

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Par :

MOULAI TAKY EDDINE AYMEN

MILOUDI MOUSSA

Thème

**MADITEL
REALISATION DES MAQUETTES DIDACTIQUES POUR
TELECOMMUNICATIONS ET ELECTRONIQUE**

Soutenu publiquement le 26 /06 / 2023 devant le jury composé de :

M BOUKLI HACEN NOUREDDINE	Professeur	Université de Tlemcen	Président
M BENYAROU MOURAD	MCA	Université de Tlemcen	Examineur
M ABRI MEHADJI	Professeur	Université de Tlemcen	Encadrant
M RAHMI BACHIR	Docteur	Université de Tlemcen	Co-Encadrant
Mme MAKOUDI MALIKA	Responsable de laboratoire	Laboratoire d'électronique et télécommunication Université de Tlemcen	Invité
M SOULIMANE SOFIANE	Professeur	Centre de formation i2e	Examineur

Année universitaire : 2022/2023

Remerciement

Nous remercions en premier lieu ALLAH le tout puissant qui nous a accordé la santé, le courage, la volonté et la patience de réaliser ce travail.

Nous adressons nos profonds remerciements à notre encadrant, Monsieur **ABRI MEHADJI**, professeur à l'Université de Tlemcen, pour son aide précieuse, sa confiance, ses conseils et son œil critique qui nous ont été très précieux pour réaliser notre mémoire.

Tout notre respect et nos remerciements vont vers les membres du jury qui vont pleinement consacrer leur temps et leur attention afin d'évaluer notre travail.

Nous tenons à remercier vivement Monsieur **BOUKLI HACEN NOUREDDINE**, professeur à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.

Nos remerciements vont, également, au Monsieur **BENYAROU MOURAD**, maître de conférences classe A à l'université de Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi à Madame **MAKOUDI MALIKA** Responsable de laboratoire à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Monsieur **SOULIMANE SOFIANE**, professeur à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Nous ne manquerions pas cette opportunité sans remercier tous les **professeurs d'i2e** pour leur aide, leurs précieux conseils et leur intérêt pour la formation.

Nous désirons aussi remercier l'ensemble de **l'équipe de laboratoire** du département du Télécommunication pour leur écoute et encadrement durant tous notre cursus.

Enfin, nos remerciements les plus sincères vont à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, Je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais leur exprimer mon amour sincère à mes parents qui m'ont toujours soutenu

Je les remercie pour tous les sacrifices de tout genre qu'ils ont fait.

A mes chère sœurs et frères Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A toute ma famille paternelle Et maternelle

A mes amis ISLAM, AYMEN, HAITHEM, SOHEYB, MALIKA, MARWA

Merci pour leurs encouragements Leurs présences et leurs confiances ont été une source d'inspiration et de motivation pour moi.

Sans oublier mon binôme Miloudi Moussa pour son soutien tout au long de ce projet.

MOULAI TAKY EDDINE AYMEN

Dédicace II

Merci mon dieu de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail :

A ma mère celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite.

A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager à me donner l'aide et à me protéger.

A mes frères et ma sœur, je vous souhaite un avenir plein de joie de bonheur de réussite et de sérénités, je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

A tous les membres de ma famille, petite et grande.

A mes chers ami(e)s : Sidou , Dahdouh , Malika , Hanaa, Zineb,
Meriem et Kawther

A mon binôme Moulai Taky Eddin Aymen qui a accepté sans aucune hésitation pour être mon binôme afin de mener à bien ce modeste travail.

MILOUDI MOUSSA

Résumé

Le domaine des télécommunications et de l'électronique occupe une place essentielle dans notre vie quotidienne. Avec la demande croissante d'ingénieurs qualifiés dans ce domaine, il est crucial de mettre en avant l'importance d'une éducation efficace et d'un apprentissage pratique. Les maquettes didactiques jouent un rôle primordial en facilitant la compréhension de divers concepts pour les étudiants dans les domaines de l'électronique et des télécommunications, contribuant ainsi à améliorer la qualité de l'apprentissage pratique.

L'objectif de ce PFE et de faire une conception des maquettes didactiques basées sur les amplificateurs opérationnels, en mettant notamment l'accent sur les filtres, les oscillateurs et le processus de prototypage.

Mots clés : maquette didactique, amplificateur opérationnel, oscillateur, filtre

Abstract

Telecommunications and electronics occupy an essential place in our daily lives. With the growing demand for qualified engineers in this field, it is crucial to emphasize the importance of effective education and hands-on learning. Didactic models play a vital role in facilitating the understanding of various concepts for students in the fields of electronics and telecommunications, thus helping to improve the quality of practical learning.

The objective of this final-year project is to design didactic models based on operational amplifiers, with particular emphasis on filters, oscillators, and the prototyping process.

Keywords: didactic maquettes, operational amplifiers, oscillators, filters.

المخلص

يحتل مجال الاتصالات السلكية واللاسلكية والإلكترونيات مكانًا أساسيًا في حياتنا اليومية. مع الطلب المتزايد على المهندسين المؤهلين في هذا المجال، من الأهمية بمكان تسليط الضوء على أهمية التعليم الفعال والتعلم العملي. تلعب النماذج التعليمية دورًا حيويًا في تسهيل فهم الطلاب لمختلف المفاهيم في مجالي الإلكترونيات والاتصالات، مما يساعد على تحسين جودة التعلم العملي.

الهدف من مشروع التخرج هذا هو تصميم نماذج تعليمية تستند إلى مكبرات الصوت التشغيلية، مع التركيز بشكل خاص على المرشحات والمذبذبات وعملية النماذج الأولية.

كلمات مفتاحية: نموذج تعليمي، مضخم تشغيلي، مذبذب، مرشحات

Table des matières

Remerciement.....	II
Dédicace	III
Dédicace II	IV
Résumé	V
Table des matières	VI
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux.....	X
Acronymes et abréviations	X
Introduction général	1

Chapitre I : amplificateur opérationnel

I.1 – Introduction.....	5
I.2– Historique	5
I.3– Définition et principe de fonctionnement.....	6
I.4– La contre-réaction	7
I.5– L'amplificateur opérationnel idéal.....	8
I.6 – L'amplificateur opérationnel inverseur et non inverseur	9
I.6.1– L'étage amplificateur opérationnel non inverseur	9
I.6.2– L'étage amplificateur opérationnel inverseur	11
I.7– Différentes configurations d'amplificateurs opérationnels	12
I.7.1– Comparateur	12
I.7.2– Sommateurs	13
I.7.3– Soustracteur (différentiel)	14
I.7.4– INTÉGRATEURS ET DIFFÉRENTIATEURS	15
I.7.4.1– L'amplificateur opérationnel intégrateur.....	16
I.7.4.1.1– L'intégrateur idéal	16
I. 7.4.1.2– L'intégrateur pratique.....	16
I.7.4.2– L'amplificateur opérationnel différentiateur.....	18
I.7.4.2.1– Le différentiateur idéal	18
I.7.4.2.1– Le différentiateur pratique.....	18
I.8 – Les caractéristiques d'un amplificateur opérationnel.....	19
I.8.1– La bande passante d'un amplificateur opérationnel.....	19
I.8.2– Vitesse de balayage	20
I.8.3– Réponse en fréquence d'un amplificateur opérationnel	20

I.8.4- Le gain	21
I.9 - Conclusion	21

Chapitre II : La théorie derrière les différentes maquettes réalisées

II.1 - Introduction	24
II.2 -les oscillateurs	24
II.2 .1- Conditions d'oscillation	25
II.2 .2- Le générateur de forme d'onde 8038	26
II.3 - les filtres.....	27
II.3 .1- Classification des filtres	28
II.3 .2- Filtres de Sallen-Key.....	29
II.4 - Les lignes de transmission.....	30
II.4.1 - Cable coaxial.....	30
II.5 - conclusion	31

Chapitre III : simulation et réalisation

III.1 - Introduction	34
III.2 - La maquette d'AOP.....	34
III.2.1 - Différentiel	35
III.2.2 - Différentiateur.....	36
III.2.3 - Suiveur.....	38
III.2.4 - Intégrateur	39
III.2.5 - Inverseur.....	41
III.2.6 - Non inverseur	43
III.2.7 - Sommateur.....	44
III.3 - La maquette de filtrage 01	46
III.3.1 - Filtre passe-bas	47
III.3.2 - Filtre passe-haut.....	49
III.3.3 - Filtre passe-bande.....	52
III.4 - La maquette de filtrage 02	55
III.4 - la maquette d'oscillateur.....	62
III.5 - maquette d'adaptateur coaxial.....	64
III.6 - Conclusion.....	70
Conclusion générale.....	72
Références bibliographiques.....	74

Liste des figures

Chapitre I : l'amplificateur opérationnelle

Figure I. 1 symbole d'amplificateur opérationnel [1].....	6
Figure I. 2 symbole d'AOP avec les deux connexions d'alimentation [1].	7
Figure I. 3 Circuit amplificateur opérationnel généralisé avec contre-réaction [12].	9
Figure I. 4 L'étage d'amplificateur opérationnel non inverseur (suiveur de tension) [2].	10
Figure I. 5 L'étage d'amplificateur opérationnel inverseur [2].	11
Figure I. 6 Un comparateur simple [1].	12
Figure I. 7 Amplificateur sommateur inversé à deux entrées.	14
Figure I. 8 Un amplificateur opérationnel idéal comme soustracteur [6].	15
Figure I. 9 Un amplificateur opérationnel intégrateur.	16
Figure I. 10 intégrateurs pratiques.	17
Figure I. 11 différentiateur idéal.	18
Figure I. 12 différentiateur pratique.	19

Chapitre II : La théorie derrière les différentes maquettes réalisées

Figure II. 1 oscillateur [4].....	25
Figure II. 2 les Conditions générales pour maintenir l'oscillation [6].	25
Figure II. 3 ICL8038 comme circuit de VCO. [10]	26
Figure II. 4 Schéma fonctionnel du 8038 et brochage du circuit intégré [1]	27
Figure II. 5 Différents types de filtres [8].	28
Figure II. 6 Différents types de filtres sellen key	29
Figure II. 7 Structure interne du câble[14].	30

Chapitre III :Simulation et realisation

Figure III. 1 a) la façade de maquette d'AOP b) le circuit intérieur de maquette d'AOP ..	34
Figure III. 2 a) schéma bloque de différentiel b) le circuit électronique de différentiel...	35
Figure III. 3 le montage de différentiel.....	35
Figure III. 4 a) la simulation de différentiel b) signaux visualisés sur l'oscilloscope.....	36
Figure III. 5 a) schéma bloque de différentiateur b) le circuit électronique de différentiateur.....	36
Figure III. 6 le montage de différentiateur	37
Figure III. 7 a) la simulation de différentiateur b) signaux visualisés sur l'oscilloscope..	37
Figure III. 8 schéma bloque de suiveur b) le circuit électronique de suiveur.....	38
Figure III. 9 le montage de suiveur	38
Figure III. 10 a) la simulation de suiveur b) signaux visualisés sur l'oscilloscope.....	39
Figure III. 11 a) schéma bloque d'intégrateur b) le circuit électronique d'intégrateur....	39
Figure III. 12 le montage d'intégrateur	40
Figure III. 13 a) la simulation d'intégrateur b) signaux visualisés sur l'oscilloscope	40
Figure III. 14 a) schéma bloque d'inverseur b) le circuit électronique d'inverseur	41
Figure III. 15 le montage d'inverseur	41
Figure III. 16 la simulation d'inverseur b) signaux visualisés sur l'oscilloscope.....	42

Figure III. 17 a) schéma bloque de non inverseur b) le circuit électronique de non inverseur	42
Figure III. 18 le montage de non inverseur	43
Figure III. 19 a) la simulation de non inverseur b) signaux visualisés sur l'oscilloscope	43
Figure III. 20 a) schéma bloque de sommateur b) le circuit électronique de sommateur	44
Figure III. 21 le montage de sommateur	44
Figure III. 22 a) la simulation de sommateur b) entré v1 de sommateur c) entré v2 de sommateur d) le résultat de sommateur.....	45
Figure III. 23 a) la façade de maquette de filtrage 01 b) le circuit intérieur de maquette de filtrage 01	46
Figure III. 24 a) schéma bloque d'un filtre passe-bas b) le circuit électronique d'un filtre passe-bas	46
Figure III. 25 digramme de Bode d'un filtre passe-bas.....	47
Figure III. 26 le montage d'un filtre passe-bas.....	47
Figure III. 27 a) La simulation d'un filtre passe-bas (f=100Hz) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope	48
Figure III. 28 a) la simulation d'un filtre passe-bas (f=1.2KHz) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope	48
Figure III. 29 a) schéma bloque d'un filtre passe-haut b) le circuit électronique d'un filtre passe-haut	49
Figure III. 30 digramme de Bode d'un filtre passe-haut.....	49
Figure III. 31 le montage d'un filtre passe-haut.....	50
Figure III. 32 a) la simulation d'un filtre passe-haut (f=10KHz) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope	50
Figure III. 33 a) la simulation d'un filtre passe-haut (f=1KHz) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope	51
Figure III. 34 a) schéma bloque d'un filtre passe-bande b) le circuit électronique d'un filtre passe-bande.....	51
Figure III. 35 digramme de Bode d'un filtre passe-bande (fc1)	52
Figure III. 36 digramme de Bode d'un filtre passe-bande (fc2)	52
Figure III. 37 a) la simulation d'un filtre passe-bande (f=500Hz) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope	53
Figure III. 38 a) la simulation d'un filtre passe-bande (f=2KHz) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope	53
Figure III. 39 a) la simulation d'un filtre passe-bande (f=9KHz) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope	54
Figure III. 40 a) la façade de maquette de filtrage 02 b) le circuit intérieur de maquette de filtrage 02	54
Figure III. 41 a) schéma bloque d'un filtre passe-bas, haut et bande b) le circuit électronique d'un filtre passe-bas, haut et bande.....	55
Figure III. 42 digramme de Bode de filtre passe-bas, haut et bande	55
Figure III. 43 digramme de Bode d'un filtre passe-bas.....	56
Figure III. 44 digramme de Bode d'un filtre passe-haut.....	56
Figure III. 45 digramme de Bode d'un filtre passe-bande (fc1)	56
Figure III. 46 digramme de Bode d'un filtre passe-bande (fc2)	57
Figure III. 47 la maquette de filtre passe-bas, haut et bande	57

Figure III. 48 a) la simulation de filtre passe-bas, haut et bande (f=100Hz) b) Filtre passe-bas c) Filtre passe-bande d) Filtre passe-haut.....	58
Figure III. 49 a) la simulation de filtre passe-bas, haut et bande (f=1KHz) b) filtre passe-bas c) filtre passe-bande d) filtre passe-haut	59
Figure III. 50 a) la simulation de filtre passe bas, haut et bande (f=10KHz) b) filtre passe-bas c) filtre passe-bande d) filtre passe-haut	60
Figure III. 51 a) la façade de maquette d'oscillateur b) le circuit intérieur de maquette d'oscillateur	61
Figure III. 52 a) schéma bloque d'oscillateur b) le circuit électronique d'oscillateur	61
Figure III. 53 la maquette d'oscillateur	62
Figure III. 54 a) la simulation d'oscillateur avec (RV=0%) b) signal carré c) signal sinusoïdale d) signal triangulaire.....	62
Figure III. 55 a) la simulation d'oscillateur avec (RV=100%) b) signal carré c) signal sinusoïdale d) signal triangulaire.....	63
Figure III. 56 a) la façade de maquette d'adaptateur coaxial b) le circuit intérieur de maquette d'adaptateur coaxial.....	63
Figure III. 57 a) câble de type RG174 b) générateur de fréquence (1Mhz)	64
Figure III. 58 a) réalisation sur la maquette de laboratoire b) réalisation sur la maquette MADITEL.....	64
Figure III. 59 a) Signal d'entrée b) Signal de sortie	65
Figure III. 60 a) réalisation sur la maquette de laboratoire b) réalisation sur la maquette MADITEL.....	66
Figure III. 61 a) réalisation sur la maquette de laboratoire b) réalisation sur la maquette MADITEL.....	67
Figure III. 62 a) réalisation sur la maquette de laboratoire b) réalisation sur la maquette MADITEL.....	68
Figure III. 63 a) réalisation sur la maquette de laboratoire b) réalisation sur la maquette MADITEL.....	69

Liste des tableaux

Chapitre I : l'amplificateur opérationnelle

Tableau I. 1 les effets généraux de la contre-réaction sur les performances des amplificateurs opérationnels [3]	8
--	---

Acronymes et abréviations

AOL : Open Loop Gain (Le gain de tension en boucle ouverte)

ACL : Closed Loop Gain (Le gain en tension en boucle fermée)

VCO : voltage controlled oscillator (oscillateur commandé en tension)

Z : Impédance.

Introduction générale

Le domaine de la télécommunication et de l'électronique jouent un rôle essentiel dans notre vie quotidienne. Avec la demande croissante d'ingénieurs qualifiés dans ce domaine, il est devenu primordial de souligner l'importance d'une éducation efficace et d'un apprentissage pratique.

Dans cette thèse, nous cherchons à approfondir l'importance de l'apprentissage pratique dans la formation des ingénieurs spécialisés en télécommunication et l'électronique. Il est de plus en plus nécessaire d'intégrer des expériences et des formations pratiques dans les programmes d'enseignement.

Une solution remarquable qui répond à ce besoin est MADITEL, une entreprise pionnière qui s'engage à renforcer l'apprentissage pratique et à améliorer la qualité globale de l'enseignement en télécommunication et l'électronique. En produisant des maquettes didactiques.

En analysant les besoins spécifiques des laboratoires et en considérant l'importance des circuits d'amplificateurs opérationnels, nous avons déterminé que le développement de maquettes centrées sur les amplificateurs opérationnels serait un point de départ essentiel.

L'objectif principal de ce mémoire est d'explorer la conception et l'analyse des circuits à base d'amplificateurs opérationnels, avec un accent particulier sur les filtres, les oscillateurs et le processus de prototypage.

Le premier chapitre fournit une introduction aux amplificateurs opérationnels, couvrant leur contexte historique, leur définition, leurs principes de fonctionnement et leurs différentes configurations. Il établit une base solide pour les chapitres suivants en examinant les caractéristiques et les applications des amplificateurs opérationnels.

Dans le deuxième chapitre, nous examinerons la théorie sous-jacente aux différentes maquettes réalisées, telles que les filtres, les oscillateurs et l'adaptation d'une ligne coaxiale. Nous aborderons également l'application des amplificateurs opérationnels, ainsi que la théorie de la maquette que nous avons reproduit pour l'adaptateur de ligne coaxiale.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous allons voir la simulation, les tests et le prototypage des circuits basés sur des amplificateurs opérationnels. La simulation à l'aide

d'outils logiciels tels que Proteus permet aux ingénieurs d'analyser et de vérifier le comportement des circuits avant leur mise en œuvre physique. Les tests des circuits sur plaque d'essai permettent de valider et d'évaluer leurs performances dans le monde réel.

Chapitre I

L'Amplificateur opérationnel

Sommaire :

I.1 – Introduction	5
I.2– Historique.....	5
I.3– Définition et principe de fonctionnement	6
I.4– La contre-réaction.....	7
I.5– L'amplificateur opérationnel idéal.....	8
I.6 – L'amplificateur opérationnel inverseur et non inverseur	9
I.6.1– L'étage amplificateur opérationnel non inverseur.....	9
I.6.2– L'étage amplificateur opérationnel inverseur	11
I.7– Différentes configurations d'amplificateurs opérationnels.....	12
I.7.1– Comparateur.....	12
I.7.2– Sommateurs.....	13
I.7.3– Soustracteur (différentiel)	14
I.7.4– INTÉGRATEURS ET DIFFÉRENTIATEURS.....	15
I.7.4.1– L'amplificateur opérationnel intégrateur	16
I.7.4.1.1– L'intégrateur idéal	16
I.7.4.1.2– L'intégrateur pratique	16
I.7.4.2– L'amplificateur opérationnel différentiateur	18
I.7.4.2.1– Le différentiateur idéal.....	18
I.7.4.2.1– Le différentiateur pratique	18
I.8 – Les caractéristiques d'un amplificateur opérationnel.....	19
I.8.1– La bande passante d'un amplificateur opérationnel.....	19
I.8.2– Vitesse de balayage	20
I.8.3– Réponse en fréquence d'un amplificateur opérationnel	20
I.8.4– Le gain	21
I.9 – Conclusion.....	21

I.1 – Introduction

Les amplificateurs opérationnels sont utilisés depuis de nombreuses années. À l'origine, ils étaient construits à l'aide de circuits à transistors discrets, mais le développement du circuit intégré a révolutionné la conception des circuits analogiques. L'amplificateur opérationnel a été l'un des premiers circuits intégrés analogiques, en raison de son utilité comme élément de construction dans de nombreux circuits [1].

Ce chapitre présente l'amplificateur opérationnel montre leur évolution historique, examine leurs types, leurs propriétés, présente leurs caractéristiques.

I.2- Historique

Le développement de l'amplificateur optique commence au début du vingtième siècle, en commençant par certaines inventions fondamentales. Il y a eu deux inventions clés très tôt dans le siècle. La première n'était pas un amplificateur, mais un redresseur à deux éléments basés sur un tube à vide, la "diode Fleming" de J. A. Fleming, brevetée en 1904. Il s'agissait d'une étape évolutive par rapport à la lampe à filament d'Edison, en raison de l'ajout d'une électrode à plaque, qui (lorsqu'elle est polarisée positivement) capture les électrons émis par le filament (cathode). Comme ce dispositif faisait passer le courant dans un seul sens, il remplissait une fonction de redressement. Ce brevet est l'aboutissement des travaux antérieurs de Fleming, réalisés à la fin du dix-neuvième siècle.

Un deuxième développement (plus en rapport avec l'amplification) a été l'invention du tube à vide triode à trois éléments par Lee De Forest, l'"Audion", en 1906. Il s'agit du premier dispositif actif capable d'amplifier un signal. De Forest a ajouté une électrode de grille de contrôle, entre le filament de la diode et la plaque, et un dispositif d'amplification est né. Si ces premiers tubes du vingtième siècle présentaient des inconvénients, le monde de l'électronique moderne était en train de naître, et d'autres développements clés allaient bientôt suivre.

Pour les amplificateurs opérationnels, l'invention du principe de l'amplificateur de contre-réaction aux Bell Téléphone Laboratoires (Bell Labs) à la fin des années 1920 et au début des années 1930 a véritablement constitué un progrès décisif. Cette

invention historique a conduit directement à la première phase des amplificateurs opérationnels à tube à vide, une forme générale d'amplificateur à contre-réaction utilisant des tubes à vide, à partir du tout début des années 1940 et jusqu'à la fin de la Seconde Guerre mondiale.

Après la Seconde Guerre mondiale, il y a eu une période de transition au cours de laquelle les amplificateurs opérationnels à tube à vide ont été améliorés et affinés, du moins en termes de circuits. Mais ces amplificateurs étaient fondamentalement des dispositifs de grande taille, encombrants et énergivores. Ainsi, après une décennie ou plus, les amplificateurs opérationnels à tube à vide ont commencé à être remplacés par des amplificateurs opérationnels miniaturisés à semi-conducteurs dans les années 1950 et 1960.

Une dernière phase de transition majeure dans l'histoire des amplificateurs opérationnels a commencé avec le développement du premier amplificateur opérationnel à circuit intégré, au milieu des années 1960. Une fois que la technologie des circuits intégrés s'est largement imposée, les choses ont évolué rapidement au cours des dernières années du vingtième siècle, les progrès en matière de performances des appareils se succédant à un rythme effréné [2].

I.3- Définition et principe de fonctionnement

L'amplificateur opérationnel est un élément de construction simple. Il possède deux entrées, l'une est appelée entrée inverseuse (souvent étiquetée -) et l'autre est appelée entrée non inverseuse (souvent étiquetée +). En général, les amplificateurs opérationnels ont une seule sortie, mais les amplificateurs spéciaux utilisés dans les circuits de radiofréquence ont deux sorties. Le symbole utilisé dans les schémas de circuit est illustré à la **Figure I.1**.

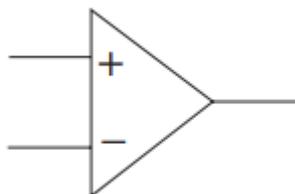


Figure I. 1 symbole d'amplificateur opérationnel [1].

L'amplificateur opérationnel possède également deux connexions d'alimentation, l'une pour le rail positif et l'autre pour le rail négatif **Figure I.2**.

De nombreux circuits d'amplificateurs opérationnels ont une alimentation à mi-rail connectée à la terre, bien que l'amplificateur opérationnel lui-même n'ait pas de connexion d'alimentation à mi-rail spécifique. Certains amplificateurs opérationnels sont spécifiquement conçus pour fonctionner avec une seule alimentation.

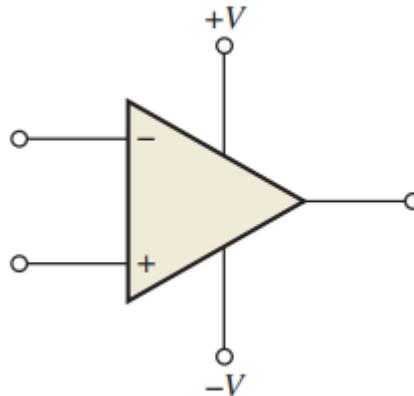


Figure I. 2 symbole d'AOP avec les deux connexions d'alimentation [1].

L'amplificateur opérationnel est un amplificateur à courant continu à gain élevé (le gain à courant continu est généralement >100 dB). Avec un couplage capacitif approprié, l'amplificateur opérationnel est utilisé dans de nombreux circuits d'amplification en courant alternatif. La tension de sortie est simplement la différence de tension entre les entrées inverseuse et non inverseuse, multipliée par le gain [1].

I.4- La contre-réaction

L'amplificateur opérationnel doit disposer d'une contre-réaction pour remplir des fonctions utiles. La plupart des conceptions utilisent une contre-réaction négative pour contrôler le gain et assurer un fonctionnement linéaire. La contre-réaction permet également de contrôler les impédances d'entrée et de sortie et la bande passante de l'amplificateur [3].

La contre-réaction est assurée par des composants, tels que des résistances, connectés entre la sortie de l'amplificateur opérationnel et son entrée inverseuse (-). Les circuits non linéaires, tels que les comparateurs et les oscillateurs, utilisent la contre-

réaction positive en ayant des composants connectés entre la sortie de l'amplificateur opérationnel et son entrée non inverseuse (+) [1].

Le tableau ci-dessous montre les effets généraux de la contre-réaction sur les performances des amplificateurs opérationnels.

	Gain de tension	L'impédance d'entrée	L'impédance de sortie	La Bande passante
Sans Contre-réaction	AOL (Le gain en tension en boucle ouverte) est trop élevé pour les applications d'amplificateur linéaire	Relativement élevé	Relativement faible	Relativement étroit
Avec Contre-réaction	ACL (Le gain en tension en boucle fermée) est réglé par le circuit de contre-réaction à la valeur souhaitée	Peut être augmenté ou réduit à la valeur souhaitée en fonction du type de circuit	Peut être réduit à une valeur désirée	Beaucoup plus large

Tableau I. 1 les effets généraux de la contre-réaction sur les performances des amplificateurs opérationnels [3].

I.5- L'amplificateur opérationnel idéal

Pour illustrer ce qu'est un amplificateur opérationnel, il est beaucoup plus facile de comprendre et d'analyser le dispositif d'un point de vue idéal [12].

Certaines caractéristiques idéales.

- La sortie de l'amplificateur idéal à entrées différentielles ne dépend que de la différence entre les tensions appliquées aux deux bornes d'entrée.
- Les performances dépendent entièrement des réseaux d'entrée et de contre-réaction.
- Aucun courant ne circule dans les bornes d'entrée de l'amplificateur.

