

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** : Electronique

**Spécialité** : Instrumentation Electronique

**Par** : RIAHI Samia Djamila

**Sujet**

**Indicateur lumineux à 12 LED**

**Soutenu publiquement, le 02 /07 /2017 , devant le jury composé de :**

<b>Mr. HAMDOUNE</b> Abdelkader	<b>PROFESSEUR</b>	Université de Tlemcen	<b>Président</b>
<b>Mr. BELAID</b> Ali	<b>MAA</b>	Université de Tlemcen	<b>Encadreur</b>
<b>Mr. HACHIM</b> Abdallah	<b>MAA</b>	Université de Tlemcen	<b>Examineur</b>

**Année universitaire : 2016-2017**

# REMERCIEMENTS

Je tiens profondément à remercier tout d'abord ALLAH l'unique qui a permis à ce travail de voir la lumière.

Je tiens à remercier vivement mon promoteur Monsieur A.BELAID, MAA à l'université de Tlemcen, pour ses orientations éclairées, ses conseils constructifs, son esprit critique et son aide précieuse.

Je remercie très chaleureusement les membres du jury Monsieur A.HAMDOUNE et Monsieur A.HACHIME pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être rapporteurs de mon mémoire.

Tous les enseignants qui ont contribué à mon projet pendant mon cycle d'étude.

Que tous ce qui a contribué de près ou de loin, dans mon projet de fin d'étude ainsi qu'à la réalisation de ce travail reçoit ici le témoignage de ma grande sympathie.

Je veux aussi exprimer ma vive reconnaissance envers tous les enseignants du poste graduation du génie électrique.

« Une personne qui n'a jamais commis d'erreur ...

...n'a jamais tenté d'innover »

Albert Einstein

# DEDICACES

A qui puis-je dédie cet humble travail si ce n'est à mes très chers parents, dont le sacrifice, la tendresse, l'amour, la patience, le soutien, l'aide et les encouragements sont l'essence de ma

réussite. Sans eux, je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui.

Je dédie ce travail également :

✚ A mes deux frères Nadjib et Ilyes.

✚ A ma sœur Kawther.

✚ A tous mes amis.

✚ A tous ceux qui me sont chers.

# Sommaire

---

Introduction générale .....	10
-----------------------------	----

## CHAPITRE I : Généralités

I.1. Définition.....	12
I.2. Schéma de principe d'un indicateur.....	12
I.3. Historique.....	15
I.4. Galvanomètre à aiguille.....	16
I.4.1. Caractéristiques générales.....	16
I.5. Quelque type d'indicateur.....	17
I.5.1. Le crête-mètre .....	17
I.5.2. Le peak-mètre .....	18
I.5.3. Le LU-mètre.....	18
I.5.4. Le VU-mètre.....	18
I.5.4. 1. Le VU-mètre à aiguille .....	19
I.5.4.2. Le VU-mètre à LED.....	19
I.5.4.3. Caractéristiques.....	20

## CHAPITRE2 : Etude théorique des différents étages

II.1. Introduction.....	22
II.2. Schéma synoptique du circuit.....	22
II.3. Schéma Bloc Global d'indicateur.....	23
II.4. Fonctionnement global du montage.....	23
II.5. Etude théorique des différents étages.....	24
II.5.1. Alimentation.....	24
II.5.2. Amplificateur.....	25
II.5.2.1. Introduction.....	25
II.5.2.2. Principe de fonctionnement.....	25
II.5.2.2.1. Principes généraux .....	25
II.5.2.2.1.1. Bande Passante .....	26
II.5.2.2.1.2. Linéarité.....	26
II.5.3. Amplificateur Opérationnel (AOP).....	27
II.5.3.1. Présentation.....	27
II.5.3.2. Montage suiveur .....	29

# Sommaire

---

II.5.3.3. Montage amplificateur inverseur .....	30
II.5.3.3.1. Fonction de transfert .....	31
II.5.3.3.2. Propriétés du montage .....	31
II.5.3.4. Montage amplificateur non inverseur.....	32
II.5.3.4.1. Fonction de transfert.....	33
II.5.3.4.2. Propriétés du montage .....	33
II.5.4. Comparateur .....	34
II.5.4.1. Introduction .....	34
II.5.4.2. Principe .....	35
II.5.4.3. Comparateur non inverseur .....	36
II.5.4.4. Comparateur inverseur.....	37
II.5.4.5. Translation du point de basculement pour les montages du comparateur.....	38
II.5.4.6. Montage du comparateur inverseur.....	40
II.5.5. Circuit intégré LM324 .....	41
II.5.6. Le redresseur .....	41
II.5.6.1. Redressement double alternances .....	42
II.5.5.2 Valeur DC ou valeur moyenne .....	42
II.5.6.3. Fréquence de sortie .....	43
II.5.7. Filtrage .....	43
II.5.7.1. Types de filtres .....	43

## CHAPITRE III : Réalisation pratique

III.1. Circuit complet de l'indicateur lumineux.....	45
III.2. Principe de fonctionnement.....	47
III.2.1. Affichage linéaire.....	48
III.2.2. Affichage logarithmique.....	48
III.3. Circuit imprimé.....	49
III.3.1. Proteus ISIS.....	49
III.3.2. Proteus ARES.....	50
Conclusion générale.....	53
Annexe.....	55
Bibliographie.....	56

