez bien le signal audio de départ.

En pratique lors de la transmission entre 2 équipements distants, par exemple une station de radio AM et un poste radio, le signal sinusoïdal généré sur le récepteur n'est pas exactement à la même fréquence (ni en phase) que le signal sinusoïdal généré sur l'émetteur. On souhaite voir l'impact de cet écart en fréquence.

6. Refaire la démodulation mais avec un signal sinusoïdal de fréquence 10000.1 Hz et écouter et visualiser (sur une tranche de 15s) le signal audio démodulé. Conclure sur la nécessité de synchronisation.

Séance de la semaine du 18 avril (4h de projet) : Finalisation des notebooks de simulation

1. Finaliser votre notebook de simulation d'une transmission d'un signal modulé AM.

Remarque : le notebook sera évalué en séance la semaine du 9 mai après les vacances.

2. Lire et comprendre les fiches ressources 1, 2, 3. Vous pouvez faire vos premiers tests de stream audio.

Attention : vos serez interrogés sur la compréhension de ces fiches lors de la soutenance orale.

Séance de la semaine du 9 mai (3h de TP) : Transmission et filtrage d'un signal audio en temps réel entre 2 PC

1. Installer (si ce n'est pas déjà présent sur votre PC) votre IDE préférée (Pycharm ou Visual Studio Code) et charger le plugin permettant de lire des notebooks Jupyter.
2. Créer un notebook pour l'émetteur et réaliser, après avoir lu les fiches ressources 1 et 2, le programme nécessaire pour la transmission du signal audio sur la carte son à l'aide d'un stream audio sortant avec sounddevice. Tester votre programme dans l'IDE pour pouvoir arrêter le programme avant la fin de la chanson.
3. Raccorder les 2 PC avec les cartes audio USB et le câble jack.
4. Créer un notebook sur l'autre PC pour le récepteur et réaliser un programme qui créer un stream entrant/sortant avec sounddevice permettant de diffuser sur les haut-parleurs ce qui est reçu sur le micro. Vous utiliserez le casque audio pour écouter le signal reçu. Vous testerez de même le programme dans l'IDE.
5. Après avoir lu la fiche ressource 3, mettre en place sur le récepteur un filtrage passe-bas en temps réel et écouter le signal audio filtré.

Séance de la semaine du 16 mai (4h de projet) : Transmission d'un signal audio modulé AM

1. Créer une nouvelle section dans le notebook de l'émetteur et programmer un stream sortant avec le signal audio modulé AM avec une fréquence de la sinusoïde à 10KHz.

Pour la génération en temps réel de la sinusoïde vous pourrez vous inspirer de la documentation de sounddevice section « Play a Sine Signal ».

2. Vérifier les caractéristiques du signal modulé AM en sortie de la carte son à l'aide de l'oscilloscope à FFT RTB2002 et du câble jack BNC.
3. Créer une nouvelle section dans le notebook du récepteur et programmer un stream entrant/sortant pour effectuer la démodulation synchrone en multipliant le signal reçu par un signal sinusoïdal généré localement puis en filtrant.
4. Écouter le signal audio reçu après démodulation et vérifier qu'avec la porteuse locale, on a bien le problème de synchronisation vu dans le notebook de simulation.
5. Créer un tableau numpy vide nommé *test* qui sera déclaré comme variable globale dans la fonction de callback et ajouter dans cette fonction (np.append) les différents morceaux du signal audio reçu.
6. Visualiser l'allure temporelle du signal audio sur quelques secondes pour voir l'impact du problème de synchronisation.

Séance de la semaine du 23 mai (4h de TP) : Transmission d'un signal audio modulé AM avec porteuse

Pour résoudre le problème de synchronisation, on va transmettre en plus du signal audio modulé AM, la porteuse c'est-à-dire le signal sinusoïdal à 10KHz. On pourra alors récupérer par filtrage passe-bande cette porteuse au niveau du récepteur pour effectuer la démodulation synchrone.