- La réponse en fréquence s'étend de zéro à l'infini, assurant une réponse à tous les signaux continus et alternatifs, avec un temps de réponse nul et sans changement de phase avec la fréquence.
- L'amplificateur n'est pas affecté par la charge.
- Lorsque la tension du signal d'entrée est nulle, le signal de sortie sera également zéro - quelle que soit la résistance de la source d'entrée [1].

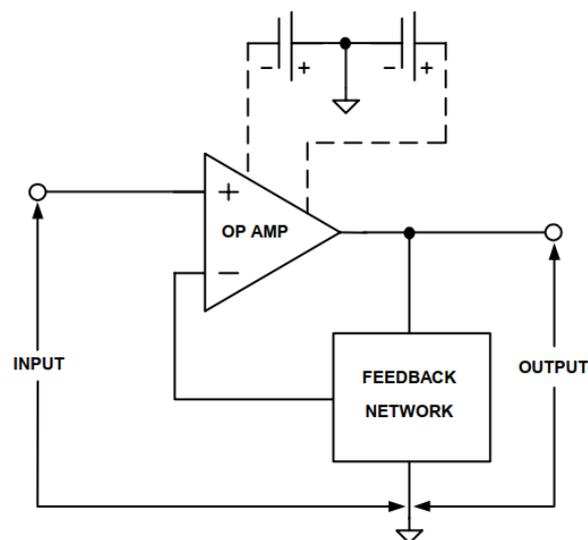


Figure I. 3 Circuit amplificateur opérationnel généralisé avec contre-réaction [12].

I.6 – L'amplificateur opérationnel inverseur et non inverseur

Pratiquement toutes les configurations de contre-réaction des amplificateurs opérationnels peuvent être classées en quelques catégories de base. Il s'agit notamment des deux types essentiels inverseur et non inverseur [2].

I.6.1- L'étage amplificateur opérationnel non inverseur

L'étage de gain de l'amplificateur opérationnel non inverseur, également connu sous le nom de suiveur de tension avec gain, ou simplement suiveur de tension, est illustré ci-dessous à la **Figure I.4**.

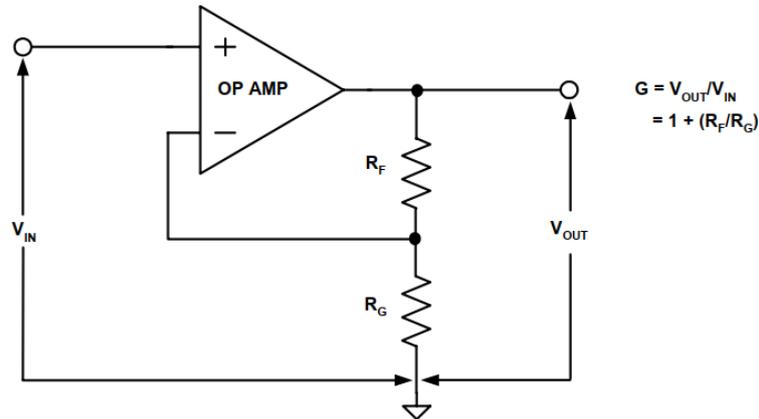


Figure I. 4 L'étage d'amplificateur opérationnel non inverseur (suiveur de tension) [2].

Cet étage d'amplificateur opérationnel traite l'entrée V_{IN} avec un gain de G , de sorte qu'une expression généralisée pour le gain est :

$$G = \frac{V_{out}}{V_{IN}} \quad I. 1$$

Les résistances R_F et R_G du réseau de contre-réaction déterminent le gain de l'étage du suiveur. Pour un amplificateur opérationnel idéal, le gain de cet étage est :

$$G = \frac{(R_F + R_G)}{R_G} \quad I. 2$$

Pour plus de clarté, ces expressions sont également incluses dans la **Figure I.4** La comparaison de cette **Figure I.4** et de la figure plus générale **Figure I.3** montre que R_F et R_G constituent ici un simple réseau de contre-réaction, renvoyant une fraction de V_{out} à l'entrée (-) de l'amplificateur opérationnel.

Si R_F est ramené à zéro et R_G ouvert, le gain de l'étage devient unitaire et V_{out} est alors exactement égal à V_{IN} . Ce cas particulier de gain non inverseur est également appelé "suiveur de gain unitaire", un montage couramment utilisé pour la mise en mémoire tampon d'une source [2].

I.6.2- L'étage amplificateur opérationnel inverseur

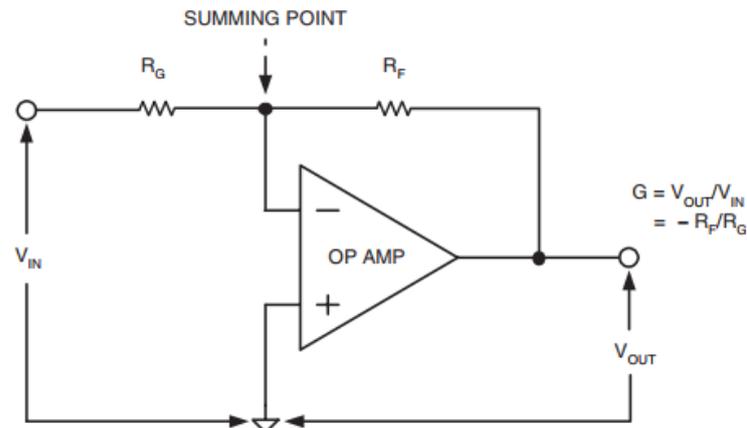


Figure I. 5 L'étage d'amplificateur opérationnel inverseur [2].

L'étage de gain inverseur de l'amplificateur opérationnel, également connu sous le nom d'inverseur, est illustré à la **Figure I.5**. Comme on peut le constater en comparant la **Figure I.5** et la **Figure I.3**, l'inverseur peut être considéré comme similaire à un suiveur, mais avec une transposition de la tension d'entrée V_{IN} .

Dans l'inverseur, le signal est appliqué à R_G du réseau de contre-réaction, et l'entrée de l'amplificateur opérationnel (+) est mise à la terre.

Les résistances du réseau de contre-réaction, R_F et R_G , définissent le gain d'étage de l'inverseur. Pour un amplificateur opérationnel idéal, le gain de cet étage est :

$$G = -\frac{R_F}{R_G} \quad I. 3$$

Un cas particulier de gain pour l'inverseur se produit lorsque $R_F = R_G$, qui est également appelé inverseur à gain unitaire. Cette forme d'inverseur est couramment utilisée pour générer des signaux V_{out} complémentaires, c'est-à-dire $V_{out} = -V_{IN}$.

Dans ce cas, il est généralement souhaitable de faire correspondre R_F à R_G avec précision, ce qui peut facilement être fait en utilisant une paire de résistances appariées bien spécifiée [2].

I.7- Différentes configurations d'amplificateurs opérationnels

I.7.1- Comparateur

Les amplificateurs opérationnels sont souvent utilisés comme comparateurs pour comparer l'amplitude d'une tension à une autre. Dans cette application, l'amplificateur opérationnel est utilisé dans la configuration en boucle ouverte, avec la tension d'entrée sur une entrée et une tension de référence sur l'autre.

Un comparateur est un circuit amplificateur opérationnel spécialisé qui compare deux tensions d'entrée et produit une sortie qui est toujours dans l'un des deux états, indiquant la relation supérieure ou inférieure entre les entrées. Les comparateurs offrent des temps de commutation très rapides et nombre d'entre eux sont dotés de fonctionnalités supplémentaires (telles qu'un délai de propagation rapide ou des tensions de référence internes) afin d'optimiser la fonction de comparaison. La sortie étant toujours dans l'un des deux états, les comparateurs sont souvent utilisés comme interface entre un circuit analogique et un circuit numérique [4].

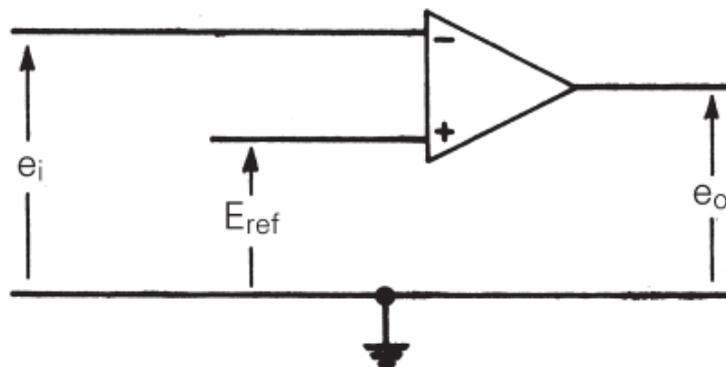


Figure I. 6 Un comparateur simple [1].

I.7.2- Sommateurs

Un amplificateur sommateur possède deux entrées ou plus, et sa tension de sortie est proportionnelle à la valeur négative de la somme algébrique de ses tensions d'entrée.

Un amplificateur sommateur à deux entrées est illustré à la **Figure I.7**, mais il est possible d'utiliser n'importe quel nombre d'entrées. Le fonctionnement du circuit et la dérivation de l'expression de la sortie sont les suivants. Deux tensions, VIN1 et VIN2, sont appliquées aux entrées et produisent des courants I1 et I2, comme illustré. En utilisant les concepts d'impédance d'entrée infinie et de masse virtuelle, vous pouvez déterminer que l'entrée inverseuse de l'amplificateur opérationnel est approximativement à 0 V et n'est traversée par aucun courant. Cela signifie que le courant total IT, qui passe par Rf, se divise en I1 et I2 au point de sommation A, comme l'indique la **Figure I.7**.

$$I_T = I_1 + I_2 \quad I. 4$$

Depuis $V_{out} = -I_T R_f$ les étapes suivantes s'appliquent :

$$V_{out} = -(I_1 + I_2)R_f = -(V_{in1}/R_1 + V_{in2}/R_2) \quad I. 5$$

Si les trois résistances sont égales ($R_1 = R_2 = R_f = R$).

$$V_{out} = -\left(\frac{V_{in1}}{R} + \frac{V_{in2}}{R}\right)R = -(V_{in1} + V_{in2}) \quad I. 6$$

L'équation précédente montre que la tension de sortie a la même amplitude que la somme des deux tensions d'entrée, mais avec un signe négatif, ce qui indique une inversion [4].

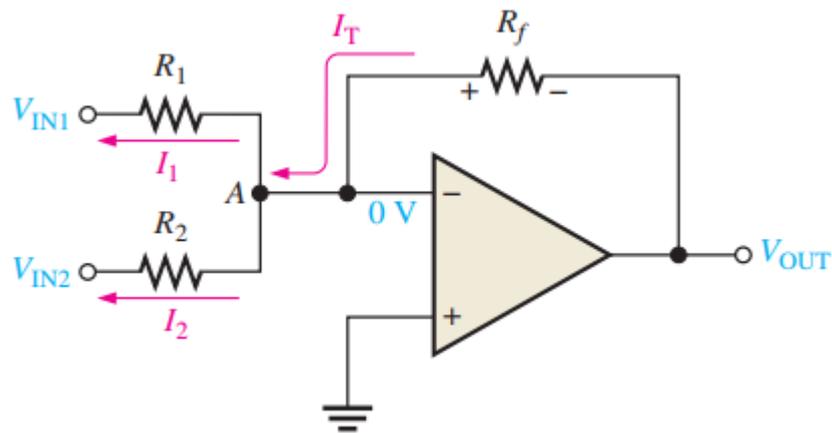


Figure I. 7 Amplificateur sommateur inversé à deux entrées.

Lorsque R_f est plus grand que les résistances d'entrée, l'amplificateur a un gain de R_f / R , où R est la valeur de chaque résistance d'entrée de valeur égale. L'expression générale de la sortie est

$$V_{Out} = \frac{-R_f}{R} (V_{in1} + V_{in2} + \dots + V_{in n}) \quad \text{I. 7}$$

Comme vous pouvez le constater, la tension de sortie a la même valeur que la somme de toutes les tensions d'entrée multipliée par une constante déterminée par le rapport $-(R_f/R)$.

I.7.3- Soustracteur (différentiel)

Un amplificateur de différence est un amplificateur qui ne réagit qu'à la différence entre les deux signaux appliqués à son entrée.

Le circuit de la **Figure I.8** illustre la façon dont un amplificateur opérationnel peut agir de manière différentielle en tant que soustracteur.

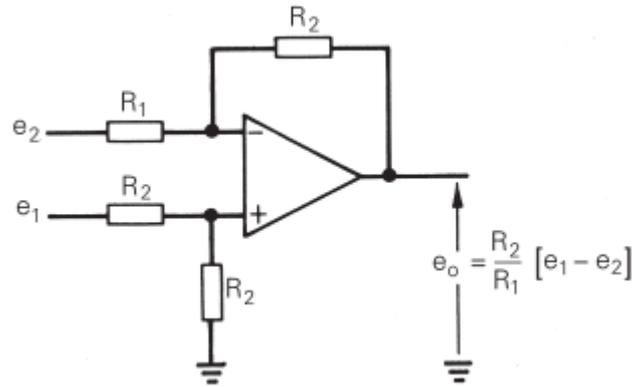


Figure I. 8 Un amplificateur opérationnel idéal comme soustracteur [6].

La tension à la borne d'entrée inverseuse est (par superposition) :

$$e^- = e_2 \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2} \quad \text{I. 8}$$

La tension à l'entrée non inverseuse est :

$$e^+ = e_1 \frac{R_2}{R_1+R_2} \quad \text{I. 9}$$

L'amplificateur opérationnel force $e^- = e^+$

$$\text{Ainsi } e_2 \frac{R_2}{R_1+R_2} + e_o \frac{R_1}{R_1+R_2} = e_1 \frac{R_2}{R_1+R_2} \quad \text{I. 10}$$

$$\text{Ou } e_o = \frac{R_2}{R_1} [e_1 - e_2] \quad \text{I. 11}$$

I.7.4- INTÉGRATEURS ET DIFFÉRENTIATEURS

Un amplificateur opérationnel simule l'intégration mathématique, qui est essentiellement un processus de sommation déterminant l'aire totale sous la courbe d'une fonction.

Un amplificateur opérationnel différentiateur simule la différenciation mathématique, qui est un processus de détermination du taux de variation instantané d'une fonction.

Des intégrateurs et des différentiateurs idéaux sont utilisés pour montrer les principes de base.

Les intégrateurs pratiques ont souvent une résistance supplémentaire en parallèle avec le condensateur de contre-réaction pour éviter la saturation.

Les différentiateurs pratiques peuvent inclure une résistance en série avec le comparateur pour réduire le bruit à haute fréquence [6].

I.7.4.1- L'amplificateur opérationnel intégrateur

I.7.4.1.1- L'intégrateur idéal

Un intégrateur idéal est illustré à la **Figure I.9**. Notez que l'élément de contre-réaction est un condensateur qui forme un circuit RC avec la résistance d'entrée [6].

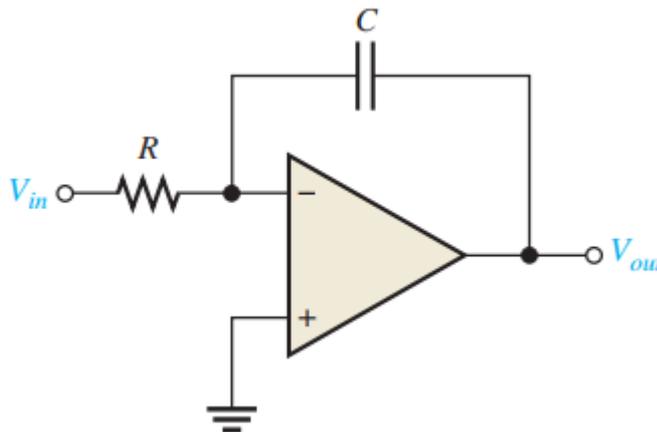


Figure I. 9 Un amplificateur opérationnel intégrateur.

I. 7.4.1.2- L'intégrateur pratique

L'intégrateur idéal utilise un condensateur dans le chemin de contre-réaction, qui est ouvert en courant continu. Cela implique que le gain en c.c. est le gain en boucle ouverte de l'amplificateur opérationnel. Dans un intégrateur pratique, toute tension d'erreur en courant continu due à une erreur de décalage entraînera la production par la sortie d'une rampe qui se déplace vers une saturation positive ou négative (en fonction du décalage), même en l'absence de signal.

Les intégrateurs pratiques doivent disposer d'un moyen de surmonter les effets du décalage et du courant de polarisation. Diverses solutions sont disponibles, telles que les amplificateurs stabilisés par hacheur ; cependant, la solution la plus simple consiste à utiliser une résistance en parallèle avec le condensateur dans le chemin de contre-réaction, comme le montre la **Figure I.10**. La résistance de contre-réaction, R_f , doit être importante par rapport à la résistance d'entrée R_{in} , afin d'avoir un effet négligeable sur la forme d'onde de sortie. En outre, une résistance de compensation, R_c , peut être ajoutée à l'entrée non inverseuse pour équilibrer les effets du courant de polarisation [6].

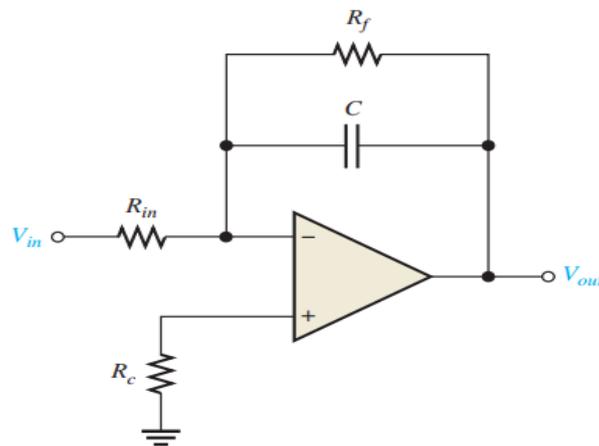


Figure I. 10 intégrateurs pratiques.

I.7.4.2- L'amplificateur opérationnel différentiateur

I.7.4.2.1- Le différentiateur idéal

Un différentiateur idéal est illustré à la **Figure I.11**. Remarquez que l'emplacement du condensateur et de la résistance diffère de celui de l'intégrateur. Le condensateur est maintenant l'élément d'entrée et la résistance est l'élément de contre-réaction. Un différentiateur produit une sortie proportionnelle au taux de variation de la tension d'entrée [6].

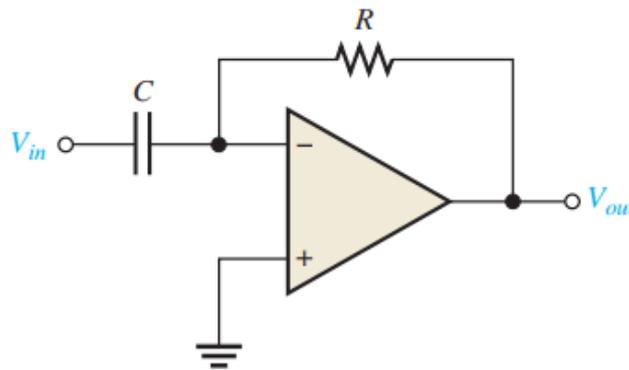


Figure I. 11 différentiateur idéal.

I.7.4.2.1- Le différentiateur pratique

Le différentiateur idéal utilise un condensateur en série avec l'entrée inverseuse. Comme un condensateur a une impédance très faible à haute fréquence, la combinaison de R_f et de C forme un amplificateur à gain très élevé à haute fréquence. Cela signifie qu'un circuit de différentiateur a tendance à être bruyant, car le bruit électrique est principalement constitué de hautes fréquences.

La solution à ce problème consiste simplement à ajouter une résistance R_{in} , en série avec le condensateur, pour agir comme un filtre passe-bas et réduire le gain aux hautes fréquences. La résistance doit être petite par rapport à la résistance de contre-réaction afin d'avoir un effet négligeable sur le signal désiré. La **Figure I.12** montre un différentiateur pratique. Une résistance de compensation de polarisation peut également être utilisée sur l'entrée non inverseuse [6].

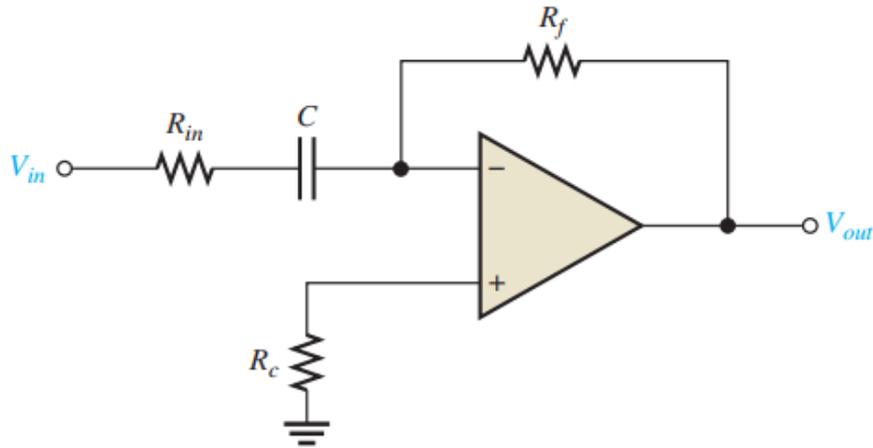


Figure I. 12 différentiateur pratique.

I.8 – Les caractéristiques d'un amplificateur opérationnel

I.8.1- La bande passante d'un amplificateur opérationnel

Tous les appareils électroniques ne fonctionnent que sur une plage limitée de fréquences. Cette plage de fréquences est appelée largeur de bande.

Chaque amplificateur OP a une largeur de bande, c'est-à-dire la plage de fréquences sur laquelle il fonctionne correctement [3].

La bande passante d'un amplificateur OP dépend du gain en boucle fermée du circuit de l'amplificateur OP. Un paramètre important est le produit gain-bande passante (GBW). Il est défini comme suit :

$$A_{CL} \times f_2 = f_{unity} = \text{GBW} \quad \text{I. 12}$$

- Dans lequel

A_{CL} = gain en boucle fermée à la fréquence f_2 .

f_{unity} = fréquence à laquelle le gain en boucle fermée est égal à l'unité.

On peut prouver que le produit gain-bande passante d'un amplificateur opérationnel est constant. Étant donné qu'un amplificateur opérationnel est capable de fonctionner comme un amplificateur à courant continu, sa largeur de bande est de $(f_2 - 0)$. Le produit gain-bande passante d'un amplificateur opérationnel est un paramètre important car il peut être utilisé pour trouver :

- La valeur maximale de A_{CL} à une valeur donnée de f_2 .
- La valeur de f_2 pour une valeur donnée de A_{CL}

I.8.2- Vitesse de balayage

La vitesse de balayage d'un amplificateur opérationnel est une mesure de la vitesse à laquelle la tension de sortie peut changer et se mesure en volts par microseconde ($V/\mu s$). Si la vitesse de balayage d'un amplificateur opérationnel est de $0,5 V/\mu s$, cela signifie que la sortie de l'amplificateur peut changer de $0,5 V$ toutes les μs [3].

La fréquence étant une fonction du temps, la vitesse de balayage peut être utilisée pour déterminer la fréquence maximale de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel de la manière suivante :

$$\text{Fréquence maximale de fonctionnement } f_{max} = \frac{\text{Slew rate}}{2\pi V_{pk}} \quad \text{I. 13}$$

Ici, V_{pk} est la tension de sortie maximale.

I.8.3- Réponse en fréquence d'un amplificateur opérationnel

La fréquence de fonctionnement a un effet significatif sur le fonctionnement d'un amplificateur opérationnel. Voici les points importants concernant la réponse en fréquence d'un amplificateur opérationnel :

La fréquence maximale de fonctionnement d'un amplificateur opérationnel donnée par l'équation I. 14

Ainsi, la tension de sortie maximale limite la fréquence maximale de fonctionnement.

Lorsque la fréquence maximale de fonctionnement d'un amplificateur opérationnel est dépassée, il en résulte une forme d'onde de sortie déformée [3].

L'augmentation de la fréquence de fonctionnement d'un amplificateur opérationnel au-delà d'un certain point entraîne :

- Diminuer l'amplitude maximale de la tension de sortie.
- Diminuer le gain de tension en boucle ouverte.
- Diminuer l'impédance d'entrée.
- Augmenter l'impédance de sortie.

1.8.4- Le gain

Le gain d'un amplificateur opérationnel détermine la précision du système de contre-réaction employant l'amplificateur opérationnel.

Le gain requis peut varier de quatre ordres de grandeur en fonction de l'application. En négociant avec des paramètres tels que la vitesse et les variations de tension de sortie, le gain minimum requis doit donc être connu. Un gain élevé en boucle ouverte peut également être nécessaire pour supprimer la non-linéarité [13].

I.9 - Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'amplificateur opérationnel, son historique, ses caractéristiques, ses paramètres et ses différentes configurations de circuit.

Dans le prochain chapitre, nous nous concentrerons sur les applications spécifiques de l'amplificateur opérationnel, telles que les oscillateurs et les filtres. De plus, nous examinerons les concepts liés aux câbles coaxiaux, qui jouent un rôle essentiel dans la mise en pratique de ces circuits.

Chapitre II

Notions sur les différentes maquettes réalisées

Sommaire

II.1 – Introduction	24
II.2 –les oscillateurs	24
II.2 .1- Conditions d'oscillation	25
II.2 .2- Le générateur de forme d'onde 8038	26
II.3 – les filtres.....	27
II.3 .1- Classification des filtres	28
II.3 .2- Filtres de Sallen-Key.....	29
II.4 – Les lignes de transmission.....	30
II.4.1 – Cable coaxial.....	30
II.4 – conclusion	31

II.1 – Introduction

Dans ce deuxième chapitre, nous explorons la théorie sous-jacente aux maquettes que nous avons réalisées, en mettant en avant les oscillateurs et les filtres basés sur un amplificateur opérationnel. Nous nous intéressons particulièrement aux filtres de type Sallen-Key.

Nous explorons également les oscillateurs commandés en tension (VCO), qui sont des oscillateurs dont la fréquence peut être modifiée par une tension de commande variable en courant continu.

Enfin, nous abordons également les lignes de transmission, avec une attention particulière portée aux câbles coaxiaux.

II.2 –les oscillateurs

Les oscillateurs sont des sources de signaux. Il est souvent nécessaire de générer des formes d'ondes dont la fréquence et l'amplitude sont connues. On pense d'abord à un générateur de signaux de laboratoire, mais il existe de nombreuses autres applications. Les sources de signaux sont nécessaires pour créer et recevoir des signaux de radio et de télévision, pour chronométrer des événements et pour créer de la musique électronique, entre autres.

Les oscillateurs peuvent produire des fréquences très basses (une fraction de cycle par seconde) ou très élevées (micro-ondes, > 1 GHz).

Les oscillateurs utilisant des amplificateurs opérationnels sont généralement utilisés dans la zone inférieure à 1 MHz. Des circuits linéaires spécialisés peuvent être utilisés à des fréquences beaucoup plus élevées. La forme de l'onde de sortie peut être sinusoïdale, triangulaire, pulsée ou d'une autre forme **Figure II.1**.

Les oscillateurs peuvent généralement être classés en deux grandes catégories : à fréquence fixe ou variable. Pour de nombreux oscillateurs à fréquence fixe, la précision absolue et l'absence de dérive sont primordiales. Pour les oscillateurs variables, la facilité de réglage et la répétabilité sont généralement importantes. En outre, un oscillateur à fréquence variable peut ne pas être directement contrôlé par la main de l'homme, mais être accordé par un autre circuit.

L'oscillateur commandé par tension (VCO) est un oscillateur dont la fréquence peut être modifiée par une tension de commande variable en courant continu. Les VCO peuvent être soit sinusoïdaux, soit non sinusoïdaux [4].