## Liste des figures et des tableaux

---

### Liste des figures :

Figure I.1 : Schéma de conception d'un indicateur.....	14
Figure I.2 : Galvanomètre dédié vu-mètre.....	16
Figure I.3 : Illustration d'un crête mètre.....	17
Figure I.4 : Un hornet LU-mètre.....	18
Figure I.5 : VU-mètre à aiguille.....	19
Figure I.6 : VU-mètre à LED.....	20
Figure II.1 : Schéma synoptique du montage.....	22
Figure II.2 : Schéma Bloc Global d'indicateur.....	23
Figure II.3 : Schéma global d'une alimentation.....	24
Figure II.4 : Amplificateur opérationnel.....	27
Figure II.5 : Les modes de fonctionnement du l'AOP .....	28
Figure II.6 : Symbole simplifié de l'ampli OP.....	28
Figure II.7 : Montage suiveur.....	29
Figure II.8 : Montage amplificateur inverseur.....	30
Figure II.9 : Fonction de transfert.....	31
Figure II.10 : Montage amplificateur inverseur.....	31
Figure II.11 : Montage amplificateur non inverseur.....	32
Figure II.12 : Fonction de transfert.....	33
Figure II.13 : Montage amplificateur non inverseur.....	33
Figure II.14 : Signaux de principe d'un comparateur.....	36
Figure II.15 : Montage d'un comparateur non inverseur.....	36
Figure II.16 : Diagramme de transfert temporel.....	36
Figure II.17 : Diagramme temporel.....	37
Figure II.18 : Montage d'un comparateur inverseur.....	37
Figure II.19 : Diagramme de transfert.....	37
Figure II.20 : Diagramme temporel.....	38
Figure II.21 : Montage du comparateur non inverseur.....	39
Figure II.22 : Diagramme de transfert. Tension de référence positive .Uréf = point du basculement.....	39

## Liste des figures et des tableaux

---

Figure II.23 : Diagramme de transfert. Tension de référence négative. Uréf = point de basculement.....	39
Figure II.24 : Schéma d'un comparateur inverseur.....	40
Figure II.25 : Diagramme de transfert. Tension de référence positive.....	40
Figure II.26 : Diagramme de transfert. Tension de référence négative.....	40
Figure II.27 : Schéma bloc du LM324.....	41
Figure II 28 : Schéma d'un redresseur.....	41
Figure II.29 : (a) Redressement double alternance ; (b) circuit équivalent pour alternance positive ; (c) circuit équivalent pour alternance négative ; (d) signal de sortie.....	42
Figure III.1 : Schéma électrique du circuit.....	46
Figure III.2 : Circuit imprimé de l'indicateur lumineux (côté composants).....	50
Figure III.3 : Circuit imprimé de l'indicateur lumineux (côté soudures).....	50
Figure III.4 : Photographie du Circuit électrique en mode affichage linéaire (réalisé sur plaque d'essai).....	51
Figure III.5 : Photographie du circuit électrique en mode affichage logarithmique (réalisé sur plaque d'essai).....	51

### Liste des tableaux :

Tableau III.1 : Valeur des tensions en échelle linéaire.....	48
Tableau III.2 : Valeur des tensions en échelle logarithmique à 3 Db.....	49

## 1. Résistances :

R1 ... 100 K $\Omega$  trimmer

R2 ... 100 K $\Omega$

R3...8.2 K $\Omega$

### ➤ Résistances pour affichage linéaire :

R4 à R15 ...8.2 K $\Omega$

R16...100 K $\Omega$

R17...50 K $\Omega$  trimmer

R18 à R29 ...820  $\Omega$

### ➤ Résistances pour affichage logarithmique :

R4 ...1.8 K $\Omega$

R5...748  $\Omega$

R6 ...1 K $\Omega$

R7...1.5 K $\Omega$

R8...2.2 K $\Omega$

R9...3 K $\Omega$

R10...4.3 K $\Omega$

R11...5.6 K $\Omega$

R12...8.2 K $\Omega$

R13 ...12 K $\Omega$

R14...16 K $\Omega$

R15...24 K $\Omega$

## 2. Condensateurs :

C1...220 nF polyester

C2...1  $\mu$ F polyester

C3...100  $\mu$ F électrolytique/16V

C4 à C6 100 nF polyester

# Nomenclature

---

## **3. Semi-conducteurs :**

IC1 à IC3... LM324

DS1 - DS2 ... 1N4148

DL1 à DL12...LED

## **4. Divers**

J1 : connecteur mâle 3 broches + cavalier

Supports : 14 broches

# **Introduction générale**

## Introduction générale

---

Dans l'électronique, dans les techniques, dans la technologie, et dans la plupart des domaines nous sommes amenés à utiliser des grandeurs. Ces grandeurs sont mesurées, surveillées, enregistrées, transformées, observées et exploitées de diverses façons dans des systèmes réels différents. Il est important lorsqu'on travaille avec diverses grandeurs d'être en mesure de représenter correctement et précisément leurs valeurs. Il y a fondamentalement deux manières de représenter la valeur d'une grandeur : la manière analogique et la manière numérique.

Dans notre réalisation on a choisi la manière numérique, s'agit d'un indicateur lumineux qui consiste une barre de douze LED.

Notre mémoire est présenté comme suit :

Dans le premier chapitre nous allons donner une idée générale sur les indicateurs lumineux.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons un schéma synoptique de notre circuit électronique, ensuite on donne le principe de fonctionnement de chaque étage.

Enfin le troisième chapitre consiste la présentation du circuit électrique, son fonctionnement et sa réalisation pratique.

Finalement, nous terminons notre mémoire avec une conclusion générale.

**Chapitre I :**

**Généralités**

Dans ce chapitre, nous présentons les indicateurs lumineux d'une manière générale.

## **I.1. Définition :**

De très nombreuses significations ont été données au terme indicateur.

Le Grand Robert fournit ainsi, parmi d'autres, les définitions et exemples suivants :

« Instrument servant à fournir des indications quantitatives (sur un phénomène, un processus) à l'utilisateur. Indicateur de niveau, indicateur lumineux, indicateur de pression, d'altitude, indicateur de vitesse ; dispositif capable de donner des indications.

Indicateur de changement de direction, variables dont certaines valeurs sont significatives (d'un état). Indicateur d'alerte, indicateur de tendance, par extension Indicateur de santé ».

D'autres approches sont plus restrictives. Selon la norme ISO 8402, un indicateur est une

« Information choisie, associée à un phénomène, destinée à en observer périodiquement les évolutions au regard d'objectifs périodiquement définis ». Suivant cette définition, l'existence d'informations numériques et répétées est donc nécessaire pour qu'une information quantitative soit qualifiée d'« indicateur ».

Au total, un indicateur est une variable qui décrit un élément de situation ou une évolution d'un point de vue quantitatif. C'est un outil d'aide à la décision, dont l'utilisation s'inscrit dans une démarche qui répond à un objectif et se situe dans un contexte donné. L'indicateur n'a d'intérêt que par les choix qu'il aide à faire dans ce cadre [1].