1. Créer une nouvelle section dans le notebook de l'émetteur et programmer un stream sortant avec le signal audio modulé AM avec porteuse qu'on peut exprimer sous la forme : $x_{AMP}(t) = \text{audio}(t) \times \cos(2\pi \cdot 1000 \cdot t) + k \cdot \cos(2\pi \cdot 1000 \cdot t)$, (on pourra prendre $k = 0.5$).
2. Créer une nouvelle section dans le notebook du récepteur et programmer un stream entrant/sortant pour effectuer la démodulation synchrone en multipliant le signal reçu par le signal sinusoïdal récupéré par filtrage passe-bande.

On prendra les caractéristiques suivantes pour le filtre passe-bande : $fc1 = 9900\text{Hz}$, $fc2 = 10100\text{Hz}$, ordre 12, structure SOS.

3. Écouter le signal audio reçu après démodulation.
4. En utilisant le tableau numpy de test comme la semaine précédente, visualiser la porteuse récupérée par filtrage puis la DSP du signal audio reçu.

Séance de la semaine du 30 mai (3h de TP) :

Cette séance est réservée à la finalisation et à la présentation de vos notebooks sur la transmission en temps réel à un enseignant et à la préparation de votre diaporama pour la soutenance du 6 juin.

Le diaporama portera exclusivement la transmission en temps réel du signal modulé AM (et pas sur le notebook de simulation). Un exemple d'organisation des diapositives pour votre diaporama est donné ci-dessous :

- 2 diapositives de présentation et d'organisation du projet
- 2 diapositives sur le principe et la réalisation d'un stream avec Sounddevice
- 1 diapositives sur la transmission en temps réel d'un signal audio
- 1 diapositives sur l'émission d'un signal audio modulé AM
- 2 diapositives sur la réception d'un signal audio modulé AM avec porteuse locale
- 2 diapositives sur la transmission d'un signal audio modulé AM avec porteuse
- 1 diapositive de conclusion

Remarque : vous pouvez utiliser les schémas ou textes des fiches ressources.

FICHE D'EVALUATION DU NOTEBOOK DE SIMULATION

Membres

du

binôme :

.....

Le binôme a-t-il réalisé toutes les tâches demandées sur cette partie de la SAE ?

☐ oui ☐ 0 à 20% ☐ 20 à 40% ☐ 40 à 60% ☐ 60 à 80% ☐ 80 à 100%

Maîtrise de la partie programmation. Niveau 1 : faible, Niveau 5 : très bon.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Pas évaluable

Maîtrise de la partie signal. Niveau 1 : mauvais, Niveau 5 : très bon.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Pas évaluable

Qualité du notebook et des explications sur les programmes réalisés. Niveau 1 : mauvais, Niveau 5 : très bon.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Pas évaluable

Note proposée et commentaires :

<div style="border-top: 1px solid black; width: 50px; margin: 0 auto;"></div> <div style="font-size: 24px; font-weight: bold; margin-top: 5px;">20</div>
--

**FICHE D'EVALUATION DES NOTEBOOKS SUR LA TRANSMISSION D'UN
SIGNAL MODULE AM EN TEMPS REEL**

Membres **du** **binôme :**

.....
.....
.....
.....

Le binôme a-t-il réalisé toutes les tâches demandées sur cette partie de la SAE ?

☐ oui ☐ 0 à 20% ☐ 20 à 40% ☐ 40 à 60% ☐ 60 à 80% ☐ 80 à 100%

Maîtrise de la partie programmation. Niveau 1 : faible, Niveau 5 : très bon.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Pas évaluable

Maîtrise de la partie signal. Niveau 1 : mauvais, Niveau 5 : très bon.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Pas évaluable

Qualité du notebook et des explications sur les programmes réalisés. Niveau 1 : mauvais, Niveau 5 : très bon.

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Pas évaluable

Note proposée et commentaires :

20