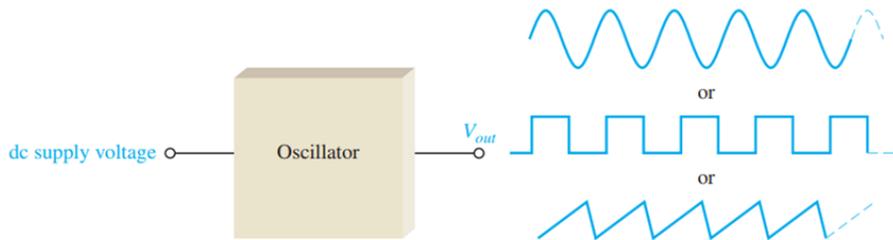


Figure II. 1 oscillateur [4]

II.2 .1- Conditions d'oscillation

Deux conditions, illustrées dans la **Figure II.2**, sont requises pour un état d'oscillation durable :

1. Le déphasage autour de la boucle de contre-réaction doit être effectivement de 0° .
2. Le gain en tension, aro A_{cl} , et la boucle de contre-réaction fermée (gain de boucle) doivent être égaux à 1 (unité) [6].

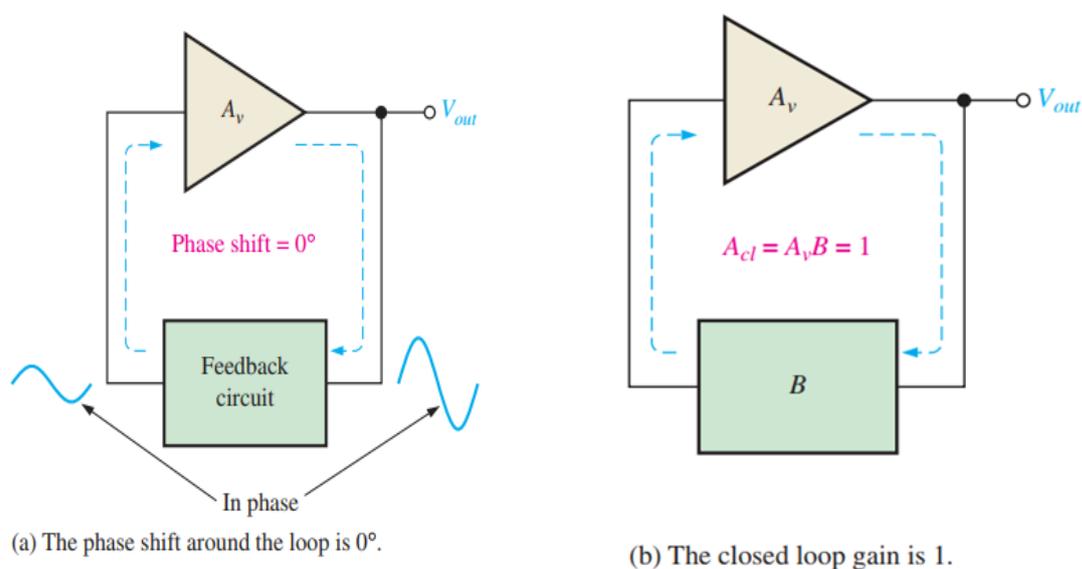


Figure II. 2 les Conditions générales pour maintenir l'oscillation [6].

II.2 .2- Le générateur de forme d'onde 8038

Le générateur de forme d'onde ICL8038 est un oscillateur contrôlé par tension (VCO) à circuit intégré, qui peut générer des fréquences allant jusqu'à 1 MHz. Un développement plus récent a été le Maxim MAX038, qui peut générer des fréquences jusqu'à 20 MHz. Les deux versions sont appelées 8038 car, en dehors de leur plage de fréquence de fonctionnement, leur fonctionnalité est identique [1].

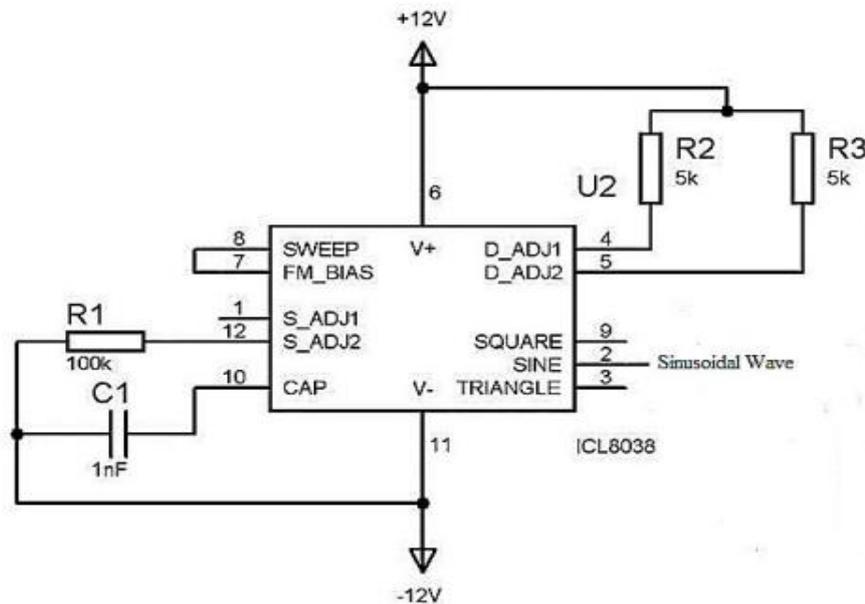


Figure II. 3 ICL8038 comme circuit de VCO. [10]

Le générateur de forme d'onde 8038 fournit des formes d'onde de sortie triangulaires et sinusoïdales. La forme d'onde triangulaire provient du fait que le condensateur de synchronisation est chargé et déchargé à l'aide de circuits à courant constant. La forme d'onde sinusoïdale est produite par un circuit interne de mise en forme sinusoïdale.

La **Figure II.4** présente un schéma fonctionnel simplifié des dispositifs 8038. Le dispositif contient deux sources de courant I1 et I2, dont la valeur est fixée par les résistances externes RA et RB, respectivement. Un contrôle secondaire de I1 et I2 est assuré par la tension appliquée à la broche 8 du circuit intégré (entrée de balayage FM). Si les broches 7 et 8 sont connectées ensemble, la tension d'entrée du balayage FM est

fixée à une valeur de 4/5V cc par un diviseur de potentiel interne, ce qui rend la fréquence indépendante de la tension d'alimentation [1].

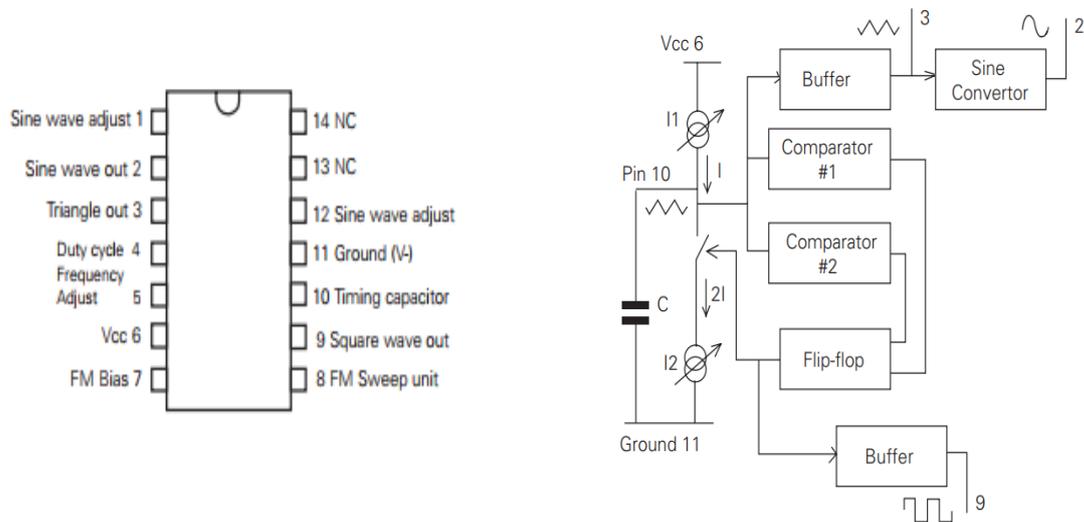


Figure II. 4 Schéma fonctionnel du 8038 et brochage du circuit intégré [1]

II.3 – les filtres

D'une manière générale, un filtre est un circuit qui empêche le transfert d'une gamme spécifique de fréquences. Inversement, on peut considérer un filtre comme un circuit qui ne laisse passer que certaines fréquences.

Les filtres sont utilisés pour éliminer les composantes de fréquence indésirables d'un signal d'entrée complexe. Les utilisations de cette opération sont nombreuses, notamment la suppression du bourdonnement des lignes électriques, la réduction des interférences et du bruit à très basse ou haute fréquence, et la mise en forme spectrale spécialisée.

Une utilisation très courante des filtres est la limitation de la bande passante, qui fait partie intégrante de tout système de conversion analogique-numérique.

Il existe de nombreuses variantes dans la conception et la mise en œuvre des filtres. En effet, une discussion approfondie sur les filtres pourrait facilement remplir plus d'un manuel [7].

II.3 .1- Classification des filtres

Les filtres sont classés en fonction de leur réponse en fréquence, qui représente la variation de l'amplitude en fonction de la fréquence. Cette variation de l'amplitude est considérée comme le critère le plus important. Une illustration des différents types de filtres est présentée dans la **Figure II.5**

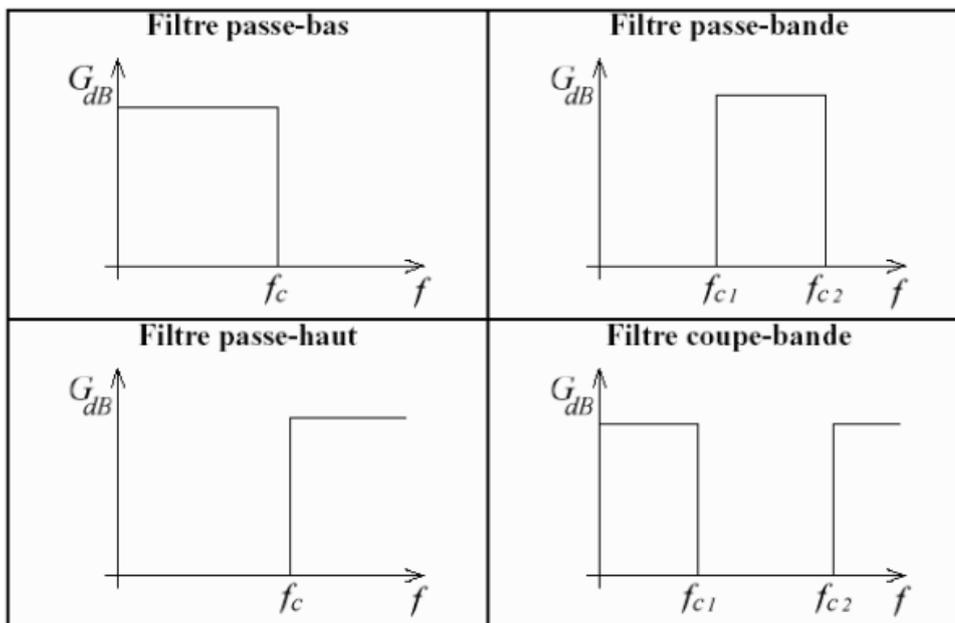


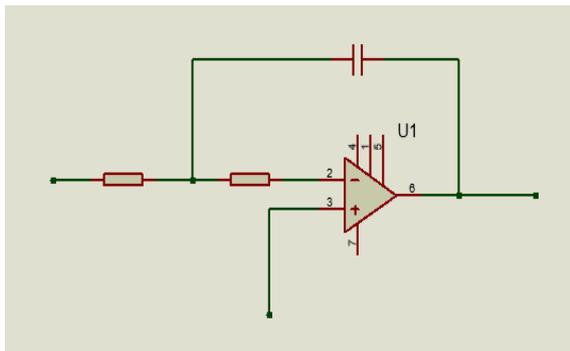
Figure II. 5 Différents types de filtres [8]

Dans la **Figure II.5**, les courbes idéales illustrent les quatre types principaux de filtres. Les deux premiers, à savoir le filtre passe-bas et le filtre passe-haut, possèdent une bande passante et une bande atténuée. La fréquence qui marque la transition entre ces deux bandes est appelée fréquence de coupure. Ces filtres tirent leur nom de la région où les fréquences sont transmises de l'entrée à la sortie : le filtre passe-bas laisse passer les fréquences plus basses, tandis que le filtre passe-haut laisse passer les fréquences plus élevées. Il est important de noter que les termes "bas" et "haut" sont relatifs et font référence uniquement à la fréquence de coupure.

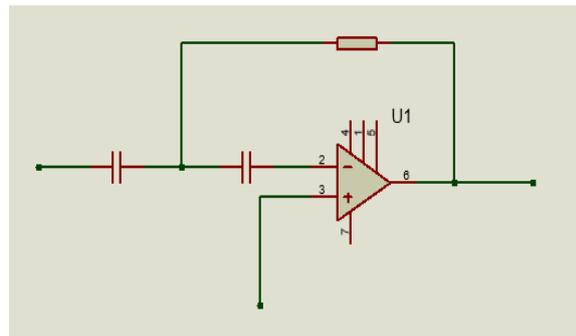
Les deux autres types de filtres présentent deux fréquences de coupure. Le filtre passe-bande permet uniquement le passage des fréquences situées entre ces deux fréquences de coupure, tandis que le filtre de rejet (ou filtre coupe-bande) laisse passer toutes les fréquences, à l'exception de celles qui se situent entre les deux fréquences de coupure [8].

II.3 .2- Filtres de Sallen-Key

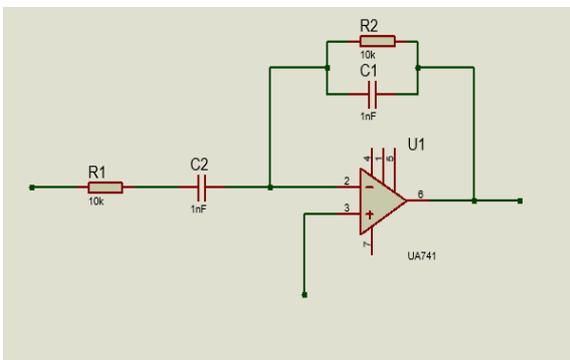
Il existe de nombreuses façons de construire des filtres actifs. Un circuit d'usage général qui est largement utilisé est celui de Sallen Key. Nous appelons le circuit de Sallen Key VCVS parce qu'il utilise un amplificateur opérationnel et deux résistances connectées de manière à constituer une source de tension contrôlée (VCVS). Une source de tension contrôlée (VCVS). Une telle configuration offre une bonne stabilité, nécessite un nombre minimal d'éléments et présente une faible impédance [9].



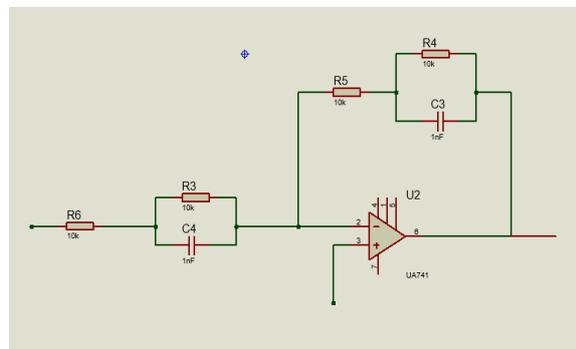
a) filtre passe-bas



b) filtre passe-haut



c) filtre passe-bande



d) filtre coupe-bande

Figure II. 6 Différents types de filtres sallen key

II.4 – Les lignes de transmission

En ingénierie des communications et de l'électronique, une ligne de transmission est un câble spécialisé conçu pour transférer du courant alternatif de fréquence radio, c'est-à-dire des courants dont la fréquence est suffisamment élevée pour que leur nature ondulatoire soit prise en compte. Les lignes de transmission sont utilisées à des fins telles que la connexion des émetteurs et des récepteurs radio avec leurs antennes, la distribution des signaux de télévision par câble et les connexions aux réseaux informatiques. Les lignes de transmission peuvent être réalisées de différentes manières. Le câble coaxial en est un exemple courant [14].

II.4.1 – Cable coaxial

Le câble coaxial est constitué d'un fil central, entouré d'une gaine isolante en PVC. Le blindage est normalement maintenu à la terre.

Normalement, le blindage est maintenu au potentiel de la terre. Il est ensuite entouré d'une maille de cuivre souvent constituée de fils tressés.

Le diélectrique interne sépare l'âme et le blindage. Le fil central transporte le signal RF et le blindage extérieur sert à empêcher le signal RF de rayonner dans l'atmosphère et à empêcher les signaux extérieurs d'interférer avec le signal transporté par l'âme.

Le signal électrique se déplace toujours le long de la couche extérieure du conducteur central et, par conséquent, plus le conducteur central est grand, mieux le signal circule.

Le câble coaxial est un bon choix pour transporter des signaux faibles qui ne peuvent tolérer les interférences de l'environnement ou pour des signaux électriques plus élevés qui ne doivent pas pouvoir rayonner ou se coupler à des structures ou circuits adjacents [15].

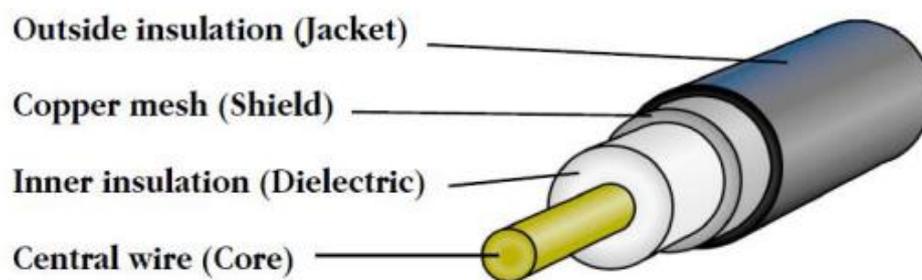


Figure II. 7 Structure interne du câble [14].

Les câbles coaxiaux sont parmi les lignes de transmission les plus importantes étudiées dans le domaine des télécommunications, et il est crucial d'acquérir une connaissance pratique à leur sujet.

Une grande variété de travaux pratiques portant sur les câbles coaxiaux sont effectués en utilisant la maquette d'adaptateur coaxial.

II.4 – conclusion

En conclusion de ce chapitre, nous avons exploré en détail la théorie des oscillateurs et des filtres basés sur les amplificateurs opérationnels. De plus, nous avons examiné les oscillateurs commandés en tension (VCO). Nous avons également étudié les filtres de type Sallen-Key et les lignes de transmission.

En résumé, ces deux chapitres nous a permis d'approfondir nos connaissances sur les oscillateurs les filtres à base d'amplificateurs opérationnels et les ligne de transmission. Ces concepts jouent un rôle fondamental dans de nombreuses applications électroniques. Dans le prochain chapitre, nous aborderons la mise en pratique de ces connaissances à travers la réalisation de maquettes, en mettant l'accent sur les aspects pratiques et les résultats expérimentaux.

CHAPITRE III

Conception et Réalisation

Sommaire

III.1 - Introduction	34
III.2 - La maquette d'AOP	34
III.2.1 - Différentiel	35
III.2.2 - Différentiateur	36
III.2.3 - Suiveur	38
III.2.4 - Intégrateur	39
III.2.5 - Inverseur	41
III.2.6 - Non inverseur	43
III.2.7 - Sommateur	44
III.3 - La maquette de filtrage 01	46
III.3.1 - Filtre passe-bas	47
III.3.2 - Filtre passe-haut	49
III.3.3 - Filtre passe-bande	52
III.4 - La maquette de filtrage 02	55
III.4 - la maquette d'oscillateur	62
III.5 - maquette d'adaptateur coaxial	64
III.6 - Conclusion	70

III.1 - Introduction

Dans ce troisième chapitre, nous aborderons la simulation, les tests et le prototypage de circuits basés sur des amplificateurs opérationnels. La simulation sera effectuée à l'aide de l'outil logiciel Proteus. Les circuits seront ensuite testés sur une plaque d'essai avant de passer à la réalisation des maquettes finales.

On pourra ainsi réaliser les montages suivants : comparateur, différentiel, inverseur, non inverseur, intégrateur, différentiateur, sommateur inverseur, suiveur, oscillateur à résistance négative sur nos maquettes.

III.2 - La maquette d'AOP

La **Figure III.1** façade de maquette d'AOP et le circuit intérieur

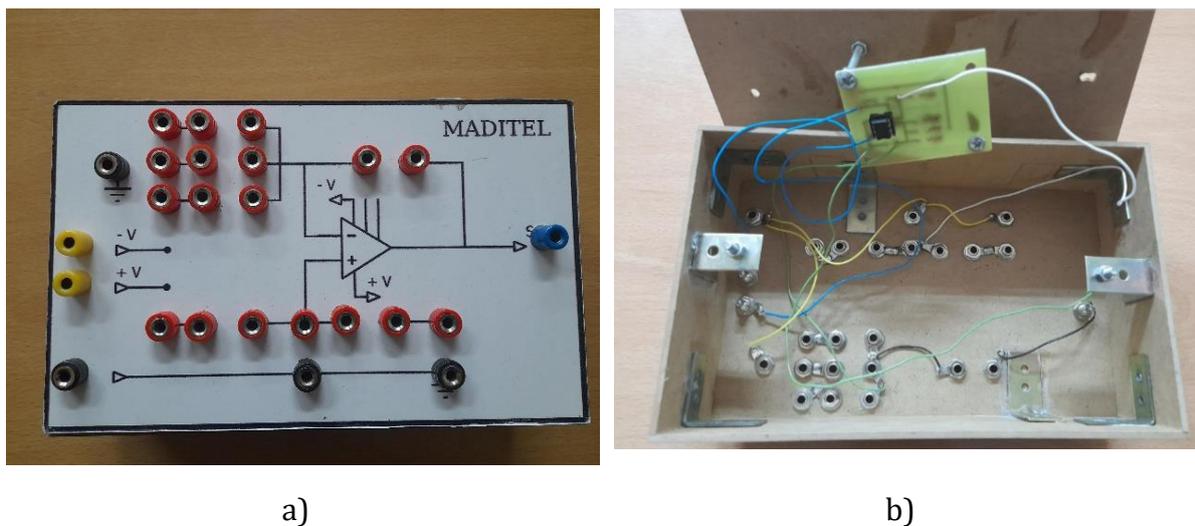
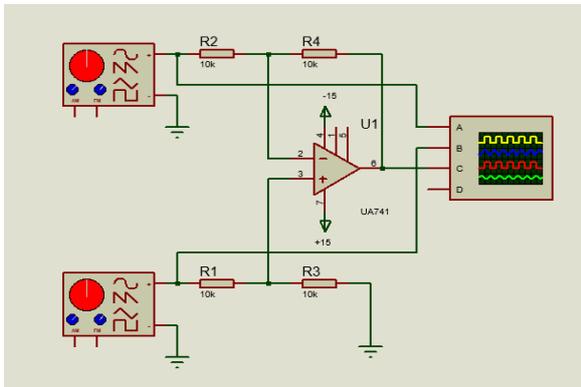


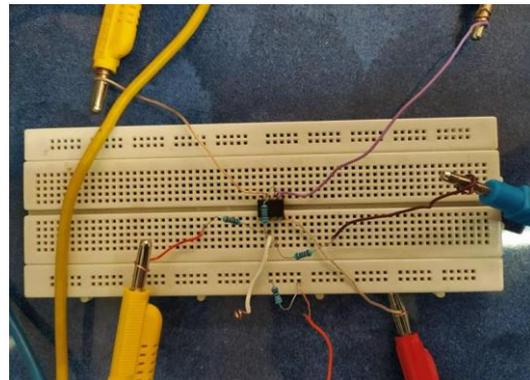
Figure III. 1 a) la façade de maquette d'AOP b) le circuit intérieur de maquette d'AOP

III.2.1 - Différentiel

La Figure III.2 le schéma bloc et le circuit électronique de différentiel



a)



b)

Figure III. 2 a) schéma bloc de différentiel b) le circuit électronique de différentiel

La Figure III.3 le montage de différentiel

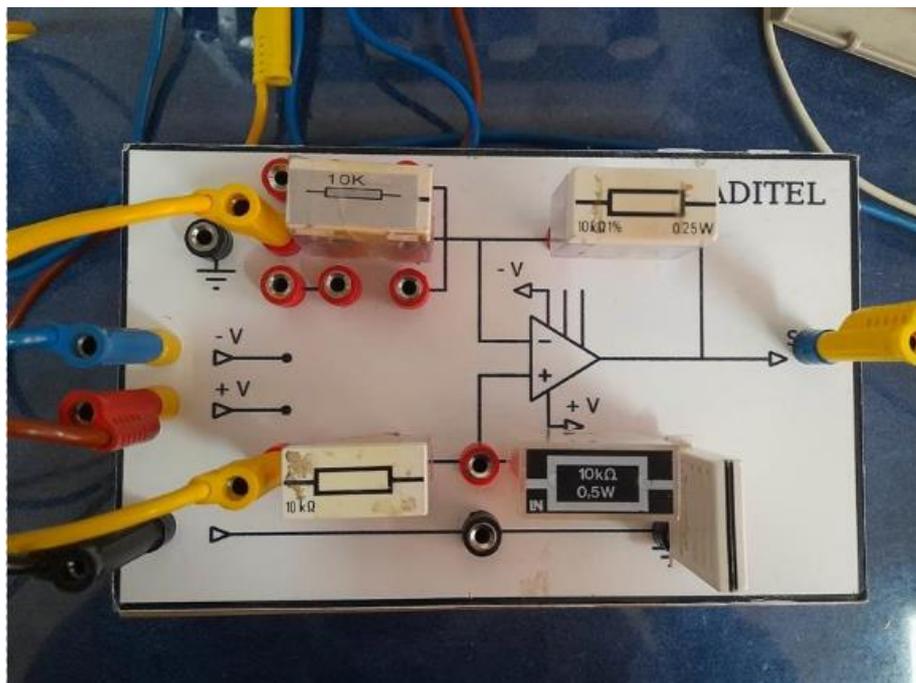


Figure III. 3 le montage de différentiel

La **Figure III.4** les résultats de simulation et de réalisation de différentiel

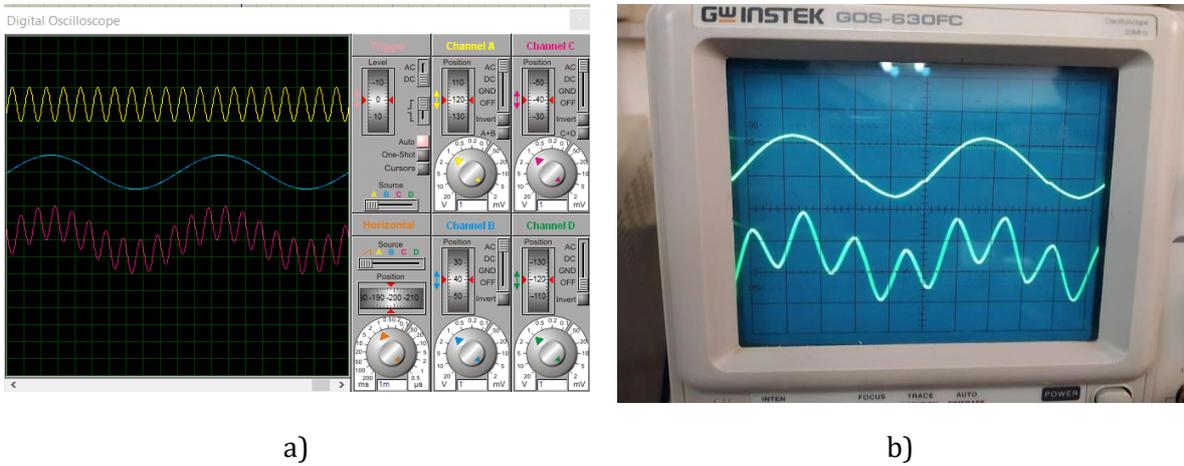


Figure III. 4 a) la simulation de différentiel b) signaux visualisés sur l'oscilloscope

- Le résultat de différentiel est la différence entre les fréquences d'entrantes.
- On voit que les deux résultats de simulation et de réalisation sont identiques.