## **I.2. Schéma de principe d'un indicateur :**

Un indicateur est quantitatif, obtenu à partir de données résultant d'une mesure. La première étape consiste donc à la définition du champ de mesure, c'est à dire du domaine auquel on s'intéresse et sur lequel va porter la mesure.

- Une fois le champ de mesure défini, on passe à la définition du but que l'on cherche à atteindre dans ce champ. C'est l'étape suivante, le choix des objectifs. A ce stade de la réflexion, les objectifs n'ont pas besoin d'être quantifiés, leur définition permet en fait de passer à l'étape suivante, l'identification
- des variables. On recherche à ce stade les éléments qu'il est nécessaire de suivre pour se situer par rapport aux objectifs.

- Ces variables doivent être traduites par des paramètres mesurables, qui peuvent être nombreux et parmi lesquels il est nécessaire de faire un tri selon l'importance du paramètre ou son accessibilité. C'est l'étape de choix des paramètres mesurables.
- Une fois cette sélection des paramètres menée à bien, il est nécessaire de les transcrire en données quantifiables, et éventuellement de les combiner pour obtenir un indicateur global.

C'est l'étape de sélection de l'indicateur. On obtient ainsi un corps d'indicateur, censé être représentatif du domaine ou du phénomène que l'on veut observer ou suivre.

- Avant de le mettre en œuvre, il est préférable de vérifier leur cohérence et leur pertinence. C'est l'étape de validation. La lecture de l'indicateur doit permettre, sans ambiguïté, de faire le point sur le champ de mesure choisi. A ce stade, on réalise en fait une simple vérification de la cohérence dans le suivi des étapes précédentes. Une vérification approfondie doit être régulièrement effectuée pendant l'utilisation réelle de l'indicateur, notamment pour vérifier sa validité dans le temps.
- On dispose finalement d'un indicateur, a priori pertinent. Pour en faire un véritable outil d'indication, il est nécessaire de l'organiser dans une présentation offrant une bonne visualisation des résultats. C'est la dernière étape, l'élaboration de l'indicateur, qui doit présenter l'ensemble des résultats de façon lisible et facilement compréhensible. A ce niveau, il est souhaitable de préciser les différents attributs de cet indicateur.
- En effet, un indicateur doit avoir un nom, une définition, un mode d'affichage, une unité de mesure.

Ces étapes successives sont représentées dans la figure I.1. [2].

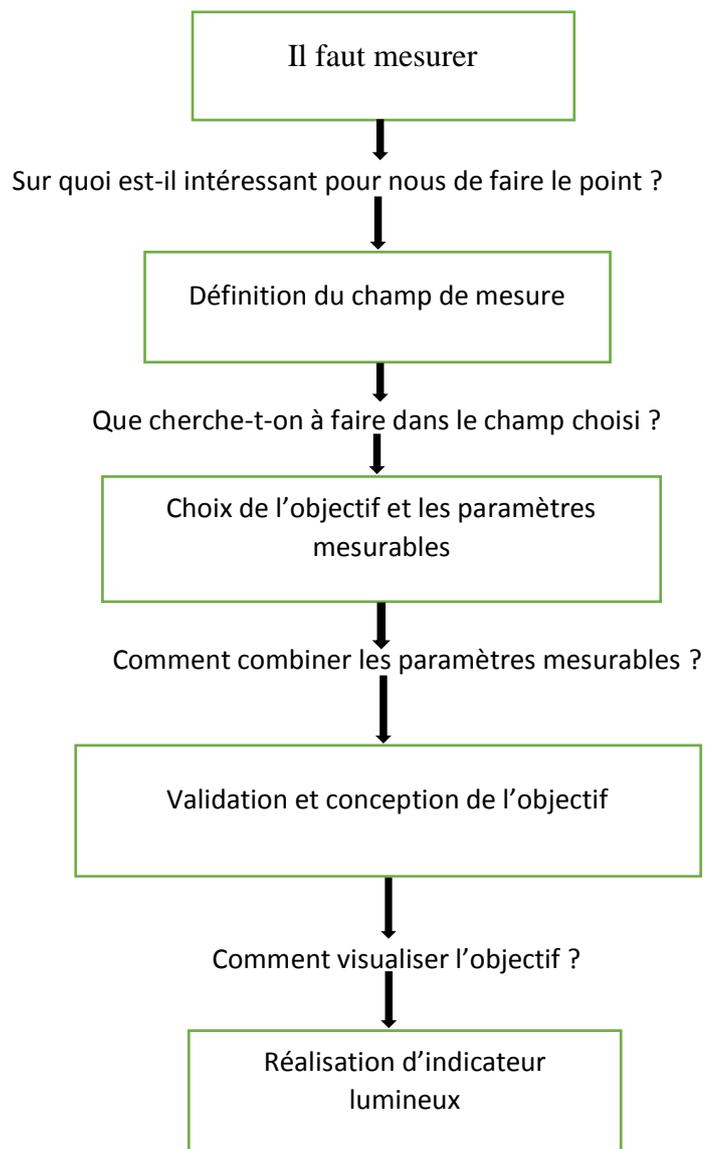


Figure I.1 : Schéma de conception d'un indicateur [2].

## I.3. Historique :

Pendant longtemps, le meilleur moyen de mesurer une tension électrique était le galvanomètre à aiguille. Celui-ci a une caractéristique de réponse dynamique (balistique) fixée par ses caractéristiques électromécaniques, souvent assez lente.

L'arrivée des indicateurs lumineux a permis d'augmenter les possibilités de mesure en offrant des systèmes de visualisation plus rapides et reflétant mieux les niveaux instantanés, éventuellement de mémoriser les crêtes, ou d'amortir le retour pour améliorer la lisibilité.

Si on recherche de bons schémas pour réaliser des voltmètres ou des VU-mètres linéaires ou logarithmiques pour amplificateurs BF, pour l'accord des récepteurs, ou encore pour d'autres instruments de mesure, avec notre montage à barre de LED on peut remplacer les galvanomètres à aiguille.

Depuis l'arrêt de la fabrication des circuits intégrés de la série UAA170 -AAA180 et des plus récents LM3914-LM3915 qui étaient utilisés pour réaliser des indicateurs à LED simples, beaucoup de lecteurs sont en difficulté car ils ne trouvent pas des circuits intégrés équivalents.

Beaucoup d'entre nous pourtant se rappellent combien ils nous étaient utiles ces indicateurs à LED (le plus souvent appelés VU-mètres à LED) qui permettaient de doter de deux VU-mètres –justement- un amplificateur Hi-Fi, mais également de fabriquer des voltmètres simples en continu ou en alternatif ou encore des indicateurs d'accord pour récepteurs ou autres instruments de mesure, sans avoir à acheter de coûteux instruments à aiguille.

Mais aujourd'hui on ne retrouve plus ces circuits intégrés et les jeunes ne peuvent pas réaliser ces montages qui autrefois ne revenaient pas cher du tout. Pour résoudre ce problème, nous avons décidé de réaliser un indicateur à LED simple fonctionnant avec des amplificateurs opérationnels. Si on met la colonne des LED à la verticale et si on utilise ce circuit comme instrument de mesure, on obtient une lecture immédiate et si nous allumons la colonne des LED du bas vers le haut, nous saurons instantanément si le signal tend à monter ou bien à descendre [3].

### I.4. Galvanomètre à aiguille :

Est l'un des modèles d'ampèremètre de type analogique. L'appareil est muni d'une aiguille permettant de visualiser la mesure. L'aiguille est chargée d'amplifier visuellement un mouvement, elle permet la lecture directe en se déplaçant devant une échelle graduée avec les valeurs à mesurer [4].

#### I.4.1. Caractéristiques générales :

Un galvanomètre se caractérise essentiellement par :

- Sa sensibilité « s » : elle donne le nombre de divisions de l'échelle de lecture correspondant à une variation de courant d'une unité (généralement le microampère). Pour les appareils à spot lumineux, la sensibilité s'exprime souvent en millimètres par microampère ;
- Sa résistance interne « ri » ;
- Sa classe de précision : elle donne, en pourcentage du calibre, l'incertitude absolue sur la valeur mesurée,
- Son mode de pose : vertical, horizontal ou oblique (à respecter sous peine d'erreurs de mesure) [4].

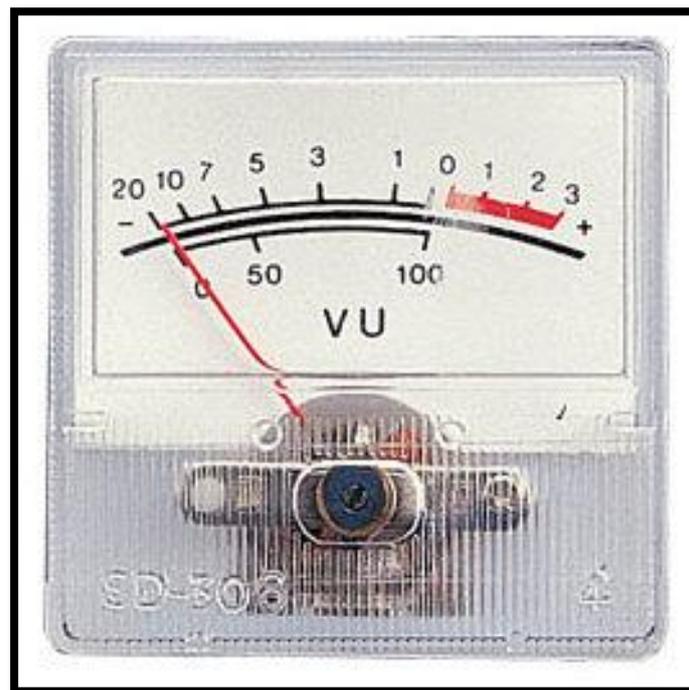


Figure I.2 : Galvanomètre dédié vu-mètre [5].

La photo montre un galvanomètre dédié vu-mètre... On pourrait très bien se servir de ce galvanomètre pour afficher une tension continue en sortie d'une alimentation secteur de laboratoire, après avoir remplacé le papier gradué en unités Vu par un papier gradué en unités Volts.

## I.5. Quelque type d'indicateur :

Il existe 4 moyens de contrôler les niveaux de manière visuelle : le LU-mètre, le crête-mètre, le peak-mètre, le VU-mètre.

### I.5.1. Le crête-mètre :

Doté d'un temps de montée de 10ms et d'un temps de descente de 1,5s, le crête-mètre est beaucoup plus réactif aux événements courts, et donne donc plutôt une moyenne des crêtes du signal.

Le 0 CM correspond à +12dBu. Et le 0 VU correspond au -8 CM. Le crête-mètre est généralement gradué de -50dB à +5dB ou +10Db [6].



Figure I.3 Illustration d'un crête mètre [6].

### I.5.2. Le peak-mètre :

Gradué en dBfs, il est apparu avec le numérique. En numérique, le dépassement du niveau maximal admissible se traduit par un écrêtage brutal du signal et donc par un craquement désagréable à l'oreille. Pour simplifier les choses les constructeurs ont instauré un visualiseur dont la valeur maximale avant saturation est le 0dB fs.

Le 0 VU correspond au -18 FS. Selon la qualité de l'appareil utilisé, le 0FS correspond à un niveau de sortie de +22dB, +24dB, +26dB voire +28Db [6].

### I.5.3. Le LU-mètre :

Le LU-mètre (Loudness Unit) est assez récent et se trouve de plus en plus en télévision et en radio. Le Loudness est une mesure subjective qui donne une valeur qui reflète l'intensité sonore perçue par l'oreille. Par rapport au Vu-mètre qu'il tend à remplacer, il intègre les notions de largeur de bande et de courbe de pondération dans ses calculs. On est donc sensé avoir une visualisation du niveau moyen très proche du ressenti réel. Le niveau moyen d'exploitation est recommandé a -23 LUfs par la norme EBU R128 [6].