III.2.2 - Différentiateur

La **Figure III.5** le schéma bloc et le circuit électronique de différentiateur

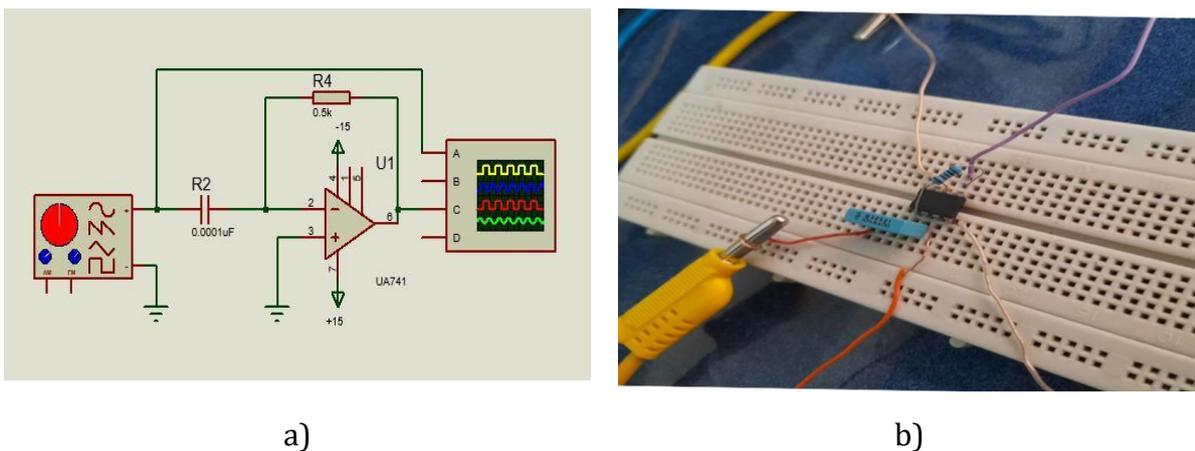


Figure III. 5 a) schéma bloc de différentiateur b) le circuit électronique de différentiateur

La **Figure III.6** le montage de différentiateur

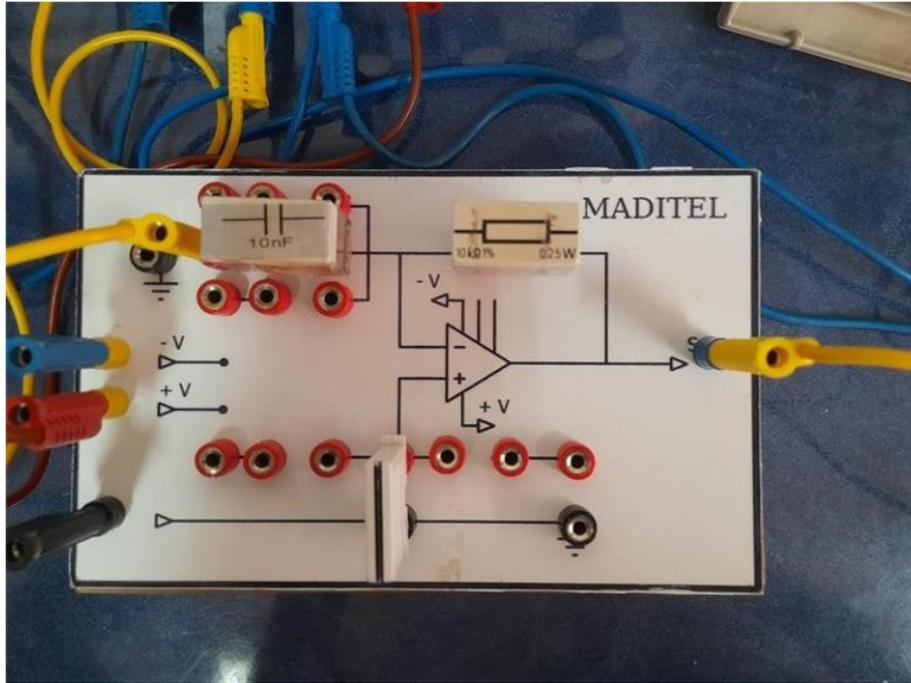
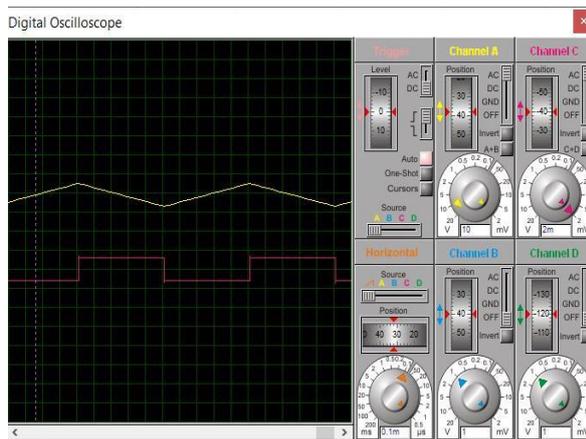
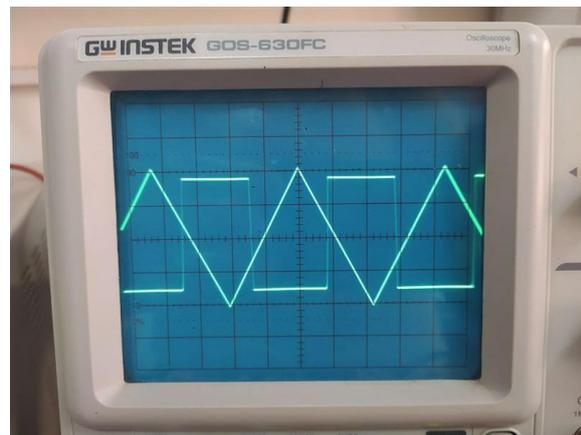


Figure III. 6 le montage de différentiateur

La **Figure III.7** les résultats de simulation et de réalisation de différentiateur



a)



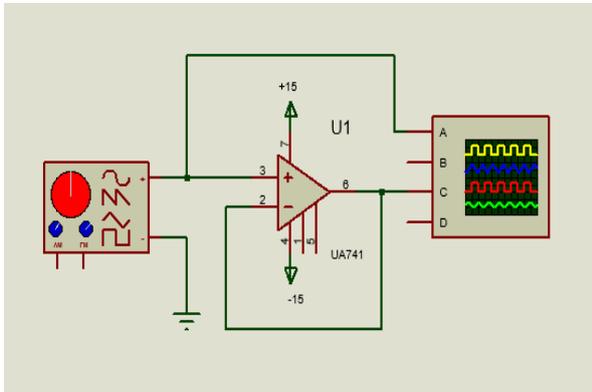
b)

Figure III. 7 a) la simulation de différentiateur b) signaux visualisés sur l'oscilloscope

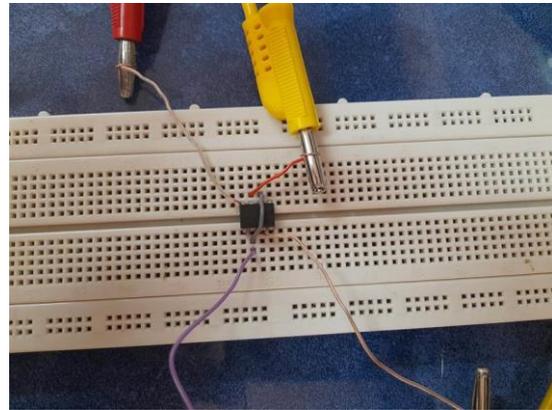
- Le résultat de différentiateur est la dérivation de la fréquence d'entrée.
- On voit que les deux résultats de simulation et de réalisation sont identiques.

III.2.3 - Suiveur

La Figure III.8 le schéma bloc et le circuit électronique de suiveur



a)



b)

Figure III. 8 schéma bloc de suiveur b) le circuit électronique de suiveur

La Figure III.9 le montage de suiveur

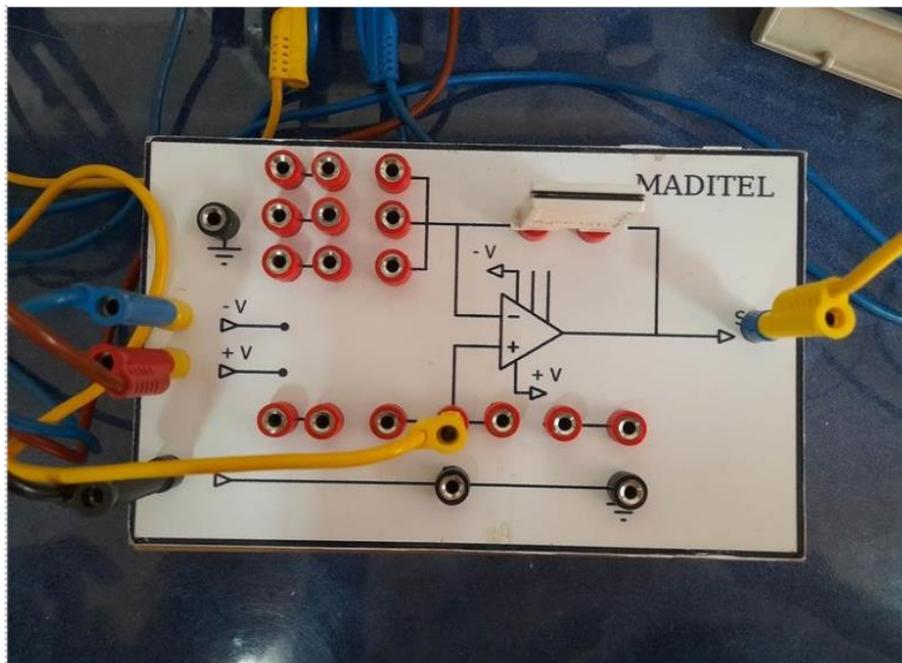
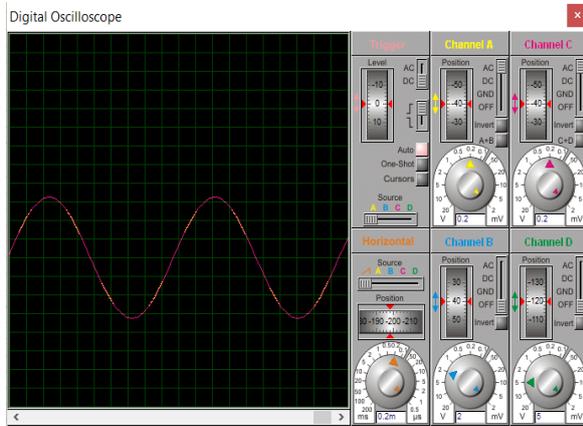
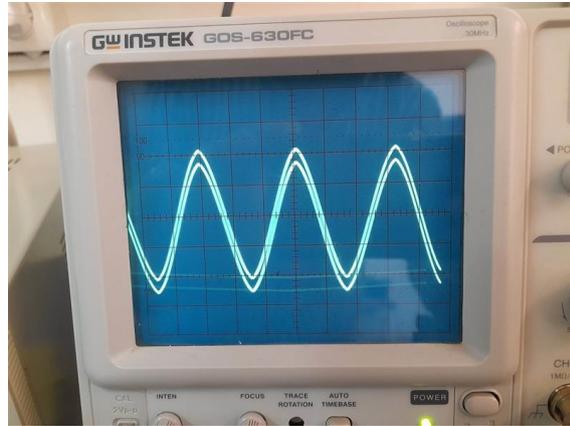


Figure III. 9 le montage de suiveur

La **Figure III.10** les résultats de simulation et de réalisation de suiveur



a)



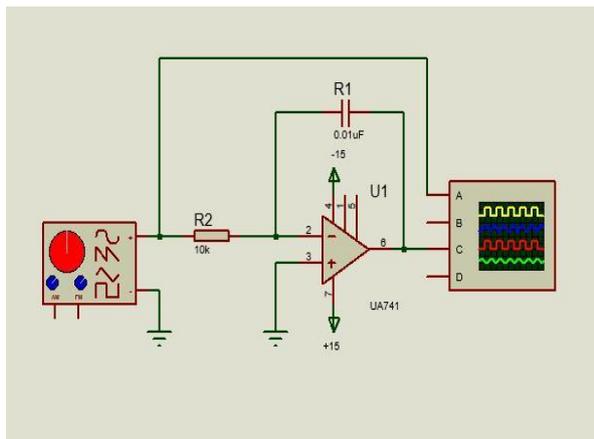
b)

Figure III. 10 a) la simulation de suiveur b) signaux visualisés sur l'oscilloscope

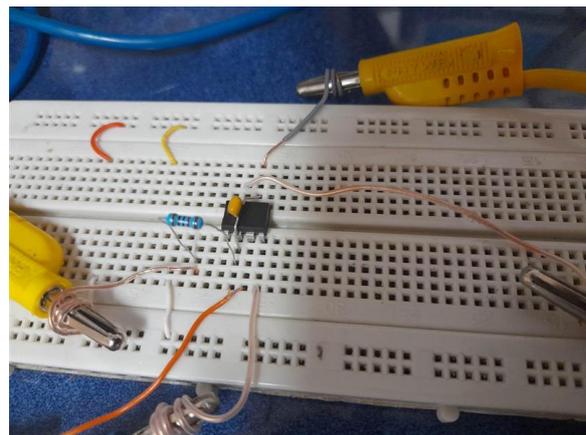
- Le résultat de suiveur est la fréquence d'entrée.
- On voit que les deux résultats de simulation et de réalisation sont identiques.

III.2.4 - Intégrateur

La **Figure III.11** le schéma bloc et le circuit électronique d'intégrateur



a)



b)

Figure III. 11 a) schéma bloc d'intégrateur b) le circuit électronique d'intégrateur

La Figure III.12 le montage d'intégrateur

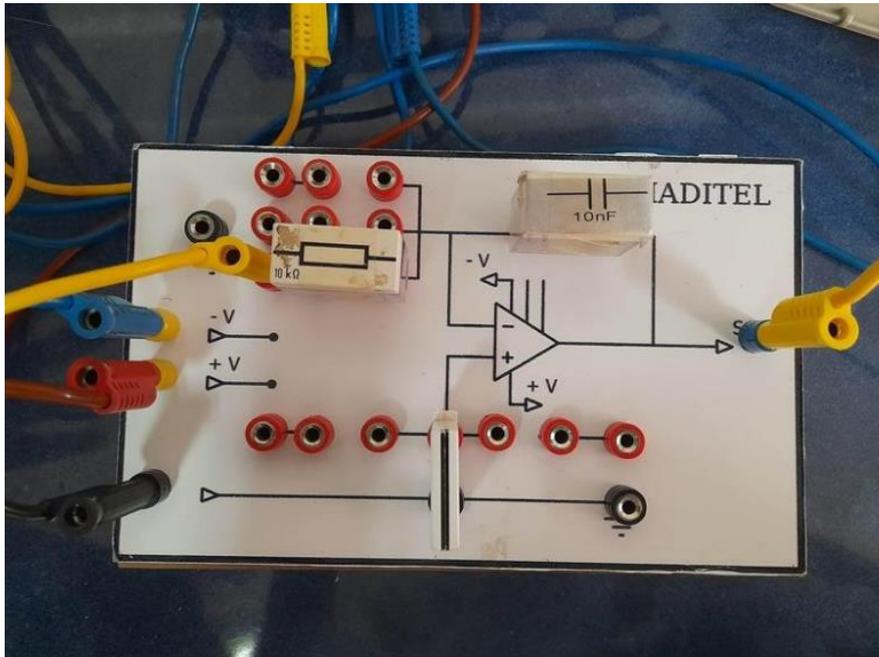


Figure III. 12 le montage d'intégrateur

La Figure III.13 les résultats de simulation et de réalisation d'intégrateur

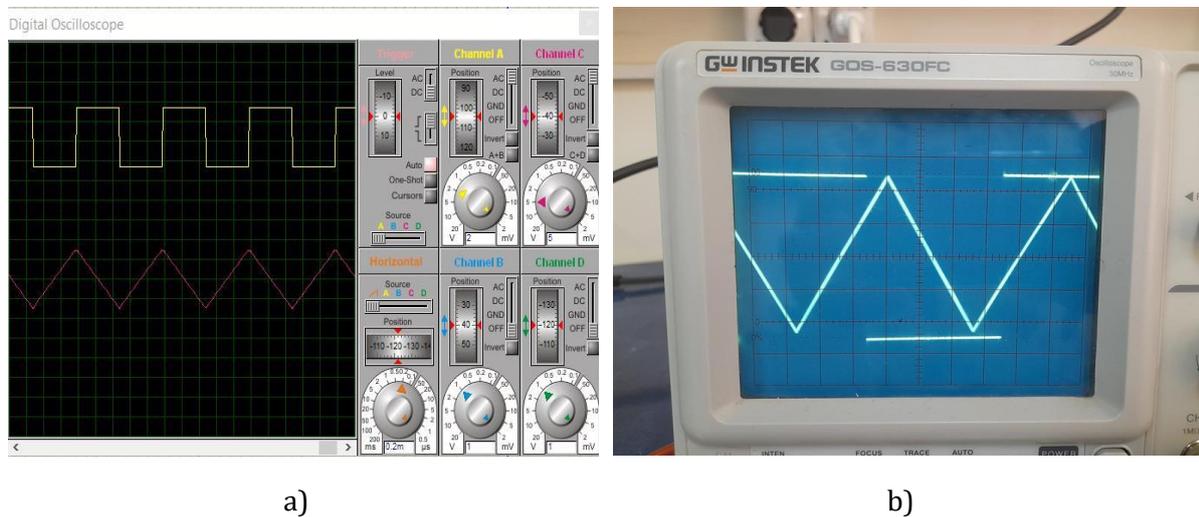


Figure III. 13 a) la simulation d'intégrateur b) signaux visualisés sur l'oscilloscope

- Le résultat d'intégrateur est l'intégrale de la fréquence d'entrée.
- On voit que les deux résultats de simulation et de réalisation sont identiques.

III.2.5 - Inverseur

La Figure III.14 le schéma bloc et le circuit électronique d'inverseur

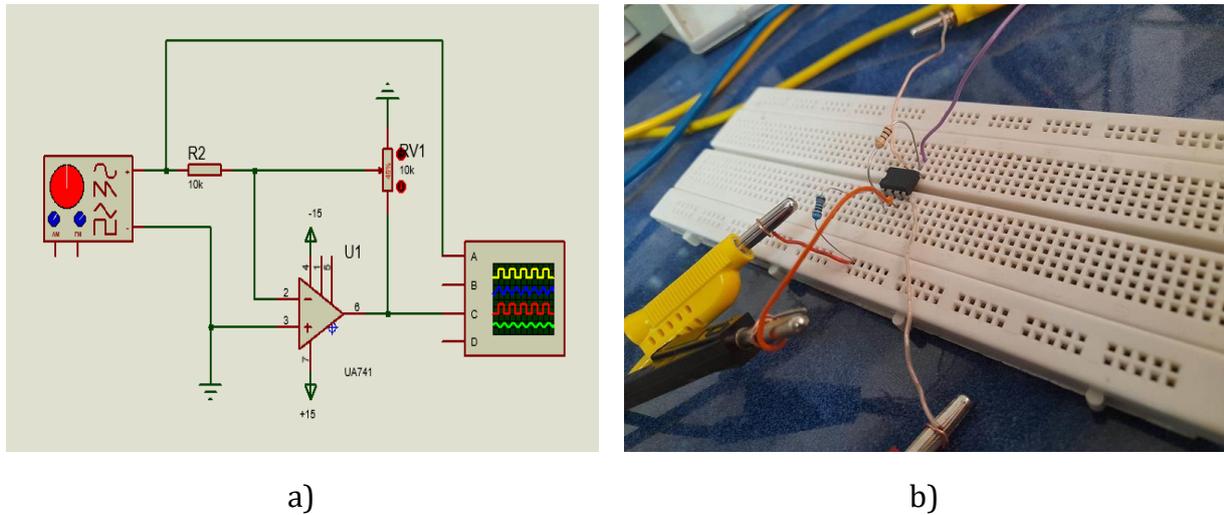


Figure III. 14 a) schéma bloc d'inverseur b) le circuit électronique d'inverseur

La Figure III.15 le montage intérieur d'inverseur

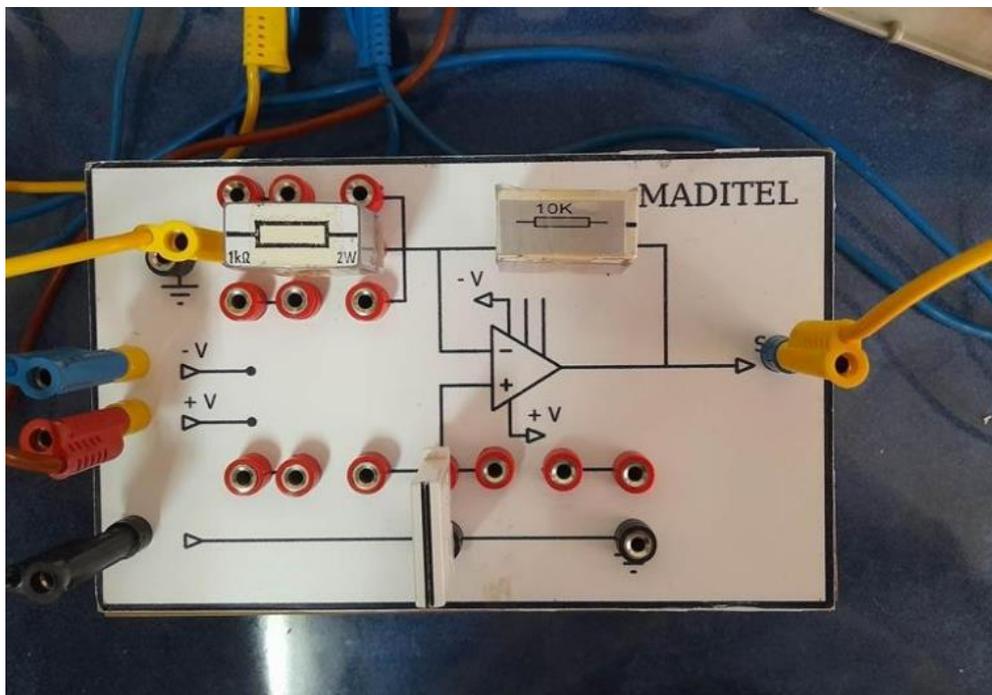


Figure III. 15 le montage d'inverseur

La **Figure III.16** les résultats de simulation et de réalisation d'inverseur

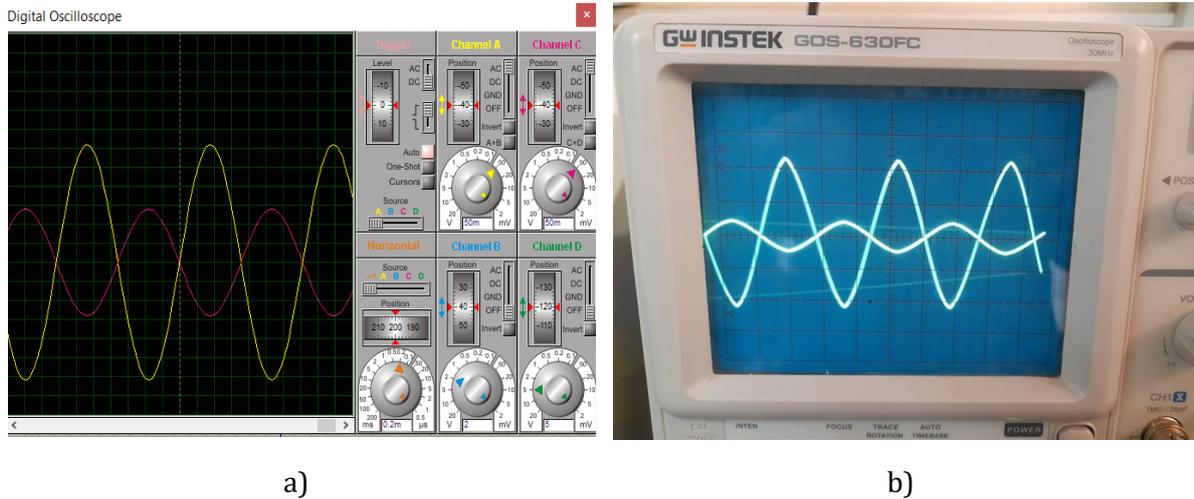


Figure III. 16 la simulation d'inverseur b) signaux visualisés sur l'oscilloscope

- Le résultat d'inverseur est l'inverse de la fréquence d'entrée.
- On voit que les deux résultats de simulation et de réalisation sont identiques.