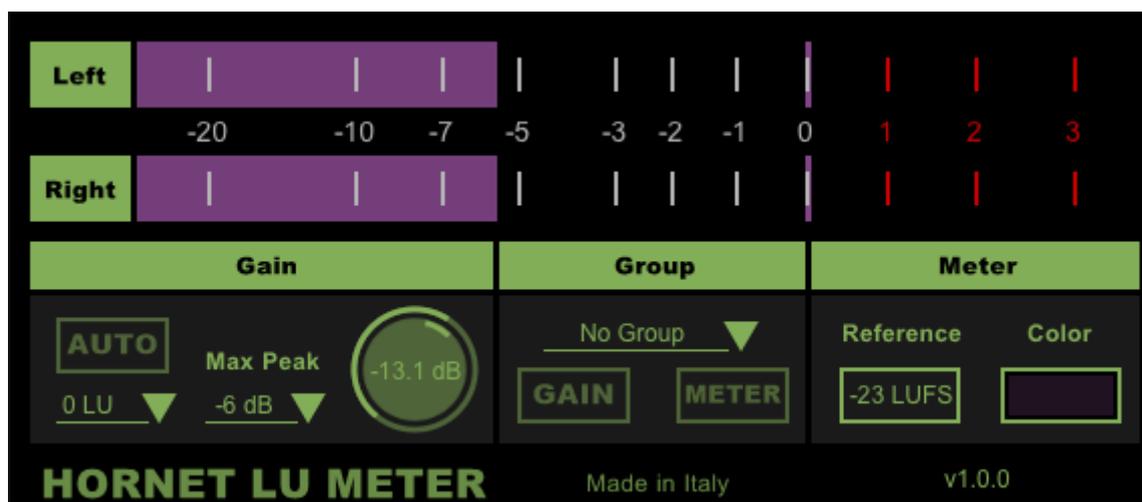


Figure I.4 : Un hornet LU-mètre [8]

### I.5.4. Le VU-mètre :

(Volume Unit) : c'est un afficheur soit à aiguille, soit à LED, qui donne un niveau moyen du signal. Cet afficheur donne un niveau assez proche de la perception de volume sonore de notre oreille. Il a un temps de montée/descente d'environ 300 ms, ce qui fait qu'il ne montre

pas les crêtes et les évènements très rapides, mais bien une moyenne. Il est gradué généralement de -20dB à +3dB [6].

#### I.5.4.1. Le VU-mètre à aiguille :



**Figure I.5 : VU-mètre à aiguille [6].**

Le Vu-mètre (VU = Volume Unit, indicateur de volume) est largement utilisé sur l'ensemble des équipements fabriqués aux US. Il s'agit d'un instrument composé d'un redresseur et d'un système mécanique à aiguille, permettant le contrôle ou des mesures d'alignement du niveau électrique d'un signal audio. Ses caractéristiques et performances sont définies par la spécification C16.5-1942 de l'ANS (American National Specification), et seuls les vumètres répondant à cette spécification sont censés donner une lecture significative d'un signal audio complexe, telle la parole ou la musique.

#### I.5.4.2. Le VU-mètre à LED :

C'est un afficheur à LED plus précis dans les résultats, permis d'augmenter les possibilités de mesure en offrant des systèmes de visualisation plus rapides et reflétant mieux les niveaux instantanés.



Figure I.6 : VU-mètre à LED [7].

### I.5.4. 3. Caractéristiques :

Un vrai VU-mètre mesure la puissance d'un signal électrique porteur de sons (volume sonore). Ce volume, à rattacher à une notion de puissance, n'est pas fonction seulement d'un niveau, mais aussi d'un temps. Apprécier la puissance d'un son, c'est donc apprécier le temps pendant lequel un niveau donné est maintenu.

En audionumérique la mesure VU n'a de sens que sur un signal borné limité à 0db PEAK, c'est à dire sur un signal conforme à sa représentation sur son support de stockage. L'intérêt de la mesure VU en audionumérique est d'apprécier l'évolution de la puissance du son, alors que le niveau PEAK reste stable (proche de 0db).

#### **En résumé :**

On trouve les indicateurs lumineux dans tous les domaines : santé, musique ...

De nos jours, du fait de l'utilisation croissante des indicateurs lumineux dans les procédés industriels, il est préférable d'utiliser ces indicateurs pour être plus précis dans les résultats.

Les moyens pour assurer ces indicateurs lumineux sont plus accessibles et plus performants. Lors de l'acquisition de nouvelles mesures, il est fortement recommandé de les immuniser suffisamment pour maintenir le bon fonctionnement des équipements en cas de perturbations électriques.

## **Chapitre II :**

### **Etude théorique des différents étages**

### II.1. Introduction :

Dans ce chapitre seront présentées quelques généralités sur les différents composants de base constituant notre circuit qui est un indicateur lumineux, ce qui va servir par la suite à la bonne compréhension du principe de son fonctionnement. Nous allons dans un premier temps donner le schéma synoptique du circuit, en définissant le rôle de chaque partie et en introduisant par la suite des notions sur les principaux circuits électroniques de base constituant chaque partie de notre système.

### II.2. Schéma synoptique du circuit :

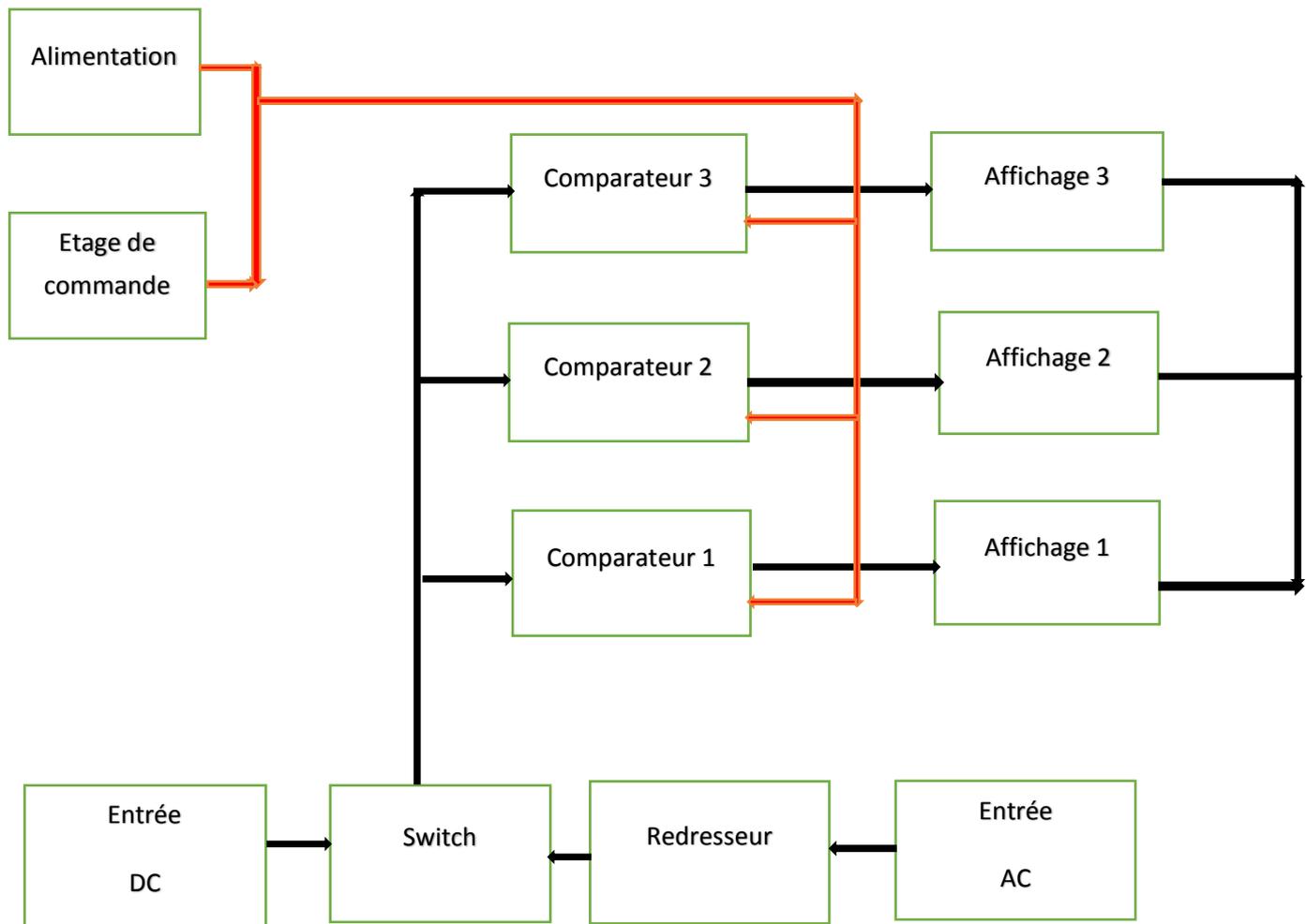


Figure II.1 : Schéma synoptique du montage.

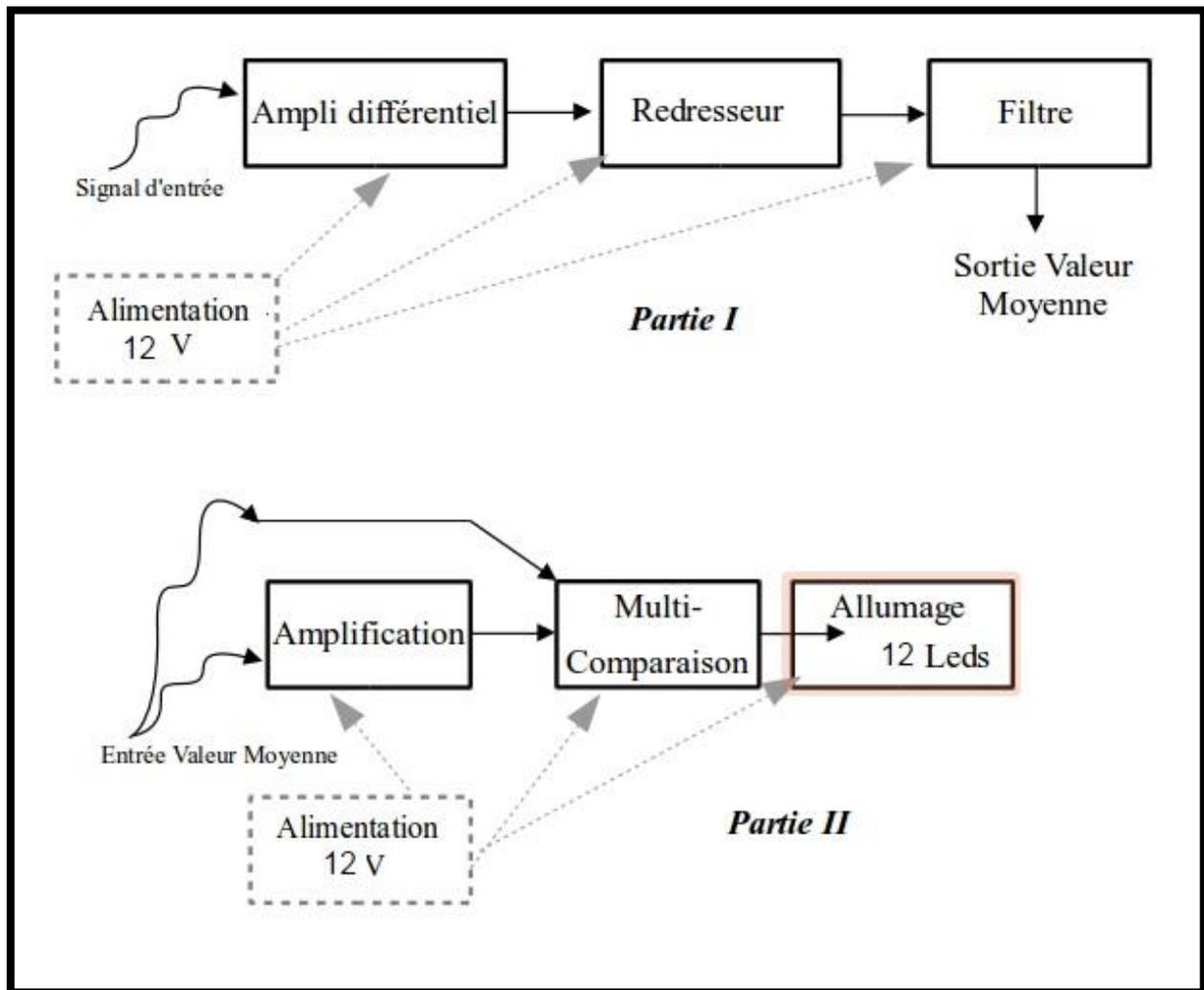
**II.3. Schéma Bloc Global d'indicateur :**

Figure II.2 : Schéma Bloc Global d'indicateur [23]

**II.4. Fonctionnement global du montage :**

L'objectif de notre projet est de réaliser un circuit qui est un indicateur lumineux sert à tester le niveau de la tension on utilisant une barre de LED.