III.2.6 - Non inverseur

La **Figure III.17** le schéma bloc et le circuit électronique de non inverseur

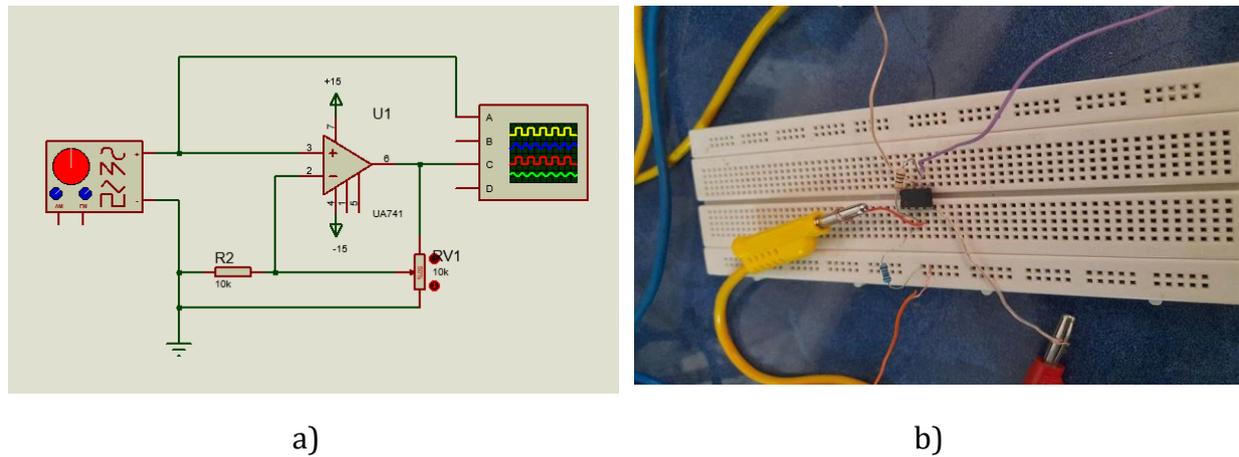


Figure III. 17 a) schéma bloc de non inverseur b) le circuit électronique de non inverseur

La **Figure III.18** le montage de non inverseur

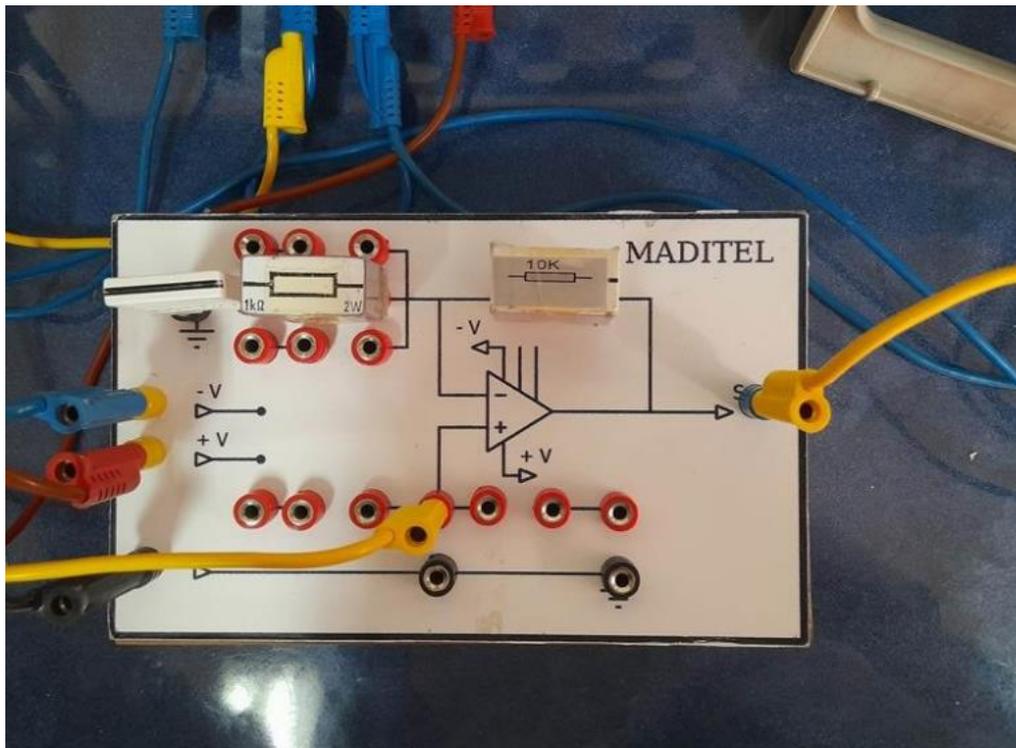
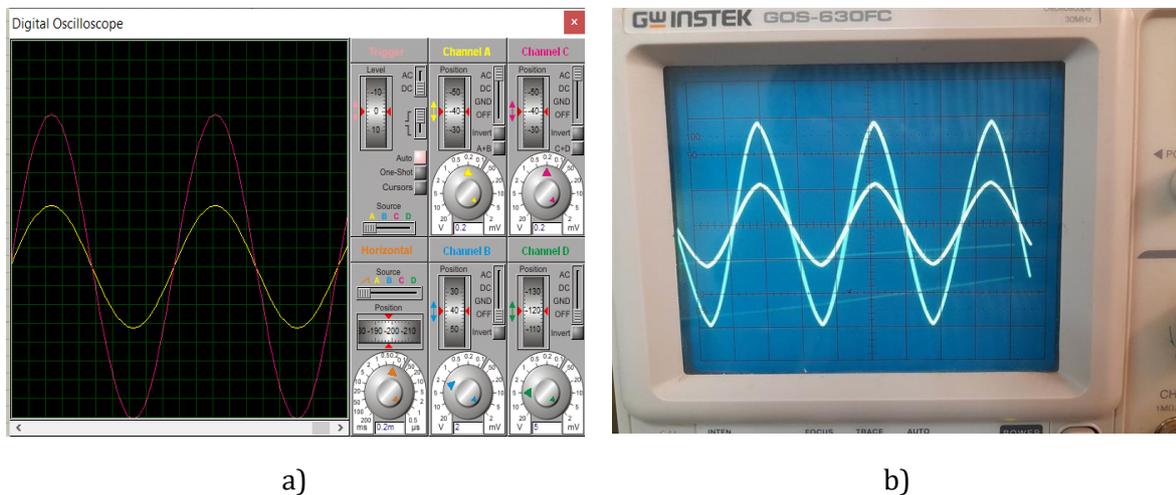


Figure III. 18 le montage de non inverseur

La **Figure III.19** les résultats de simulation et de réalisation de non inverseur



a)

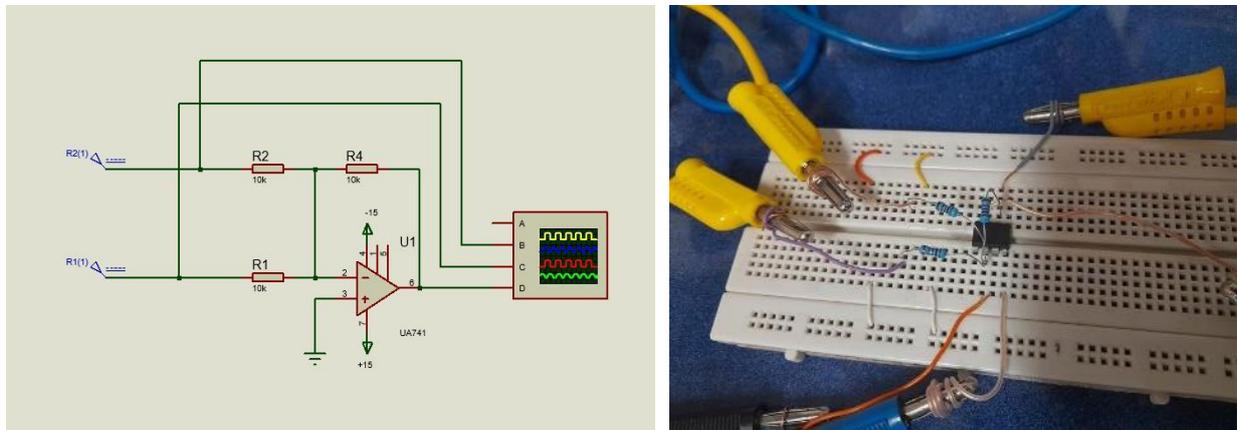
b)

Figure III. 19 a) la simulation de non inverseur b) signaux visualisés sur l'oscilloscope

- Le résultat de non inverseur est la fréquence d'entrée amplifiée.
- On voit que les deux résultats de simulation et de réalisation sont identiques.

III.2.7 - Sommateur

La Figure III.20 le schéma bloc et le circuit électronique de sommateur



a)

b)

Figure III. 20 a) schéma bloc de sommateur b) le circuit électronique de sommateur

La Figure III.21 le montage de sommateur

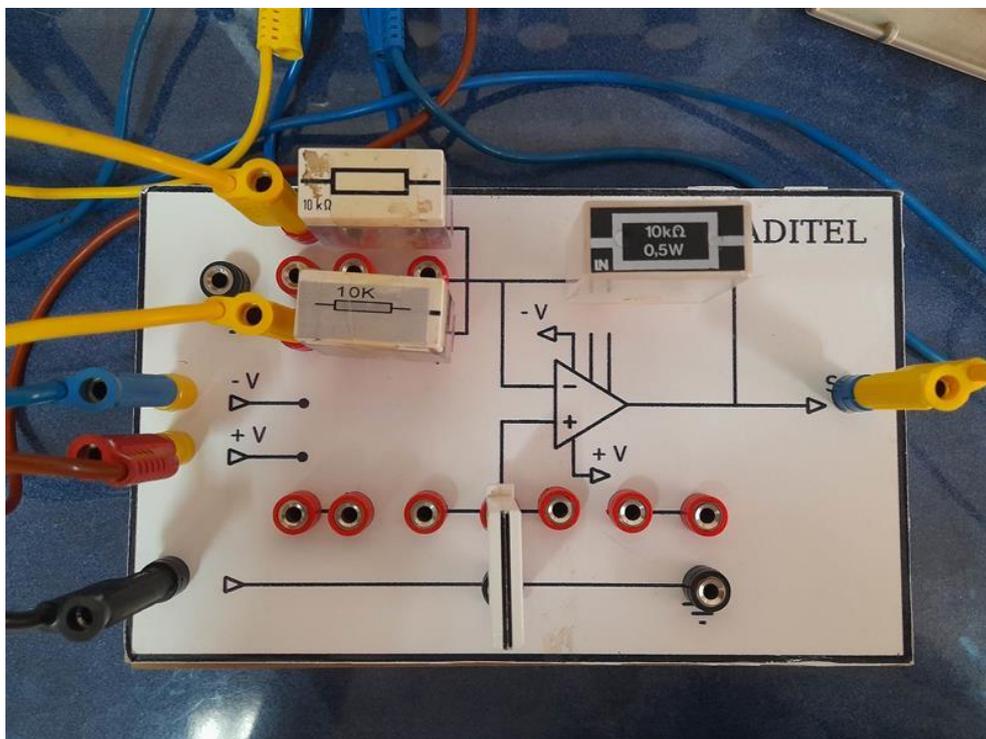
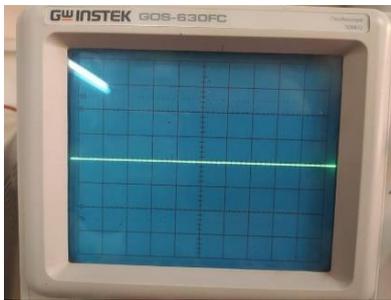


Figure III. 21 le montage de sommateur

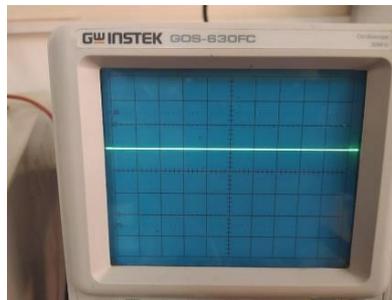
La **Figure III.22** les résultats de simulation et de réalisation de sommateur



a)



b)



c)



d)

Figure III. 22 a) la simulation de sommateur b) entré v1 de sommateur c) entré v2 de sommateur d) le résultat de sommateur

- Le résultat de sommateur est la somme entre les fréquences entrantes.
- On voit que les deux résultats de simulation et de réalisation sont identiques.

III.3 - La maquette de filtrage 01

La **Figure III.23** la façade de maquette de filtrage 01 et le circuit intérieur

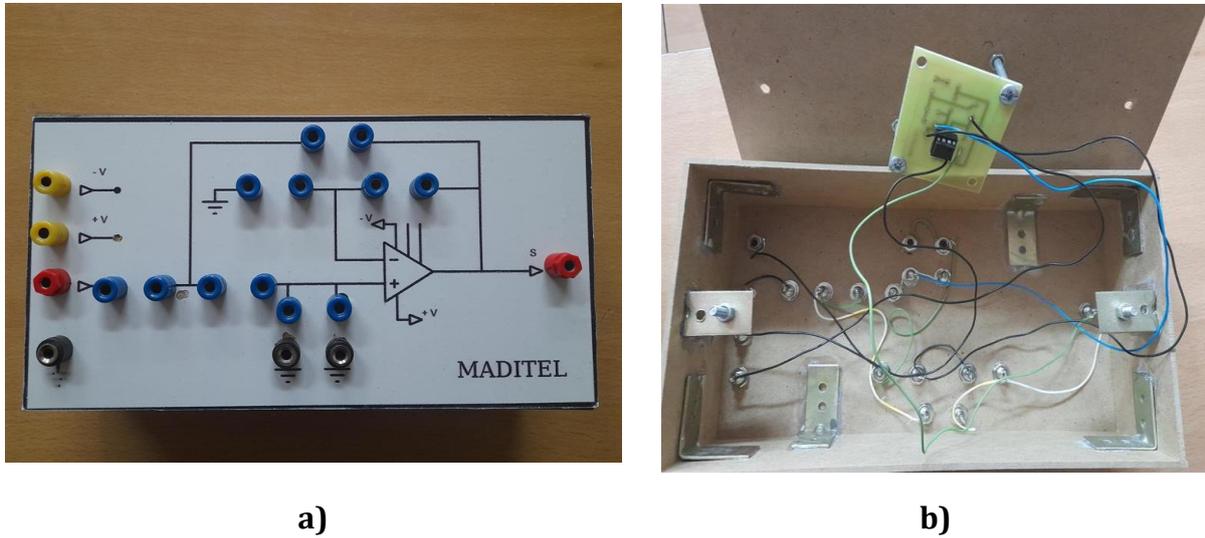


Figure III. 23 a) la façade de maquette de filtrage 01 b) le circuit intérieur de maquette de filtrage 01

III.3.1 - Filtre passe-bas

La **Figure III.24** le schéma bloc et le circuit électronique d'un filtre passe-bas de *Sallen & Key*

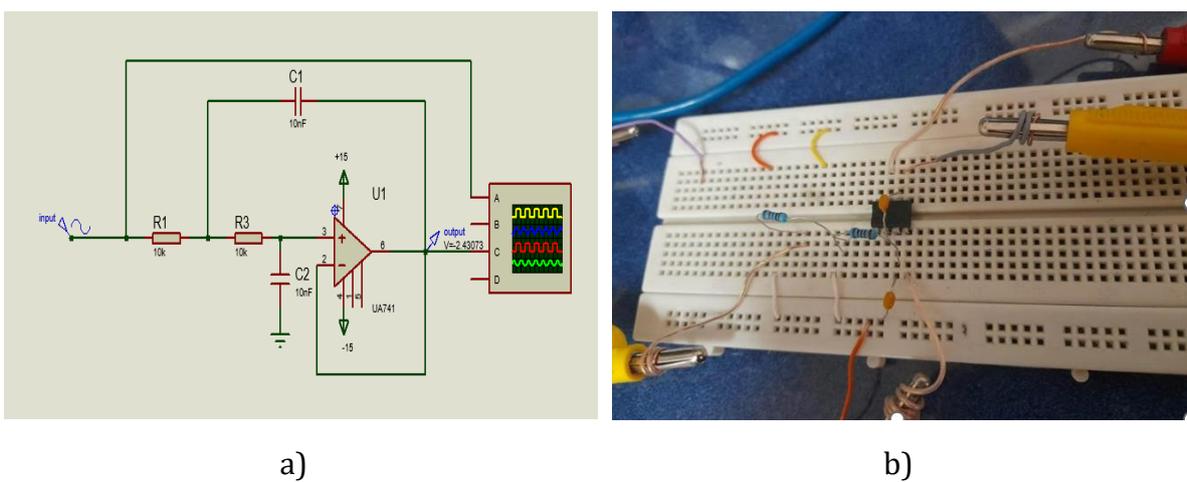


Figure III. 24 a) schéma bloc d'un filtre passe-bas b) le circuit électronique d'un filtre passe-bas

La **Figure III.25** le digramme de Bode d'un filtre passe-bas de Sallen & Key

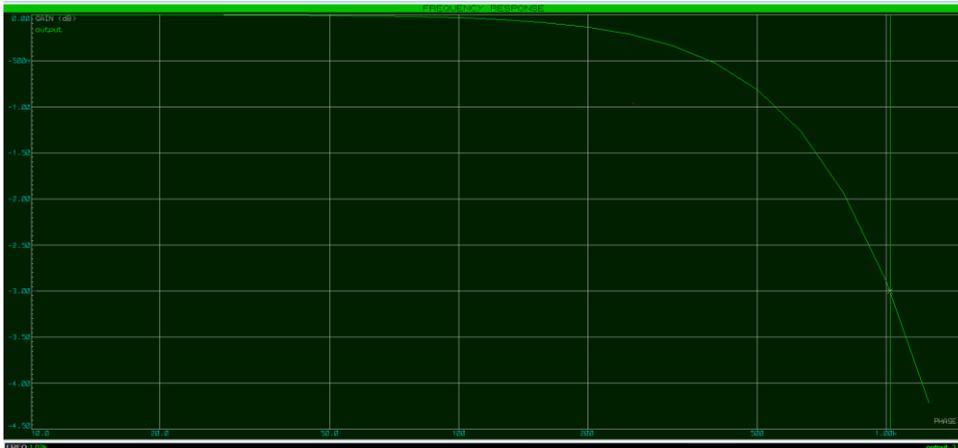


Figure III. 25 diagramme de Bode d'un filtre passe-bas

D'après le diagramme de Bode la fréquence de coupure $f_c = 1.02\text{KHz}$

La **Figure III.26** le montage d'un filtre passe-bas de *Sallen & Key*

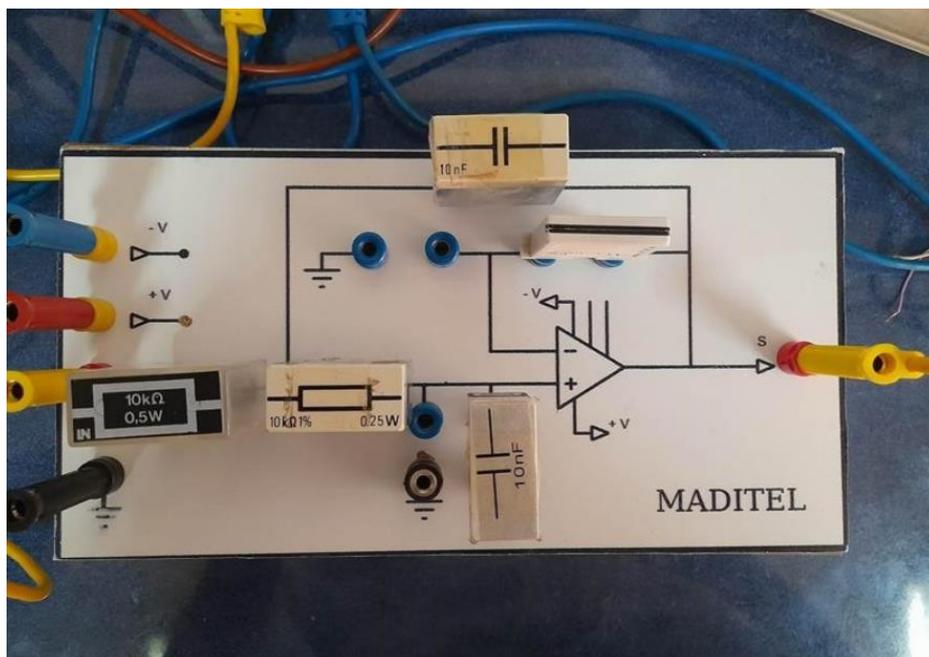
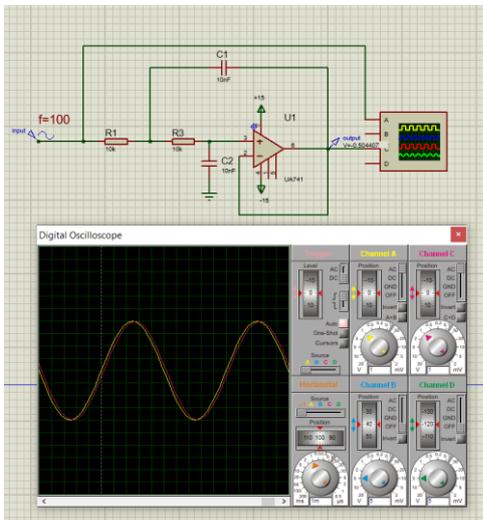
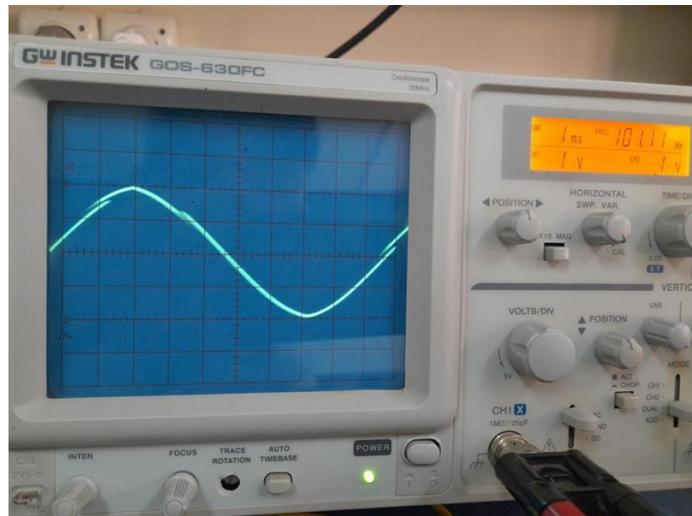


Figure III. 26 le montage d'un filtre passe-bas

Les Figures III.27 et 28 nt les résultats de simulation et de réalisation d'un filtre passe-bas

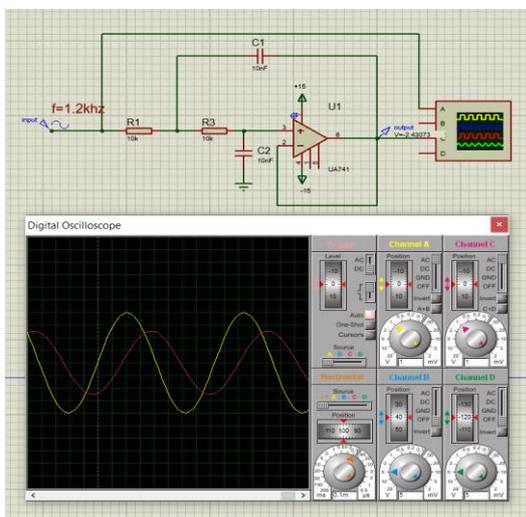


a)

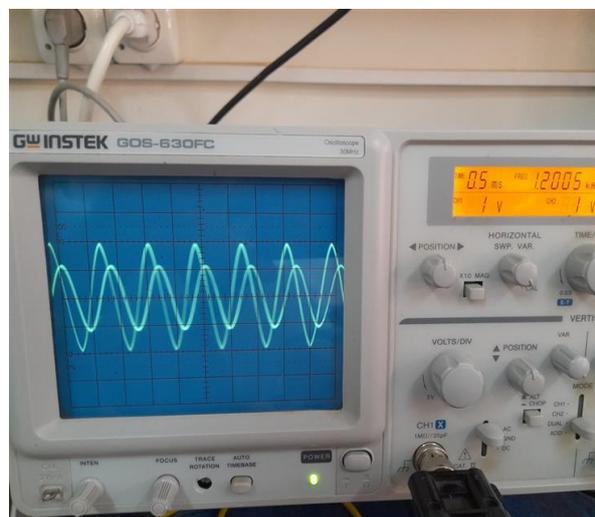


b)

Figure III. 27 a) La simulation d'un filtre passe-bas (f=100Hz) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope



a)



b)

Figure III. 28 a) la simulation d'un filtre passe-bas (f=1.2KHz) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope

- Le filtre passe bas est un filtre qui permet de passer des fréquences inférieures à 1.02 KHz dans ce cas.
- On voit que les deux résultats de simulation et de réalisation sont identiques.

III.3.2 - Filtre passe-haut

La Figure III.29 le schéma bloc et le circuit électronique d'un filtre passe-haut de Sallen & Key

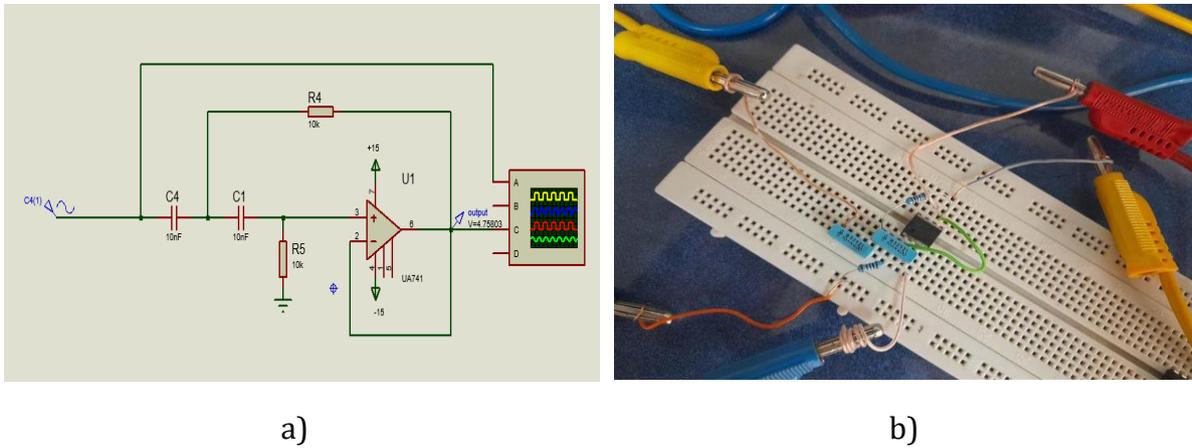


Figure III. 29 a) schéma bloc d'un filtre passe-haut b) le circuit électronique d'un filtre passe-haut

La Figure III.30 le digramme de Bode d'un filtre passe-haut de Sallen & Key

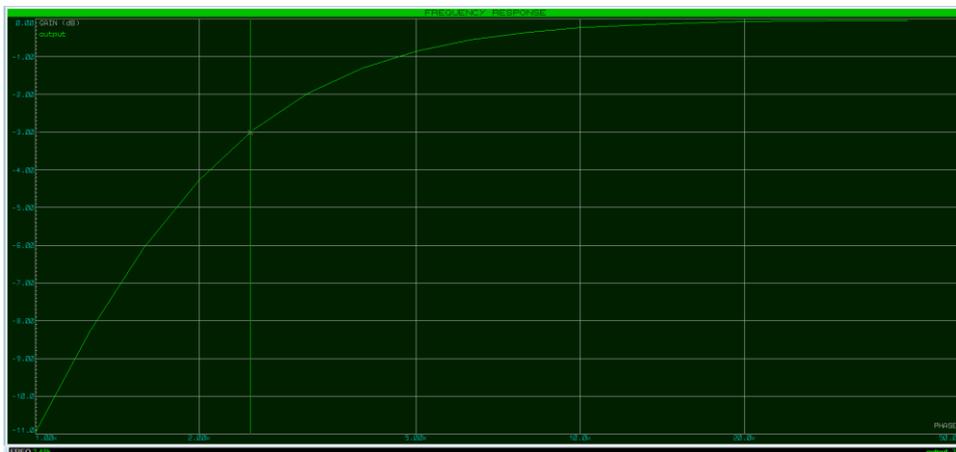


Figure III. 30 digramme de Bode d'un filtre passe-haut

D'après le diagramme de Bode la fréquence de coupure $f_c = 2.48\text{KHz}$

La **Figure III.31** le montage d'un filtre passe-haut de *Sallen & Key*

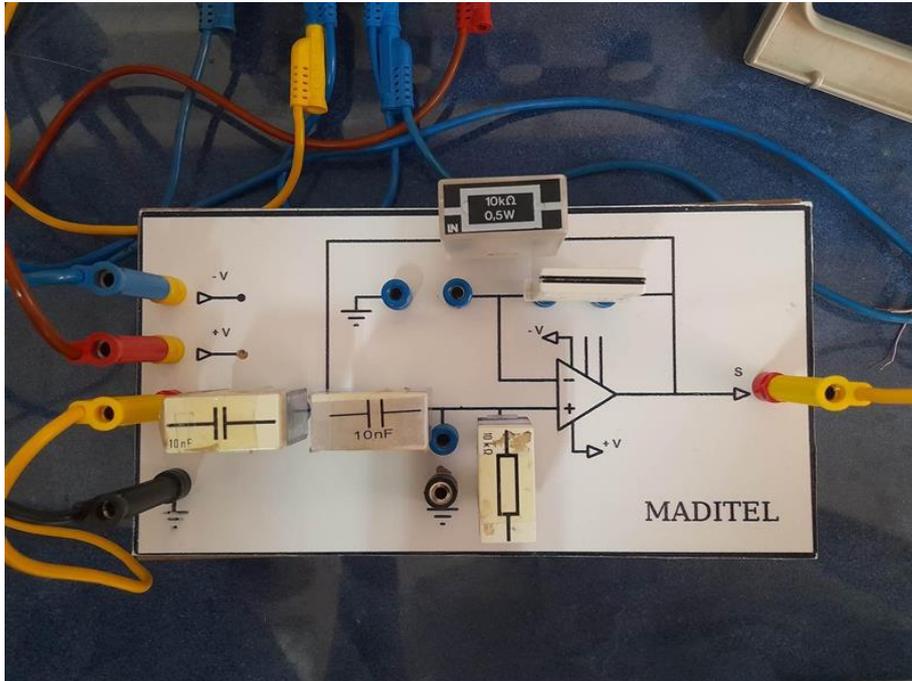
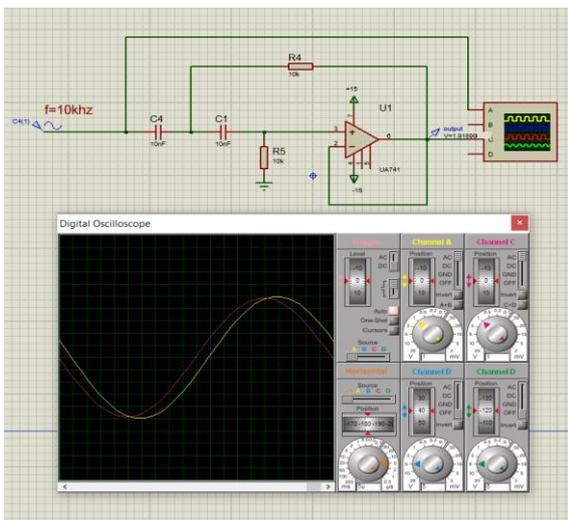
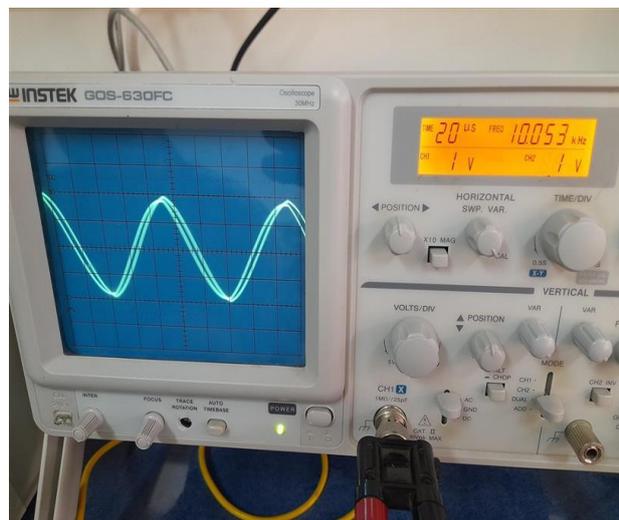