Notre montage est basé sur l'utilisation de trois circuit intégrés LM324, qui intègrent chacun quatre amplificateurs opérationnels (AOP). Quand va le réaliser en échelle linéaire et en échelle logarithmique.

La lecture linéaire est très utile pour réaliser des voltmètres en CC ou CA, ou des indicateurs d'accord ou bien encore pour contrôler la charge d'une batterie de voiture ou de moto.

Mais on peut en outre réaliser des thermomètres et bien d'autres instruments de mesure pour lesquels il est nécessaire d'avoir une échelle linéaire.

Si en revanche nous devons réaliser des wattmètres ou bien des VU-mètres, etc. ...pour lesquels une échelle logarithmique est cette fois nécessaire.

Notre indicateur lumineux sera réalisé avec une tension d'alimentation de type simple, +12V, pas besoin d'alimentation symétrique. Cette réalisation est simple et ne nécessite que des composants faciles à trouver et pas chers.

### II.5. Etude théorique des différents étages :

#### II.5.1. Alimentation :

L'alimentation est l'un des éléments basique de l'électronique et de l'électricité. Dès que l'on a besoin d'exciter un circuit en tension ou courant, on a besoin d'une alimentation. Sa fonction consiste à délivrer une tension continue dont l'amplitude est indépendante du courant de sortie et des variations de tension de la source où elle est branchée.

Les alimentations DC moderne sont des appareils évolués capables de délivrer une tension ou un courant constant et réglé fiable. L'alimentation est donc un convertisseur alternatif-continu qui prélève de l'énergie au réseau électrique 230V/50Hz pour en restituer une partie à la charge. L'isolement entre le réseau et la charge est assuré par un transformateur abaisseur de tension (isolation galvanique). La tension récupérée au secondaire est redressée (pont de diodes) puis filtrée pour diminuer le taux d'ondulation (condensateur de filtrage) avant d'être appliquée à un dispositif électronique de régulation de tension commandé par l'opérateur. Ce dispositif est réalisable de manière différente pour une alimentation linéaire ou par découpage [22].

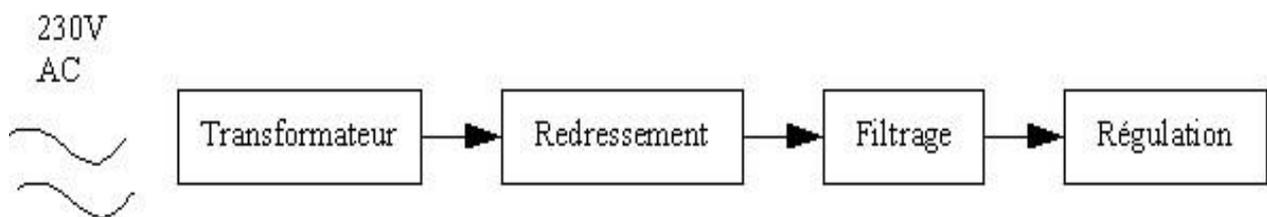


Figure II.3 : Schéma global d'une alimentation [22].

### II.5.2. Amplificateur :

#### II.5.2.1. Introduction :

Un amplificateur électronique est un système électronique augmentant la tension et/ou l'intensité d'un signal électrique. L'énergie nécessaire à l'amplification est tirée de l'alimentation du système. Un amplificateur parfait ne déforme pas le signal d'entrée : sa sortie est une réplique exacte de l'entrée mais d'amplitude majorée. Les amplificateurs électroniques sont utilisés dans quasiment tous les circuits électroniques : ils permettent d'élever un signal électrique, comme la sortie d'un capteur vers un niveau de tension exploitable par le reste du système. Ils permettent aussi d'augmenter la puissance maximale disponible que peut fournir un système afin d'alimenter une charge comme une antenne ou une enceinte.

Le premier amplificateur électronique fut réalisé en 1906 par l'inventeur américain Lee De Forest. En 1908, il perfectionna son invention en lui rajoutant une électrode, donnant ainsi naissance à la première triode. Elle fut vite perfectionnée par l'ajout de deux grilles supplémentaires, palliant certains effets indésirables. Ce tube pentode sera rapidement adopté pour la plupart des amplificateurs à tubes, pour son meilleur rendement. Les amplificateurs à tubes sont aussi connus sous le nom d'amplificateurs à « lampes », en raison de la forme des tubes et de la lumière qu'ils émettent lorsqu'ils fonctionnent. Depuis le début des années 1960, grâce à l'apparition des premiers transistors de puissance vraiment sûrs et au coût réduit, la majorité des amplificateurs utilise des transistors. On préfère les transistors aux tubes dans la majorité des cas car ils sont plus robustes, fonctionnent à des tensions plus faibles et sont immédiatement opérationnels une fois mis sous tension (contrairement aux tubes électroniques qui nécessitent une dizaine de secondes de chauffage).

Les tubes sont toujours utilisés dans des applications spécifiques comme les amplificateurs audio, surtout ceux destinés aux guitares électriques, et les applications de « très » forte puissance ou à haute fréquence comme pour les fours à micro-ondes, le chauffage par radiofréquence industriel, et l'amplification de puissance pour les émetteurs de radio et de télévision [10].

#### II.5.2.2. Principe de fonctionnement :

##### II.5.2.2.1. Principes généraux :

Un amplificateur électronique utilise un ou plusieurs composants actifs (transistor ou tube électronique) afin d'augmenter la puissance électrique du signal présent en entrée. Les

composants actifs utilisés dans les amplificateurs électroniques permettent de contrôler leur courant de sortie en fonction d'une grandeur électrique (courant ou tension), image du signal à amplifier.