Figure III. 31 le montage d'un filtre passe-haut

Les **Figures III.32** et **33** les résultats de simulation et de réalisation d'un filtre passe-haut

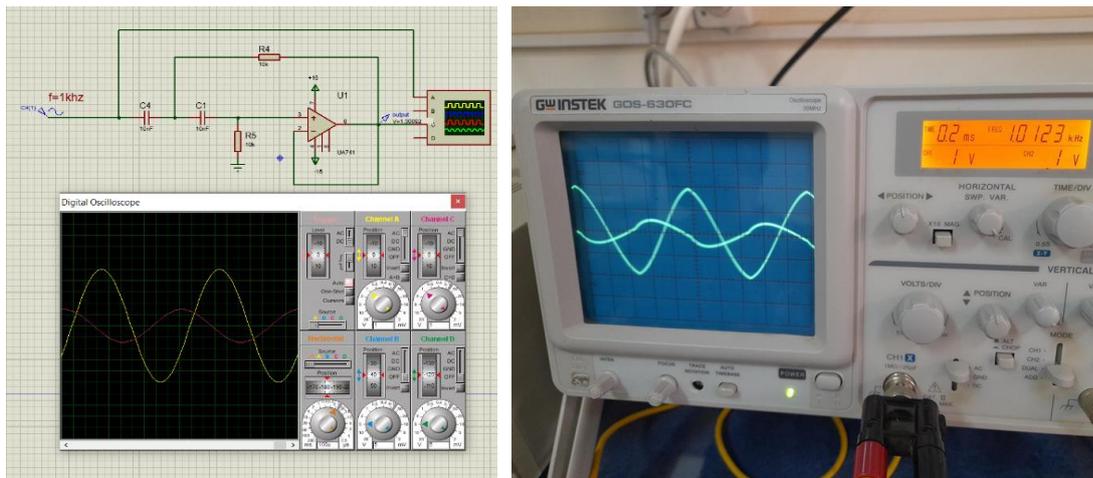


a)



b)

Figure III. 32 a) la simulation d'un filtre passe-haut ($f=10\text{KHz}$) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope



a)

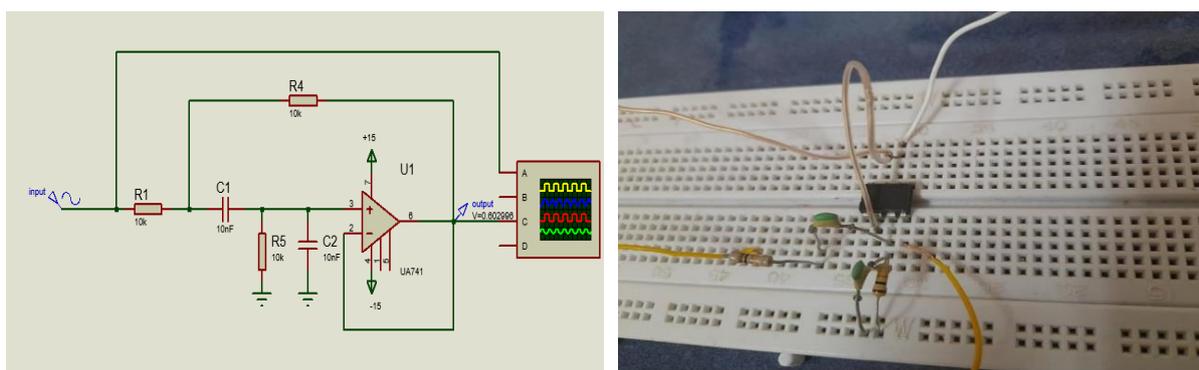
b)

Figure III. 33 a) la simulation d'un filtre passe-haut (f=1KHz) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope

- Le filtre passe haut est un filtre qui permet de passer des fréquences extérieures à 2.48 KHz dans ce cas.
- On voit que les deux résultats de simulation et de réalisation sont identiques.

III.3.3 - Filtre passe-bande

La **Figure III.34** le schéma bloc et le circuit électronique d'un filtre passe-bande de *Sallen & Key*



a)

b)

Figure III. 34 a) schéma bloc d'un filtre passe-bande b) le circuit électronique d'un filtre passe-bande

Les **Figure III.35** nt le digramme de Bode d'un filtre passe-bande de *Sallen & Key*

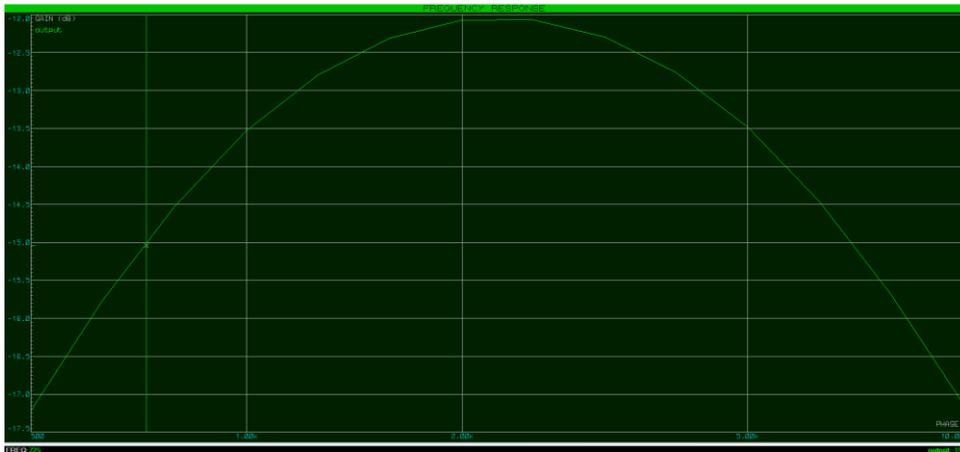


Figure III. 35 digramme de Bode d'un filtre passe-bande (fc1)

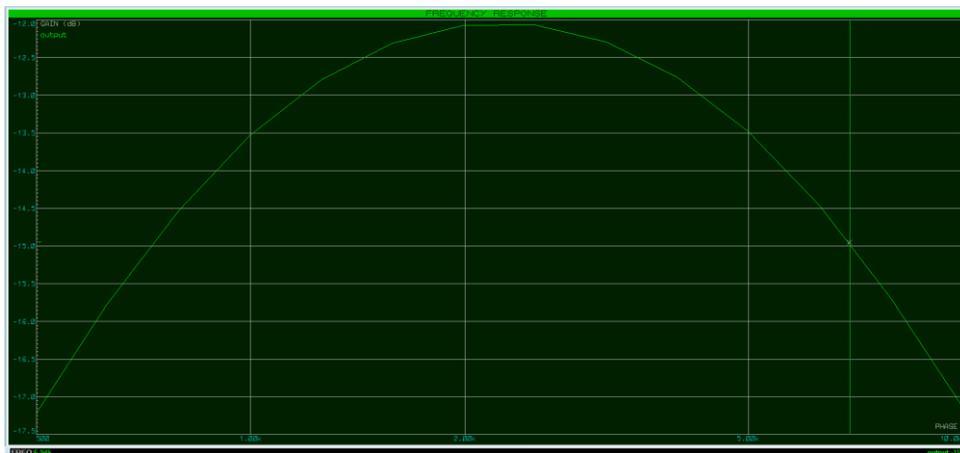
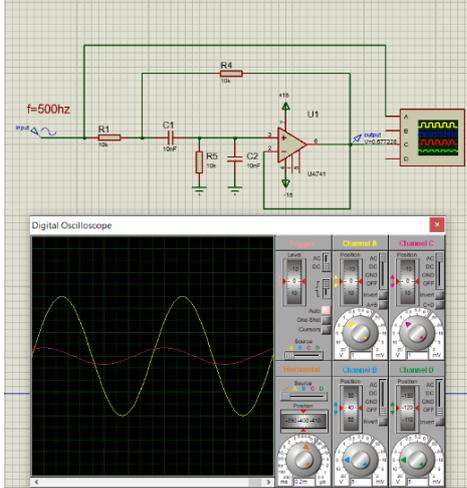


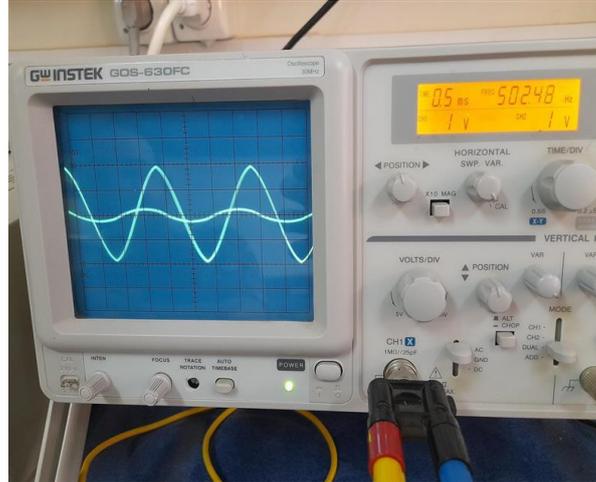
Figure III. 36 digramme de Bode d'un filtre passe-bande (fc2)

D'après le diagramme de Bode les fréquences de coupure $fc1 = 725\text{Hz}$ et $fc = 6.94\text{KHz}$

Les Figures III.37, 38 et 39 les résultats de simulation et de réalisation d'un filtre passe-bande

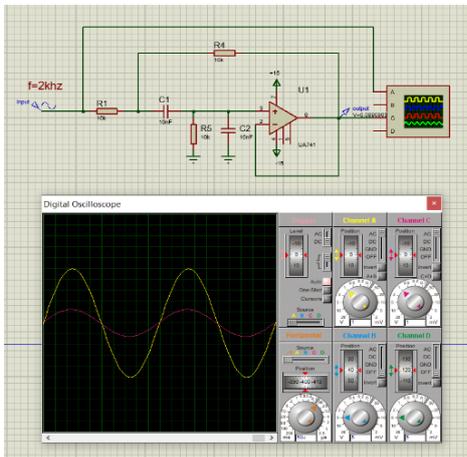


a)

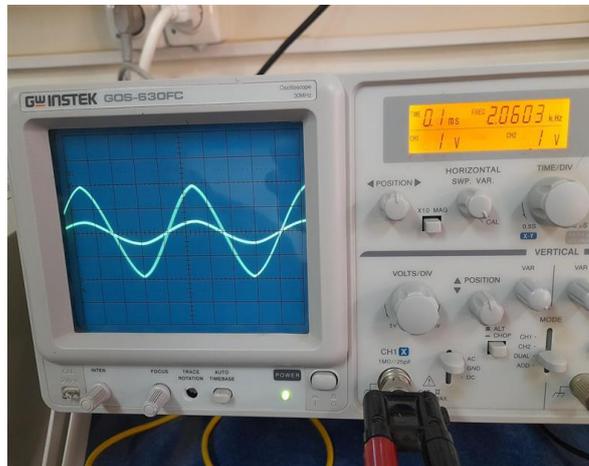


b)

Figure III. 37 a) la simulation d'un filtre passe-bande ($f=500\text{Hz}$) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope

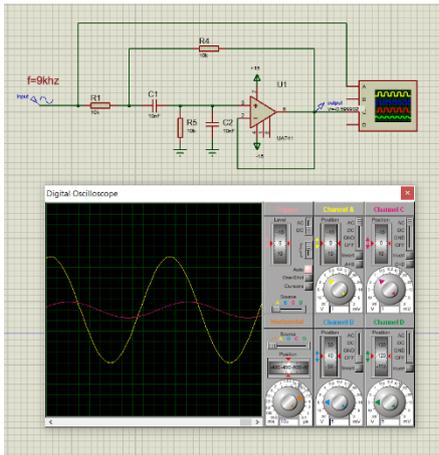


a)

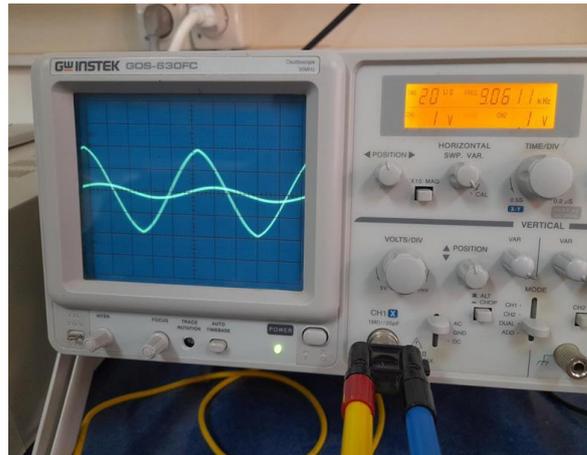


b)

Figure III. 38 a) la simulation d'un filtre passe-bande ($f=2\text{KHz}$) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope



a)



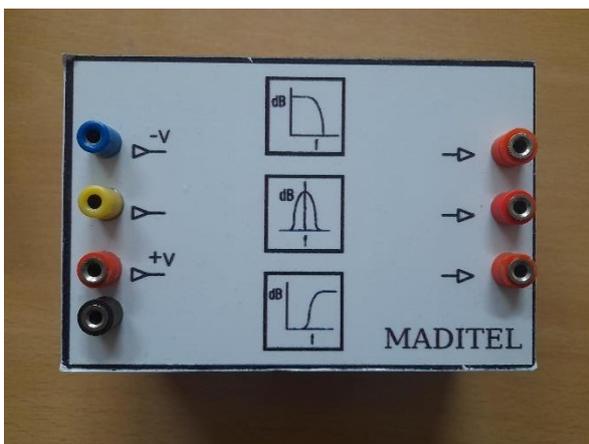
b)

Figure III. 39 a) la simulation d'un filtre passe-bande ($f=9\text{KHz}$) b) signaux visualisés sur l'oscilloscope

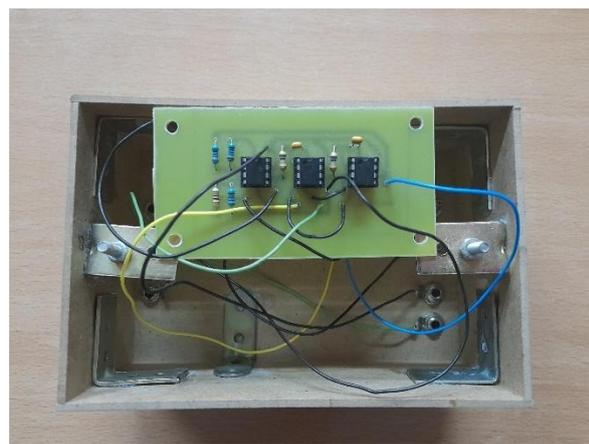
- Le filtre passe bande est un filtre qui permet de passer des fréquences extérieures à 6.94KHz et inférieures à 725Hz dans ce cas.
- On voit que les deux résultats de simulation et de réalisation sont identiques.

III.4 - La maquette de filtrage 02

La Figure III.40 la façade de maquette de filtrage 02 et le circuit intérieur



a)



b)

Figure III. 40 a) la façade de maquette de filtrage 02 b) le circuit intérieur de maquette de filtrage 02

La **Figure III.41** le schéma bloc et le circuit électronique de filtre passe-bas, haut et bande

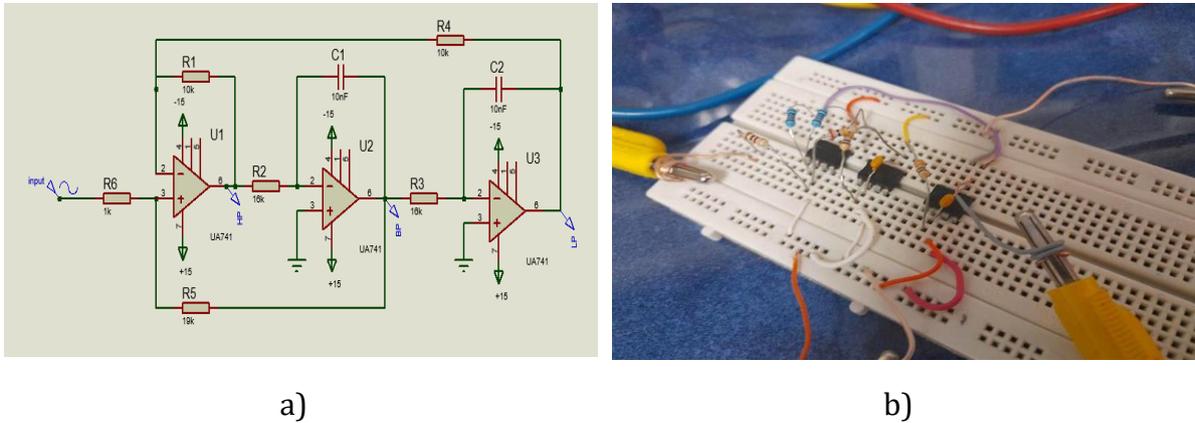


Figure III. 41 a) schéma bloc d'un filtre passe-bas, haut et bande b) le circuit électronique d'un filtre passe-bas, haut et bande

Les **Figures III.42, 43, 45 et 46** nt le digramme de Bode de filtre passe-bas, haut et bande

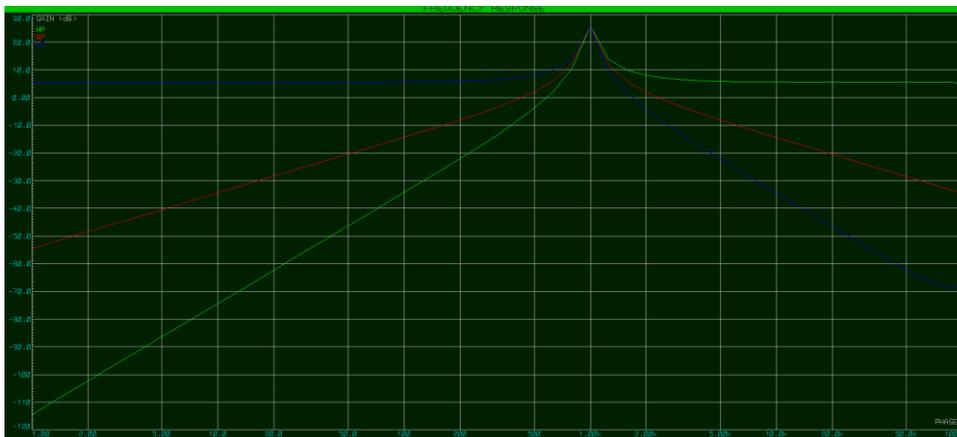


Figure III. 42 digramme de Bode de filtre passe-bas, haut et bande

Le gain d'un filtre passe –bas -----

Le gain d'un filtre passe –haut -----

Le gain d'un filtre passe –bande -----

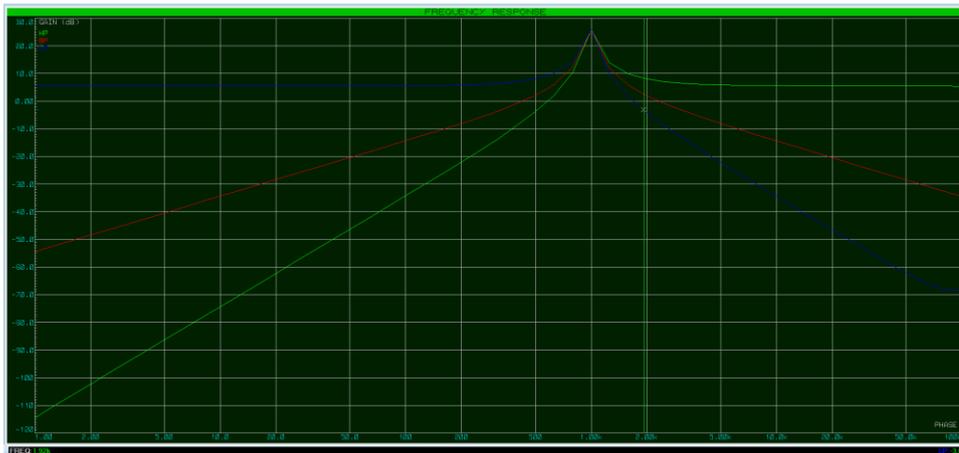


Figure III. 43 digramme de Bode d'un filtre passe-bas

D'après le diagramme de Bode la fréquence de coupure $f_c = 1.92\text{KHz}$



Figure III. 44 digramme de Bode d'un filtre passe-haut

D'après le diagramme de Bode la fréquence de coupure $f_c = 517\text{Hz}$

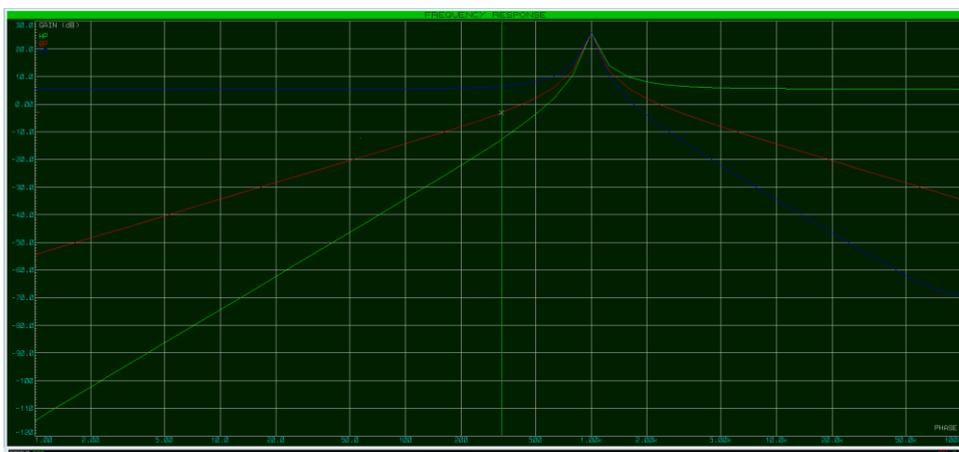


Figure III. 45 digramme de Bode d'un filtre passe-bande (f_{c1})

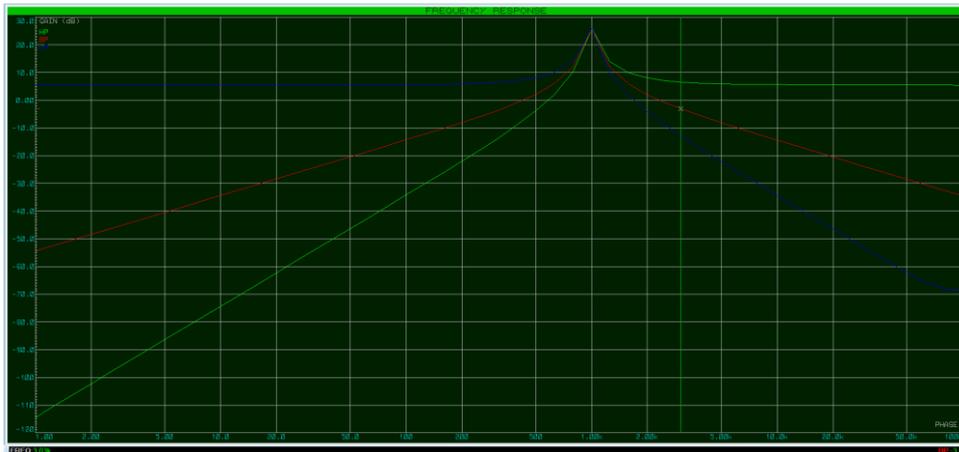


Figure III. 46 digramme de Bode d'un filtre passe-bande (f_{c2})

D'après le diagramme de Bode les fréquences de coupure $f_{c1} = 330$ Hz et $f_{c2} = 3.03$ KHz

La **Figure III.47** la maquette de filtre passe-bas, haut et bande

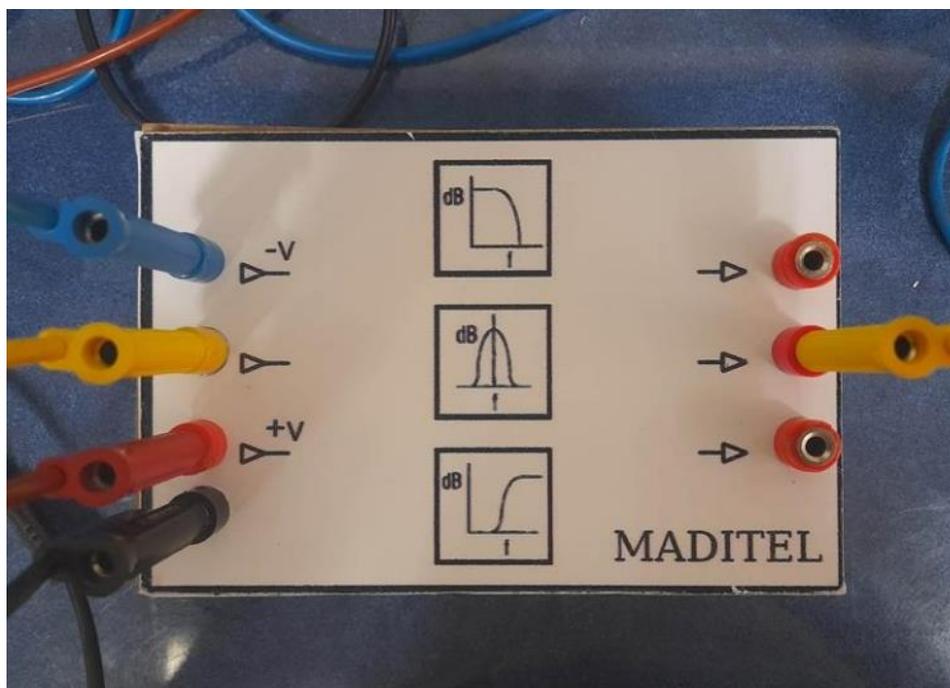
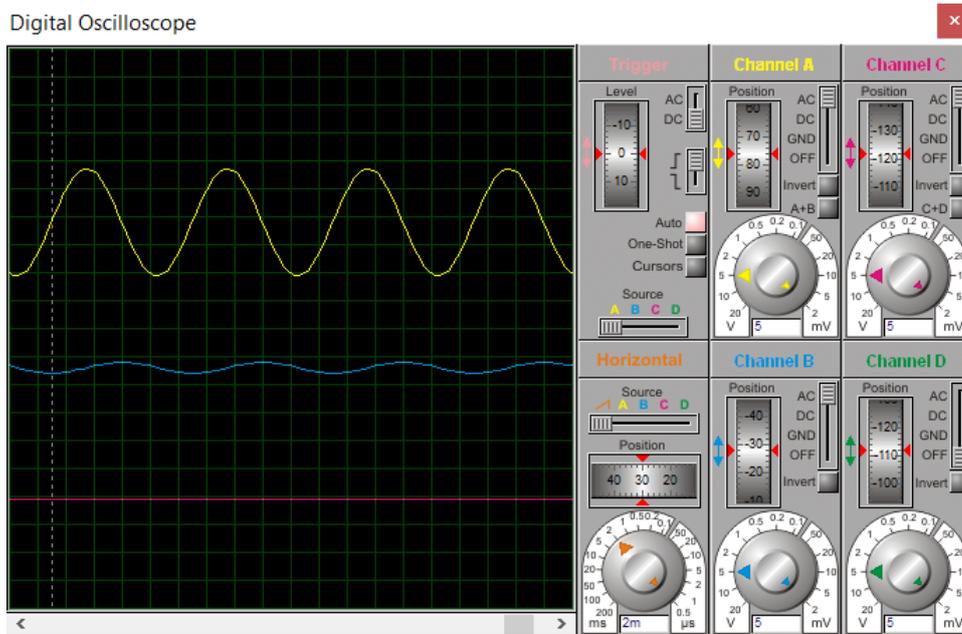
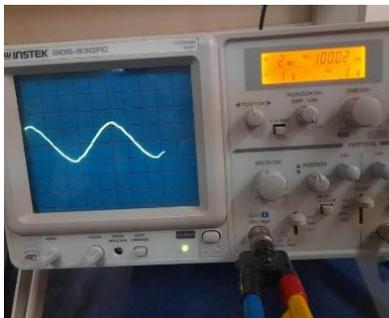


Figure III. 47 la maquette de filtre passe-bas, haut et bande

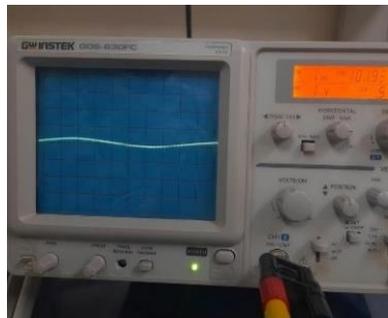
Les **Figure III.48, 49 et 50** les résultats de simulation et de réalisation d'un filtre passe-bas, haut et bande



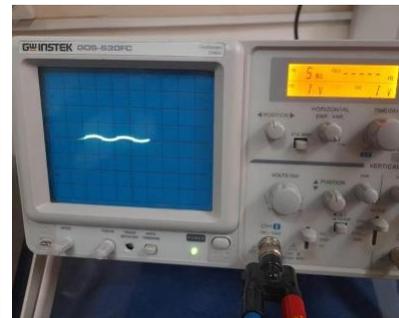
a)



b)

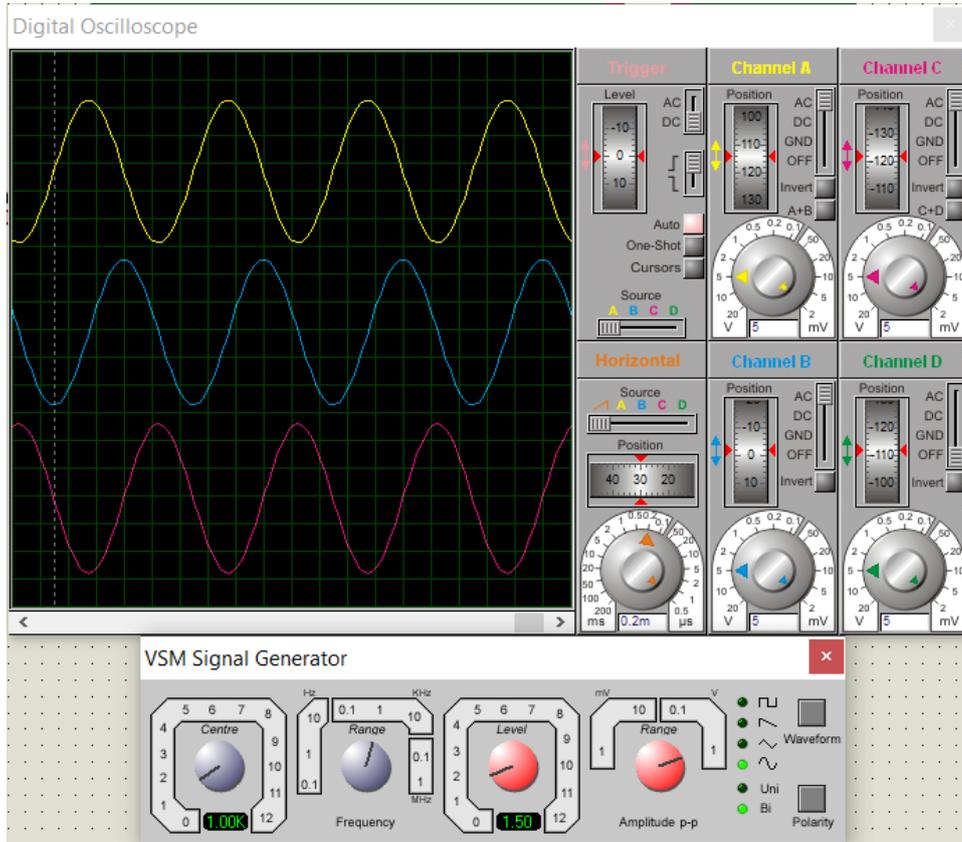


c)

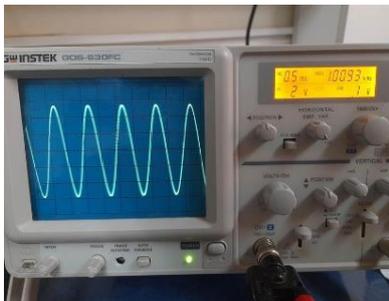


d)

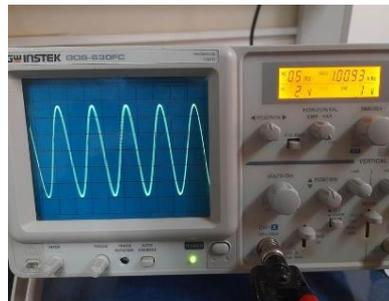
Figure III. 48 a) la simulation de filtre passe-bas, haut et bande ($f=100\text{Hz}$) b) Filtre passe-bas c) Filtre passe-bande d) Filtre passe-haut



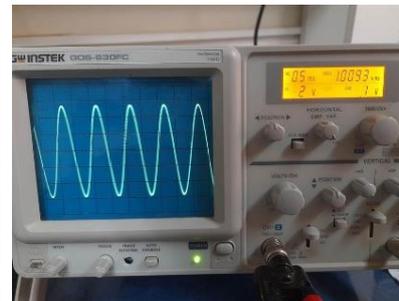
a)



b)

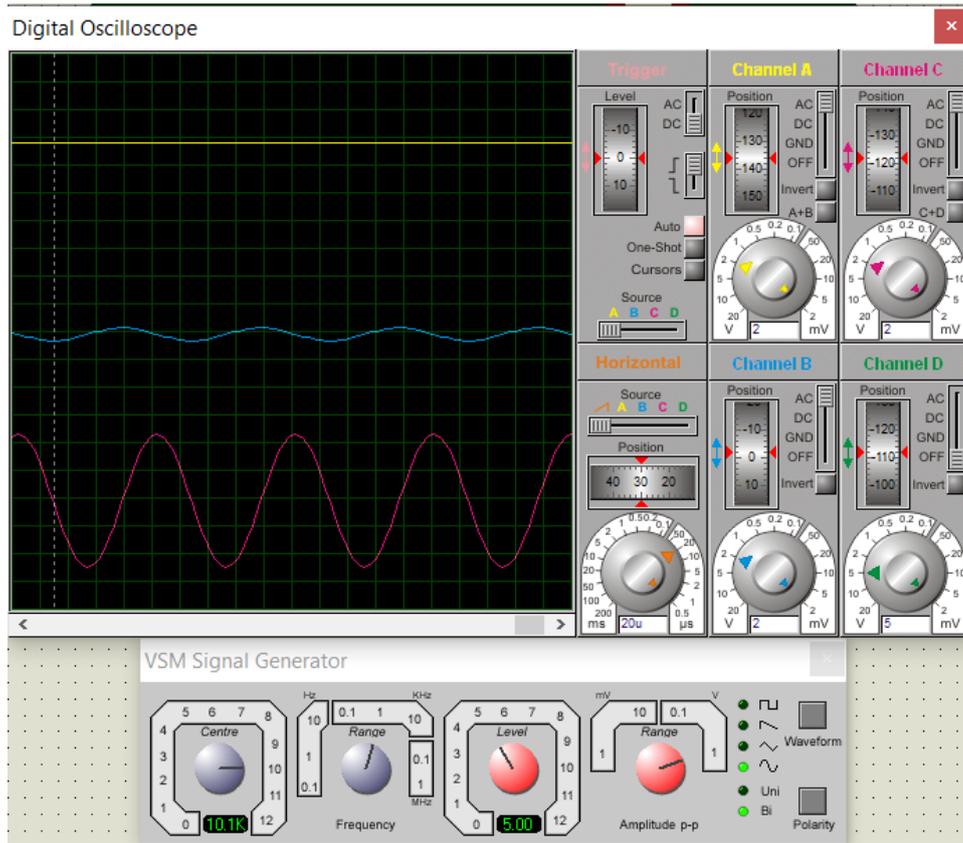


c)

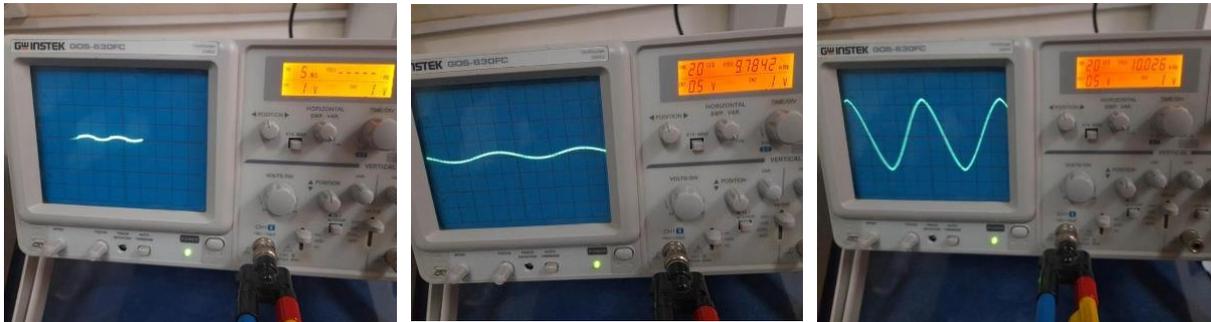


d)

Figure III. 49 a) la simulation de filtre passe-bas, haut et bande ($f=1\text{KHz}$) b) filtre passe-bas c) filtre passe-bande d) filtre passe-haut



a) La simulation



b)

c)

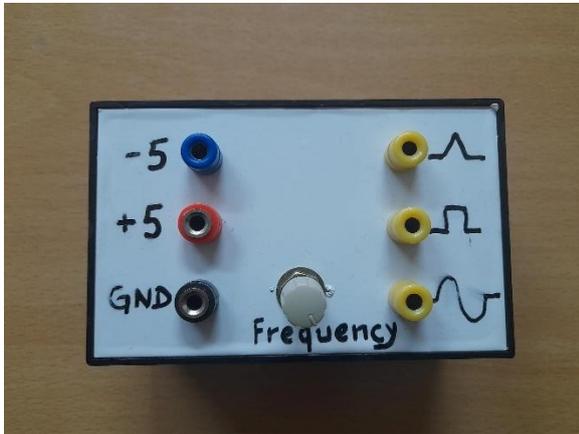
d)

Figure III. 50 a) la simulation de filtre passe bas, haut et bande ($f=10\text{KHz}$) b) filtre passe-bas c) filtre passe-bande d) filtre passe-haut

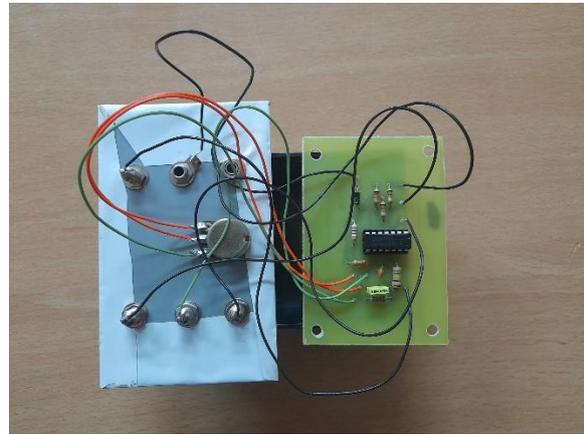
- Le filtre passe bas est un filtre qui permet de passer des fréquences inférieures à 1.92 KHz dans ce cas.
- Le filtre passe haut est un filtre qui permet de passer des fréquences extérieures à 517 Hz dans ce cas.
- Le filtre passe bande est un filtre qui permet de passer des fréquences extérieures à 3.03 KHz et inférieures à 330 Hz dans ce cas.
- On voit que les deux résultats de simulation et de réalisation sont identiques.

III.4 – la maquette d’oscillateur

La Figure III.51 la façade de maquette d’oscillateur et le circuit intérieur



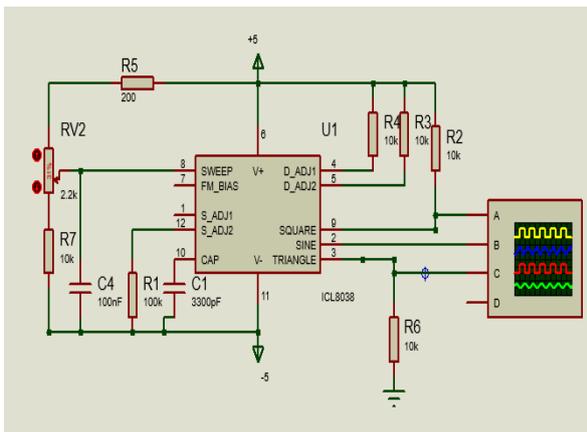
a)



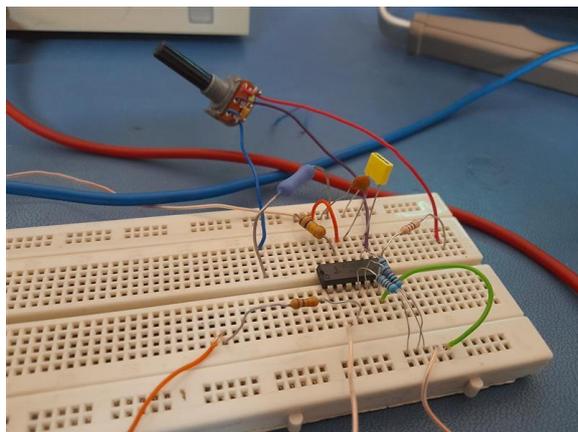
b)

Figure III. 51 a) la façade de maquette d’oscillateur b) le circuit intérieur de maquette d’oscillateur

La Figure III.52 le schéma et le circuit électronique bloc d’oscillateur :



a)



b)

Figure III. 52 a) schéma bloc d’oscillateur b) le circuit électronique d’oscillateur

La **Figure III.53** la maquette d'oscillateur :

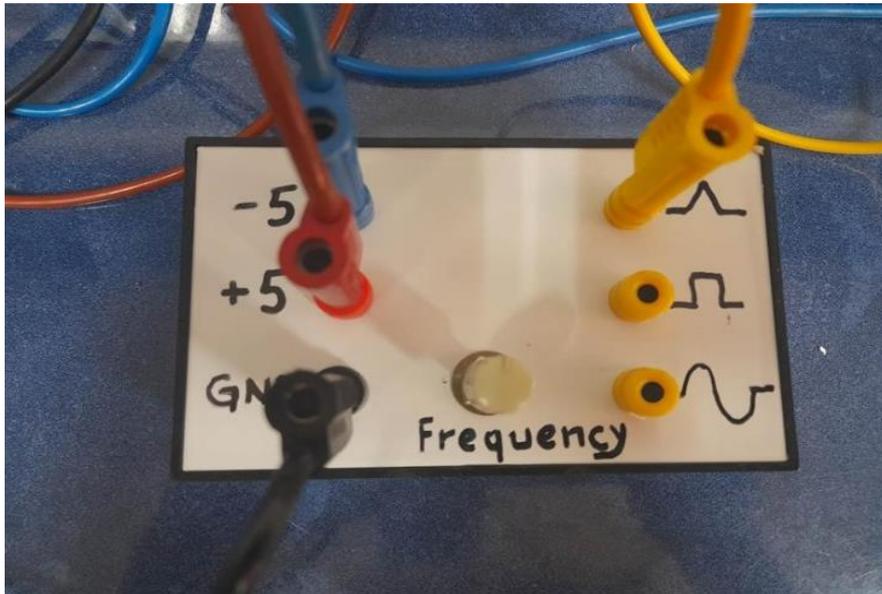
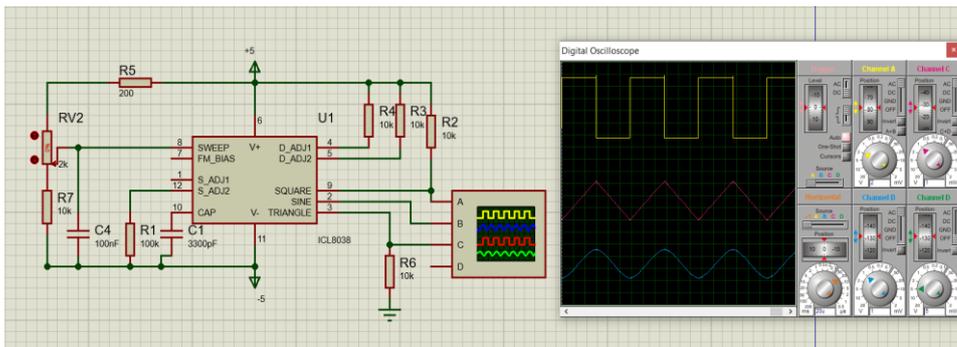


Figure III. 53 la maquette d'oscillateur

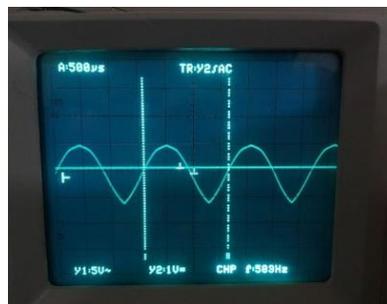
Les **Figure III.54** et **55** les résultats de simulation et de réalisation d'oscillateur



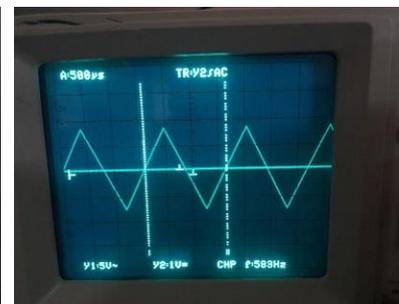
a)



b)

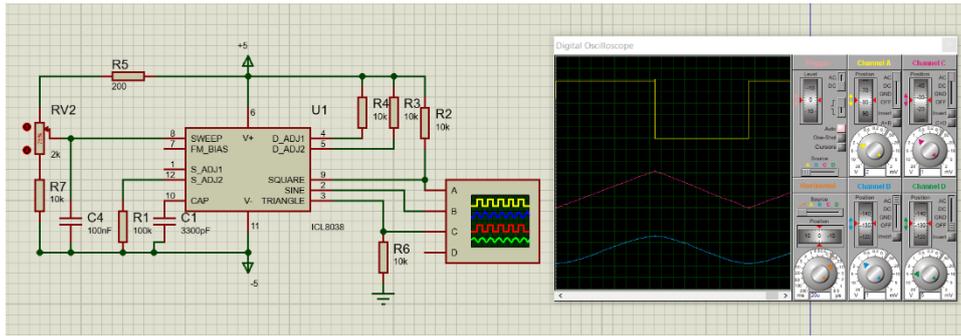


c)

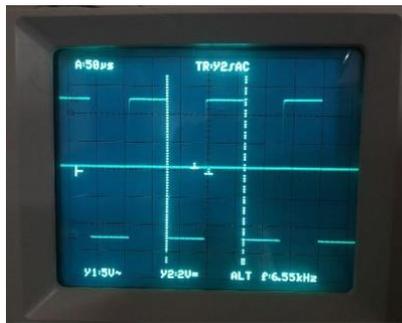


d)

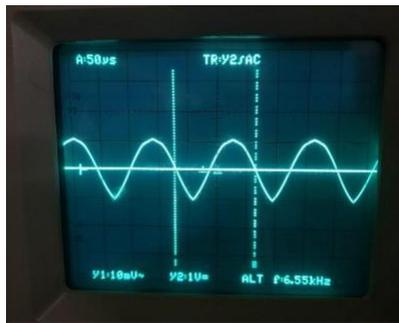
Figure III. 54 a) la simulation d'oscillateur avec (RV=0%) b) signal carré c) signal sinusoïdale d) signal triangulaire



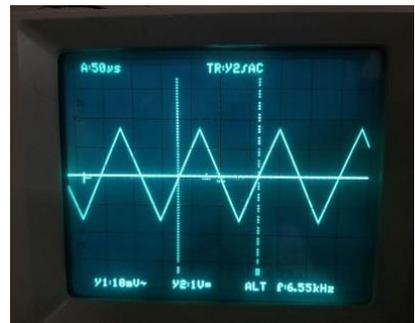
a)



b)



c)



d)

Figure III. 55 a) la simulation d'oscillateur avec (RV=100%) b) signal carré c) signal sinusoïdale d) signal triangulaire

- On voit que l'oscillateur peut produit des fréquences entre 580 Hz et 6.5 KHz.

III.5 - maquette d'adaptateur coaxial

La Figure III.56 la façade de maquette d'adaptateur coaxial et le circuit intérieur



a)



b)

Figure III. 56 a) la façade de maquette d'adaptateur coaxial b) le circuit intérieur de maquette d'adaptateur coaxial

La **Figure III.57** un générateur de fréquence et le type de câble utilisé



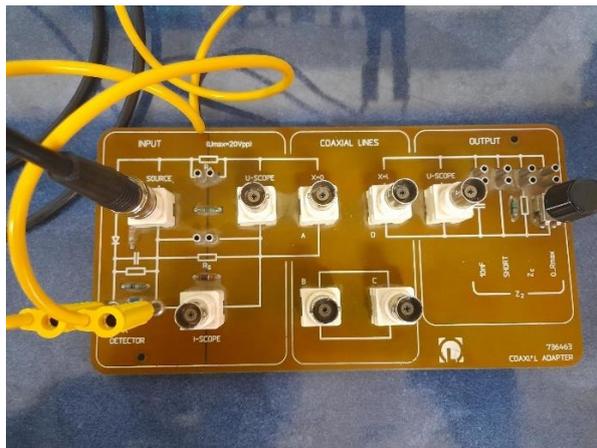
a)



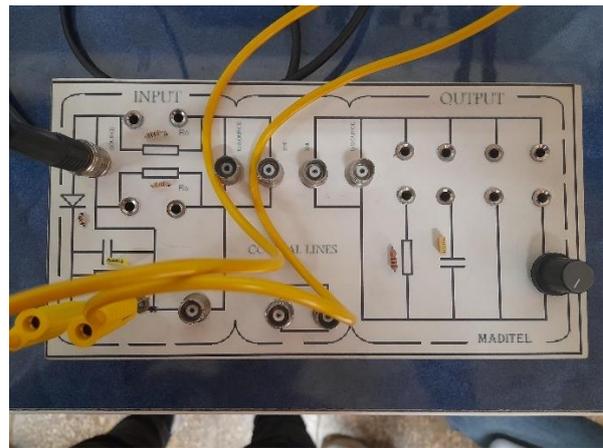
b)

Figure III. 57 a) câble de type RG174 b) générateur de fréquence (1Mhz)

La **Figure III.58** les résultats de réalisation sur la maquette de laboratoire et de réalisation sur la maquette MADITEL de montage 1



a)



b)

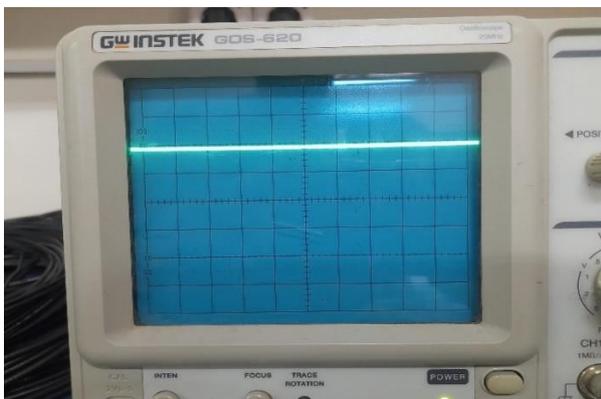
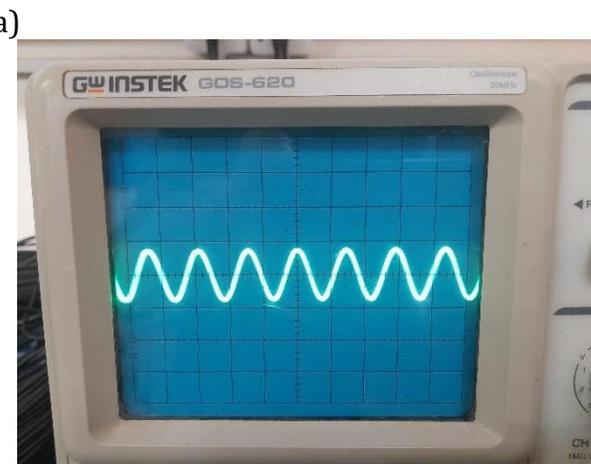
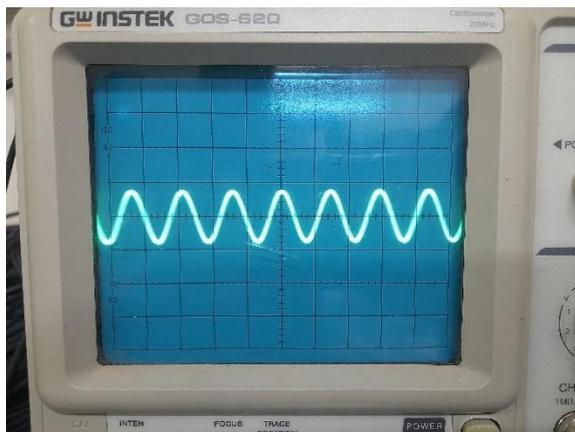
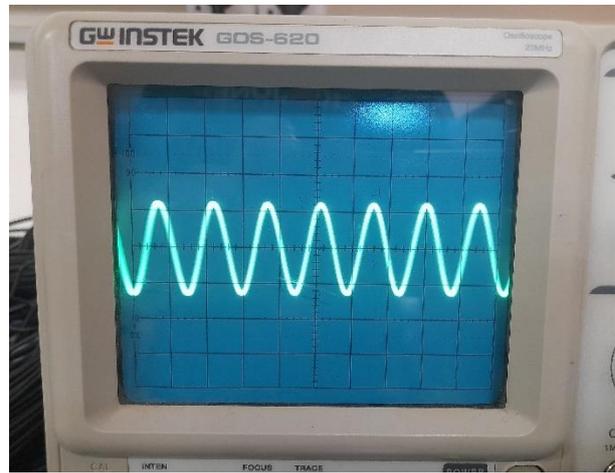
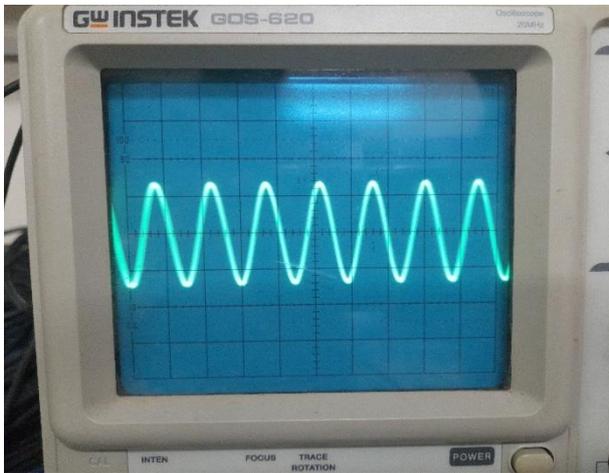
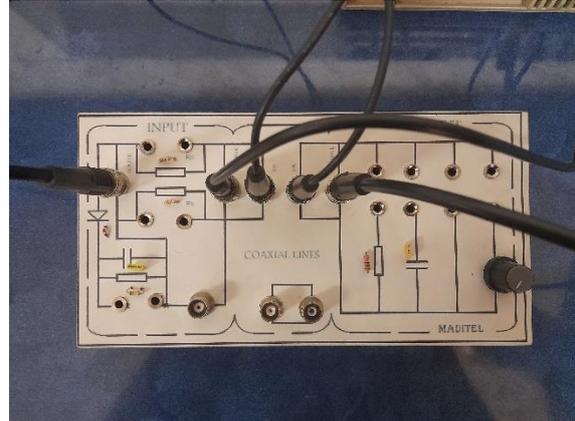


Figure III. 58 a) réalisation sur la maquette de laboratoire b) réalisation sur la maquette MADITEL

La **Figure III.59** les résultats de réalisation sur la maquette de laboratoire et de réalisation sur la maquette MADITEL de montage 3

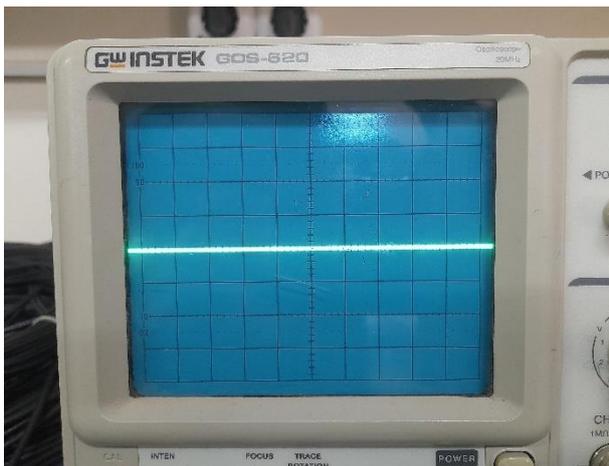
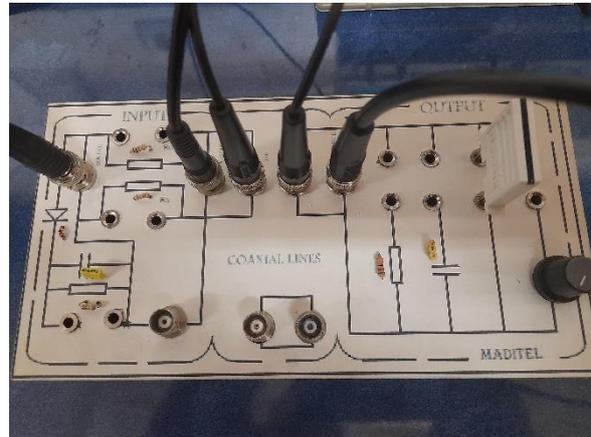
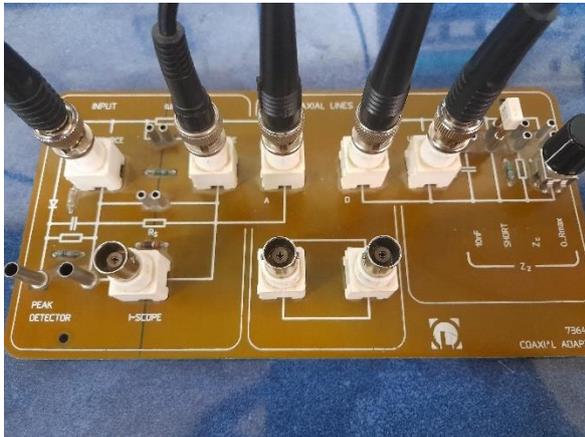


a)

b)

Figure III. 59 a) Signal d'entrée b) Signal de sortie

La **Figure III.60** les résultats de réalisation sur la maquette de laboratoire et de réalisation sur la maquette MADITEL de montage 4



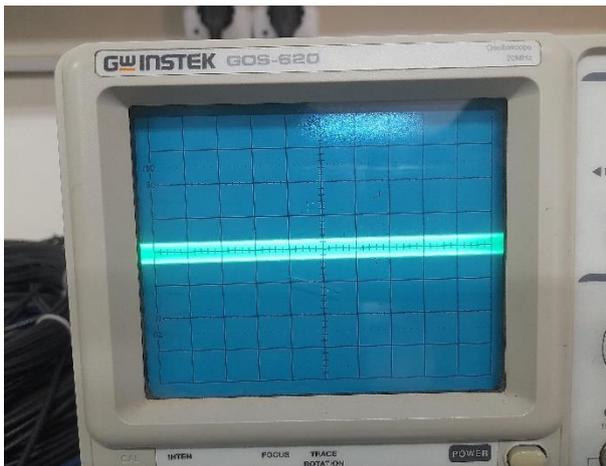
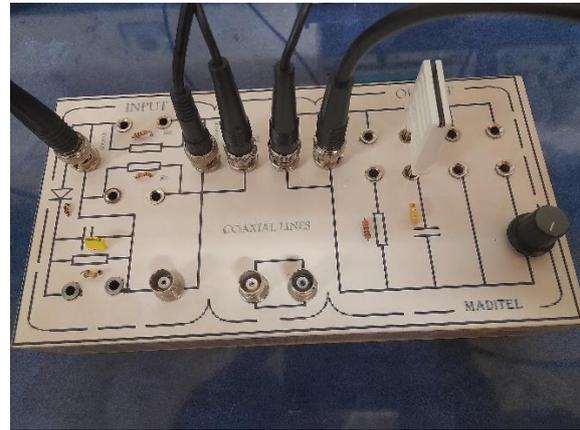
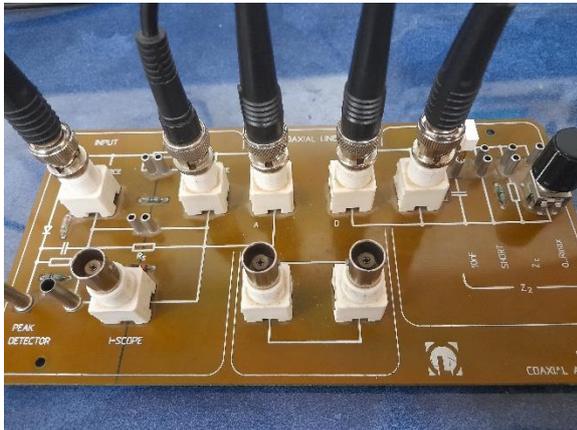
a)



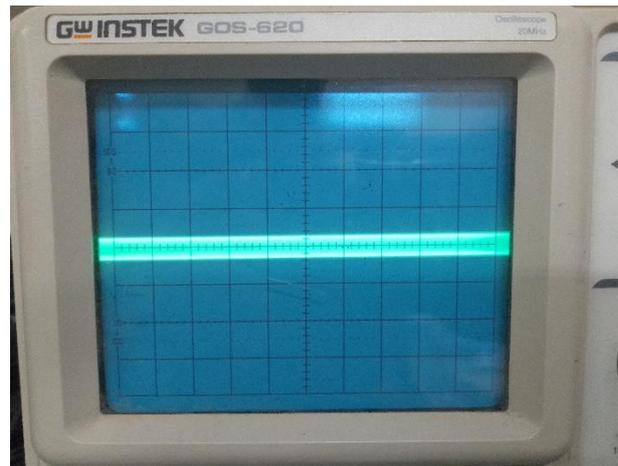
b)

Figure III. 60 a) réalisation sur la maquette de laboratoire b) réalisation sur la maquette MADITEL

La **Figure III.61** les résultats de réalisation sur la maquette de laboratoire et de réalisation sur la maquette MADITEL de montage 5



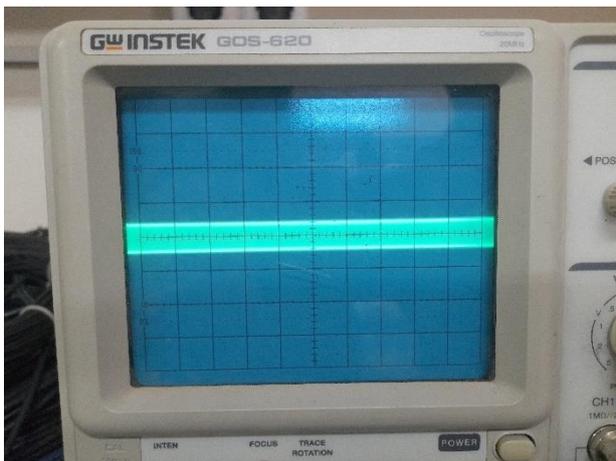
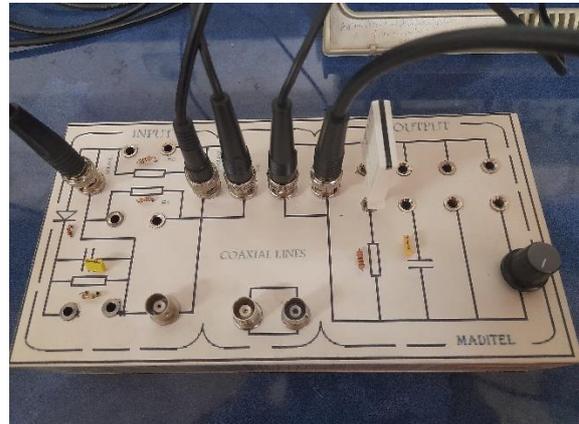
a)



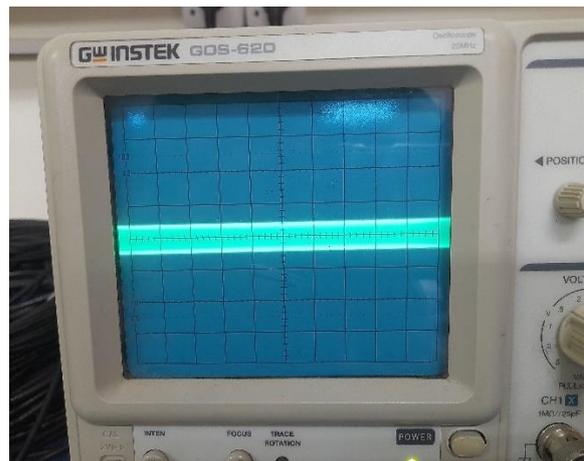
b)

Figure III. 61 a) réalisation sur la maquette de laboratoire b) réalisation sur la maquette MADITEL

La **Figure III.62** les résultats de réalisation sur la maquette de laboratoire et de réalisation sur la maquette MADITEL de montage 6



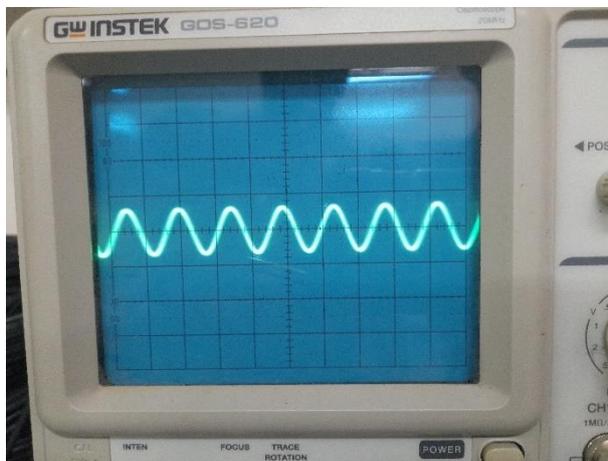
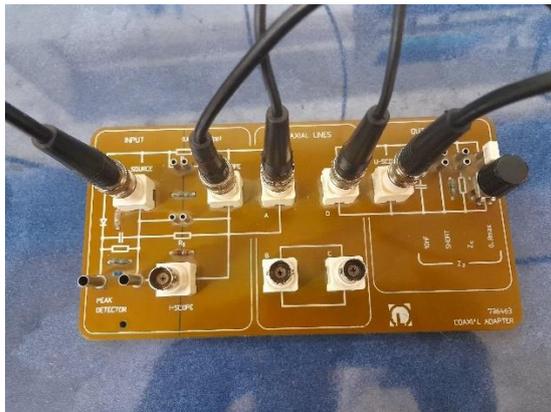
a)



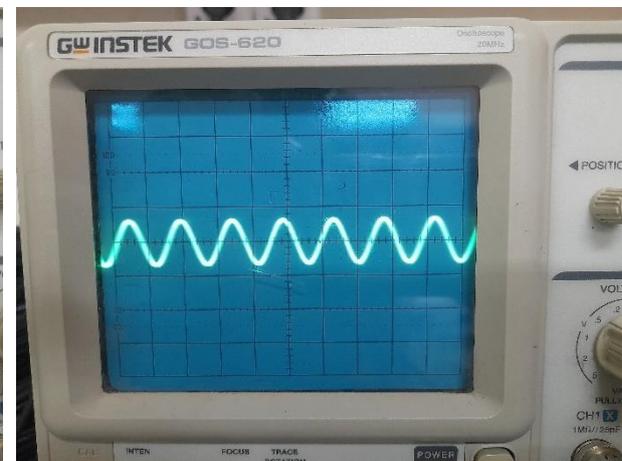
b)

Figure III. 62 a) réalisation sur la maquette de laboratoire b) réalisation sur la maquette MADITEL

Les **Figure III.63** les résultats de réalisation sur la maquette de laboratoire et de réalisation sur la maquette MADITEL de montage 7



a)



b)

Figure III. 63 a) réalisation sur la maquette de laboratoire b) réalisation sur la maquette MADITEL

- On voit que les deux résultats de réalisation sont identiques.

III.6 - Conclusion

De toute évidence, comme nous venons de le voir, ce chapitre était dédié à la simulation et la réalisation de circuits, il a donné une vision sur notre travail.

Nous avons noté dans ce chapitre que l'ensemble des résultats et des valeurs sont identiques.

Conclusion générale

Les maquettes didactiques jouent un rôle important en facilitant la compréhension de divers concepts pour les étudiants dans les domaines de l'électronique et des télécommunications, ce qui améliore la qualité de l'apprentissage pratique.

L'amplificateur opérationnel occupe une place prépondérante dans le domaine de l'électronique et des télécommunications, et il est largement utilisé à différents niveaux d'enseignement. Il joue un rôle essentiel en tant que composant fondamental dans divers travaux pratiques tels que les filtres et les oscillateurs.

L'objectif de ce mémoire était d'étudier et d'explorer la conception et l'analyse des circuits basés sur les amplificateurs opérationnels, en mettant particulièrement l'accent sur les filtres, les oscillateurs et le processus de prototypage.

Le premier chapitre a offert une introduction aux amplificateurs opérationnels, en couvrant leur contexte historique, leur définition, leurs principes de fonctionnements et leurs différentes configurations. Il pose des bases solides pour les chapitres suivants en examinant les caractéristiques et les applications des amplificateurs opérationnels.

Dans le deuxième chapitre, nous avons examiné en détail la théorie sous-jacente aux différentes maquettes réalisées, telles que les filtres, les oscillateurs et l'adaptation d'une ligne coaxiale. Nous avons abordé également l'application des amplificateurs opérationnels, ainsi que la théorie de la maquette que nous avons reproduit pour l'adaptateur de ligne coaxiale.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous avons abordé la simulation, les tests et le prototypage de circuits basés sur les amplificateurs opérationnels. La simulation à l'aide d'outils logiciels tels que Proteus permet aux ingénieurs d'analyser et de vérifier le comportement des circuits avant leur mise en œuvre physique. Les tests des circuits sur une plaque d'essai permettent de valider et d'évaluer leurs performances dans le monde réel.

Notre perspective consiste à produire différentes maquettes didactiques afin d'améliorer la qualité de l'enseignement et de résoudre le problème du manque d'équipement dans les laboratoires.

Bibliographies

- [1] Clayton, G. B., & Winder, S. (2003). Operational amplifiers. Elsevier.
- [2] Jung, W. (2005). Op Amp applications handbook. Newnes.
- [3] cours en ligne sur le site web de **SRM Université** :
<https://srmaero.weebly.com/uploads/2/2/4/8/22480700/ch-25.pdf>
- [4] Floyd T. L. (2012). Electronic devices: electron flow version (9th ed.). Prentice Hall.
- [5] Yawale, S., & Yawale, S. (2022). Operational Amplifier. Springer Singapore.
- [6] Sedra, A., Smith, K. C., Carusone, T. C., & Gaudet, V. (2020). Microelectronic circuits 8th edition. Chapter, 14, 1235-1236.
- [7] Fiore, J. M. (2018). Operational amplifiers & linear integrated circuits: theory and application. Dissidents.
- [8] HADJI, M. S., NAAM, B., & LOUAZENE, H. (2017). Etude et conception de filtre passe bande ultra large bande pour les systèmes de communication sans fil.
- [9] Pactitis, S. A. (2018). Active filters: theory and design. CRC Press.
- [10] Chitturi, V., & Farrukh, N. (2016). Development of an agilent voltage source for electrical impedance tomography applications. ARPN journal of Engineering and Applied Sciences, 11(5), 1819-608.
- [11] Gonzalez, G. (2006). Foundations of oscillator circuit design. Artech.
- [12] Hiscocks, P. D. (2011). Analog Circuit Design.
- [13] Razavi, B. (2005). Design of analog CMOS integrated circuits. 清华大学出版社有限公司.
- [14] Shan, Z., & Qian, L. (2012). Coaxial Cable Modeling and Verification.
- [15] Gustrau, F. (2012). RF and Microwave Engineering: Fundamentals of Wireless Communications. United Kingdom: Wiley.

Annex

Business Model Canvas

1. Proposition de valeur :

La valeur propose de MADITEL est :

De fournir des équipements éducatifs abordables et de haute qualité pour l'électronique et les télécommunications aux universités, écoles nationale polytechniques et les centres de formation en Algérie. Les produits de MADITEL aideront à réduire les coûts pour ces institutions

L'amélioration de l'apprentissage pratique : Mettre l'accent sur les avantages pédagogiques de l'utilisation des maquettes, permettant aux étudiants d'acquérir une expérience pratique et de mieux comprendre les concepts théoriques.

Options de personnalisation : Offrir des services de personnalisation pour adapter les maquettes aux programmes d'études et aux objectifs pédagogiques spécifiques des établissements d'enseignement.

Innovation et caractère unique : Introduire en permanence des conceptions et des caractéristiques innovantes qui répondent aux besoins et aux défis spécifiques des éducateurs et des étudiants.

Comme entreprise locale MADITEL pourraient avoir **un impact sur l'économie** algérienne en créant des emplois.

La capacité d'expansion pour inclure différents domaines...

MADITEL offrir la maintenance des maquettes didactiques

2. Segments de clientèle :

Les segments de clientèle de MADITEL sont les universités, les écoles Supérieur et les centers de formation en Algérie qui enseignent l'électronique et les télécommunications. Ces établissements peuvent être publics ou privés,

3. Relations avec la clientèle :

En termes de relations clients, MADITEL pourrait se concentrer sur les points suivants :

Service personnalisé : MADITEL peut offrir un service personnalisé à chaque client en comprenant ses besoins spécifiques et en fournissant des solutions personnalisées. Il pourrait s'agir de mener des consultations pour comprendre les exigences du client et de recommander l'équipement éducatif le plus approprié à ses besoins.

Soutien continu : MADITEL pourrait fournir un soutien continu à ses clients, y compris un soutien technique, des services de maintenance et des programmes de formation pour s'assurer que les clients sont en mesure d'utiliser l'équipement efficacement et de tirer le meilleur parti de leur investissement.

Commentaires des clients : MADITEL pourrait activement solliciter les commentaires des clients pour améliorer continuellement ses produits et services. Il peut s'agir de mener des sondages, de solliciter des commentaires par l'intermédiaire des médias sociaux page Facebook LinkedIn ou par courriel (email) professionnel site web et de répondre rapidement aux demandes ou aux préoccupations des clients.

Communication forte : MADITEL pourrait maintenir une communication forte avec ses clients en les tenant informés des nouveaux produits, des mises à niveau et d'autres développements à travers des bulletins, des canaux de médias sociaux et d'autres canaux de communication (site web la partie support client, WhatsApp)

4. Canaux :

Les canaux que MADITEL peut utiliser pour atteindre ses clients comprennent :

Ventes directes : S'engager dans des canaux de vente directe, en établissant des relations avec les universités et les établissements d'enseignement par le biais de réunions et de présentations personnelles.

Plate-forme de E-commerce et site web : Créer une boutique en ligne sécurisée et conviviale et un site web avec des descriptions détaillées des produits, des études de cas et des informations de contact pour les demandes de renseignements, où les clients peuvent naviguer, sélectionner et acheter les maquettes didactiques à leur convenance.

Conférences éducatives et salons professionnels : Participer à des événements industriels pour présenter les maquettes, interagir avec des clients potentiels et renforcer la visibilité de la marque.

Médias sociaux et marketing en ligne : Exploiter les plateformes de médias sociaux, les publicités en ligne et le marketing de contenu pour atteindre un public plus large et faire connaître les maquettes didactiques de MADITEL.

5. Partenariats clés :

MADITEL peut former des partenariats et collaborer avec :

Fournisseurs de matériaux de haute qualité : Collaborer avec des fournisseurs de confiance afin de garantir l'accès à des matériaux fiables et de haute qualité pour la production de maquettes didactiques.

Fabricants d'outils et de machines : Établir des partenariats avec des fabricants afin d'acquérir des outils et des machines de pointe nécessaires à des processus de production efficaces.

Former des alliances avec des experts du secteur, des chercheurs et des professionnels pour rester au fait des dernières avancées dans le domaine de l'électronique et des télécommunications.

ANADE Algeria

Les entreprises de livraison (Yalidine ,kazi tour et EMS)

6. Principales activités :

Les principales activités de MADITEL comprennent :

Recherche et développement : Innover en permanence et concevoir des maquettes didactiques qui répondent à l'évolution des besoins et aux exigences pratiques des établissements d'enseignement.

Production et fabrication : Utiliser des concepteurs et des techniciens qualifiés pour fabriquer et assembler des maquettes didactiques de haute qualité.

Personnalisation : Offrir des options de personnalisation pour répondre aux besoins spécifiques des différentes universités et de leurs programmes éducatifs.

Documentation et manuels d'utilisation : Fournir une documentation complète et des manuels d'utilisation pour faciliter la compréhension et l'utilisation efficace de la maquette didactique.

Service de maintenance : Fournir des services de maintenance et de réparation après-vente pour assurer la longévité et la fonctionnalité optimale des maquettes.

Contrôle de la qualité : Mettre en œuvre des mesures rigoureuses de contrôle de la qualité afin de garantir la fonctionnalité et la durabilité de la maquette didactique.

Marketing et promotion : Élaborer une stratégie de marketing globale pour promouvoir les maquettes auprès des établissements d'enseignement, y compris la publicité en ligne, la participation à des conférences sur l'éducation.

7. Principales ressources :

Les principales ressources de MADITEL comprennent :

Une main-d'œuvre qualifiée : Employer une équipe d'ingénieurs, de concepteurs et de techniciens spécialisés dans l'électronique et les télécommunications, capables de créer des maquettes précises et visuellement attrayantes.

Installations de fabrication : Entretenir des installations de fabrication bien équipées avec les machines et le matériel nécessaires pour soutenir le processus de production.

Propriété intellectuelle : Protéger et exploiter la propriété intellectuelle, y compris les brevets, les marques déposées et les dessins et modèles exclusifs.

Infrastructure technologique : Utilisation de logiciels et d'outils de conception avancés pour développer et optimiser la maquette didactique.

Plate-forme en ligne : Développer une plateforme en ligne conviviale et informative pour présenter et vendre les maquettes didactiques, offrant aux clients un accès facile aux informations sur les produits et une expérience d'achat pratique.

8. Sources de revenus :

Vente de maquettes didactiques : générer des revenus par la vente directe de maquettes à des établissements d'enseignement et à des clients individuels.

Service de conception personnalisée : Offrir des sources de revenus supplémentaires en fournissant des services de conception de maquettes sur mesure adaptés aux besoins spécifiques des clients.

Service de maintenance : Générer des revenus récurrents grâce à des services de maintenance et de réparation après-vente pour les maquettes didactiques.

9. Structure des coûts :

Coûts des matériaux : Calculez les dépenses liées à l'acquisition de matériaux de haute qualité pour la production de maquettes.

par exemple :

les câbles : 20 Da pour 1m

les circuits imprimés : 3 Da pour 1cm carré

les résistances : entre 5 et 20 Da la pièce

les capacités : entre 5 et 20 Da la pièce

les potentiomètre : entre 50 et 100 Da la pièce

les amplificateurs opérationnelles : entre 50 et 200 Da la pièce

les boîtes : entre 500 et 1000 Da la pièce

l'emballage : entre 200 et 500 Da la pièce

Coûts de main-d'œuvre : Tenez compte des salaires, des traitements et des avantages sociaux de l'équipe de conception et de production.

par exemple :

factures de location, électricité, etc. : 20000 Da par mois

sac d'équipements pour chaque ingénieur : 15000 Da

Coûts de marketing et de publicité : Prévoyez un budget pour les initiatives de marketing, y compris la publicité en ligne, le matériel promotionnel et la participation à des conférences.

Coûts de recherche et de développement : Allouez des ressources à l'innovation et à l'amélioration continues des maquettes didactiques.

Coûts opérationnels : Tenez compte des dépenses telles que le loyer, les services publics, l'assurance et les frais généraux administratifs.

Coûts d'entretien et de soutien : Tenir compte des coûts associés à la fourniture de services d'entretien et de réparation après-vente.

Coûts de transport.

Partenariats clés :	Principales activités :	Value Propositions	Customer Relationships	Customer Segments
<ul style="list-style-type: none"> - Fournisseurs de matériaux de haute qualité : - Fabricants d'outils et de machines : - Former des alliances avec des experts du secteur - ANADE Algeria - Les entreprises de livraison (Yalidine ,kazi tour and EMS) 	<ul style="list-style-type: none"> - Marketing et promotion - Contrôle de la qualité - Service de maintenance - Documentation et manuels d'utilisation - Personnalisation - Production et fabrication - Recherche et développement 	<ul style="list-style-type: none"> - fournir des équipements éducatifs abordables et de haute qualité pour l'électronique et les télécommunications. - L'amélioration de l'apprentissage pratique - Innovation et caractère unique - Options de personnalisation - impact sur l'économie algérienne en créant des emplois. - La capacité d'expansion - MADITEL offrir la maintenance des maquettes didactiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Communication forte: offrir un service personnalisé à chaque client en comprenant ses besoins spécifiques et en fournissant des solutions personnalisées. - Commentaires des clients - Soutien continu : fournir un soutien continu à ses clients, y compris un soutien technique, des services de maintenance et des programmes de formation - Service personnalisé 	<p>les universités, les écoles Supérieur et les centers de formation en Algérie publics ou privés</p>

	<p>7. Principales ressources :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une main-d'œuvre qualifiée : - Installations de fabrication : - Propriété intellectuelle : Infrastructure technologique Plate-forme en ligne 		<p>4. Canaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ventes directes : - Médias sociaux et marketing en ligne : - Conférences éducatives et salons professionnels : - Plate-forme de E-commerce et site web : 	
<p>9. Structure des coûts :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coûts de transport - Coûts de marketing et de publicité - Coûts de main-d'œuvre - Coûts des matériaux 		<p>8. Sources de revenus :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Service de maintenance - Service de conception personnalisée - Vente de maquettes didactiques 		