Le courant de sortie des composants actifs est directement tiré de l'alimentation de l'amplificateur. Suivant la façon dont ils sont implémentés dans l'amplificateur, les composants actifs permettent ainsi d'augmenter la tension et/ou le courant du signal électrique d'entrée.

Les amplificateurs peuvent être conçus pour augmenter la tension (amplificateur de tension), le courant (amplificateur tampon ou suiveur) ou les deux (amplificateur de puissance) d'un signal. Les amplificateurs électroniques peuvent être alimentés par une tension simple (une alimentation positive ou négative, et la masse) ou une tension symétrique (une alimentation positive, une négative et la masse). L'alimentation peut aussi porter le nom de « bus » ou « rail ». On parle alors de bus positif ou négatif et de rail de tension positive ou négative.

Les amplificateurs sont souvent composés de plusieurs étages disposés en série afin d'augmenter le gain global. Chaque étage d'amplification est généralement différent des autres afin qu'il corresponde aux besoins spécifiques de l'étage considéré. On peut ainsi tirer avantage des points forts de chaque montage tout en minimisant leurs faiblesses [10].

### **II.5.2.2.1.1. Bande Passante :**

La « bande passante à -3 dB » d'un amplificateur est la gamme de fréquences où le gain en tension de l'amplificateur est supérieur au gain maximum moins trois décibels. La bande passante est habituellement notée B ou BP. Occasionnellement on rencontre des bandes passantes plus larges, par exemple la bande passante à -6 dB, gamme de fréquences où le gain en tension est supérieur à la moitié du gain maximum [10].

### **II.5.2.2.1.2. Linéarité :**

La linéarité d'un amplificateur correspond à sa capacité à garder son gain constant quel que soit l'entrée. La plus grande limitation de linéarité vient de l'alimentation de l'amplificateur : la tension d'entrée ainsi que celle de sortie ne peuvent dépasser la tension d'alimentation de l'amplificateur. Lorsque cela arrive, on parle de saturation de l'amplificateur. La linéarité d'un amplificateur est aussi limitée par sa vitesse de balayage (ou Slew rate) qui représente la vitesse de variation maximale qu'il peut reproduire. Lorsque la variation du signal d'entrée d'un amplificateur est supérieure à sa vitesse de balayage, sa sortie est une droite de pente SR (La vitesse de balayage est exprimée en V/ $\mu$ s) [10].

### II.5.3. Amplificateur Opérationnel (AOP) :

Dès 1965, l'intégration des éléments électroniques (diodes, transistors, etc.) a permis la réalisation d'un circuit électronique complexe réalisant la fonction d'un amplificateur petits signaux.

Cet amplificateur est désigné dans la pratique de l'électronique comme un élément intégré appelé "Amplificateur opérationnel" ou "ampli OP".

#### II.5.3.1. Présentation :

L'amplificateur opérationnel (ou amplificateur linéaire intégré : **ALI**) est un composant en technologie intégrée qui est prêt à être opérationnel, ce composant comporte :

- 2 broches d'alimentations  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$
- 2 entrées dites différentielles :  $E^+$  entrée non inverseuse et  $E^-$  entrée inverseuse,
- Une sortie S.

Le fonctionnement de l'amplificateur opérationnel impose une seule alimentation ou une alimentation symétrique (deux sources de tension  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$ , qu'on ne représente pas sur les schémas). On appelle tension différentielle (qu'on note  $\varepsilon$ ), la ddp entre les entrées  $v^+$  et  $v^-$ .

#### a) $\varepsilon = v^+ - v^-$

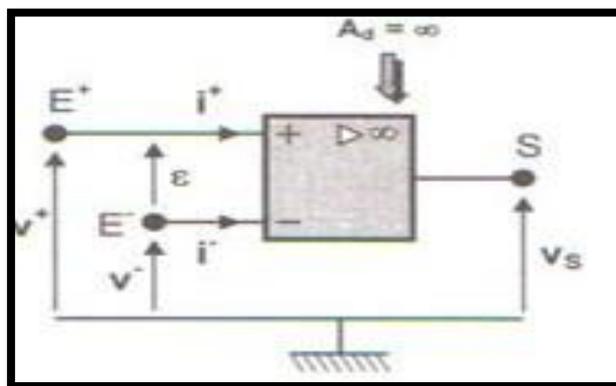


Figure II.4 : Amplificateur opérationnel [11].

#### **L'AOP a deux modes de fonctionnement :**

-Mode (ou régime) linéaire : on a forcément une contre-réaction négative (liaison par composant ou un simple fil entre la sortie S et l'entrée  $e^-$  de l'AOP), dans ce cas la tension  $\varepsilon$  sera négligée.

-Mode (ou régime) non linéaire : il nait y a pas de contre réaction négative, dans ce cas l'AOP fonctionne en saturation.

La sortie ne peut prendre que deux valeurs :  $+V_{sat}$  ou  $-V_{sat}$ , la tension  $\epsilon$  ne peut être négligée.

**b) Amplificateur opérationnel parfait (ou idéal) :**

Ce modèle permet de prévoir le comportement de l'amplificateur :

Le modèle de l'AOP idéal comporte :

- Une résistance d'entrée différentielle infinie, ce qui implique  $i^+ = i^- = 0$ .
- Une amplification différentielle (en boucle ouverte)  $A$  infinie, quelle que soit la fréquence.
- On supposera qu'en **régime linéaire** :  $\epsilon = 0 \implies v^+ = v^-$  [22]

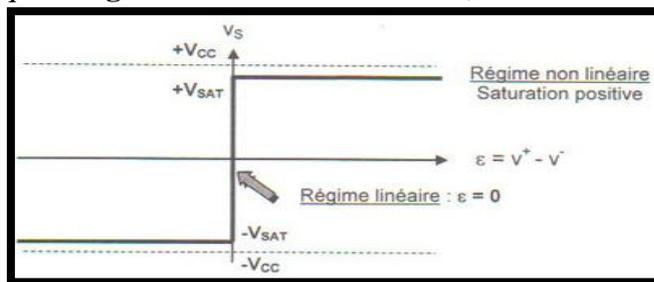


Figure II.5 : Les modes de fonctionnement du l'AOP [11].

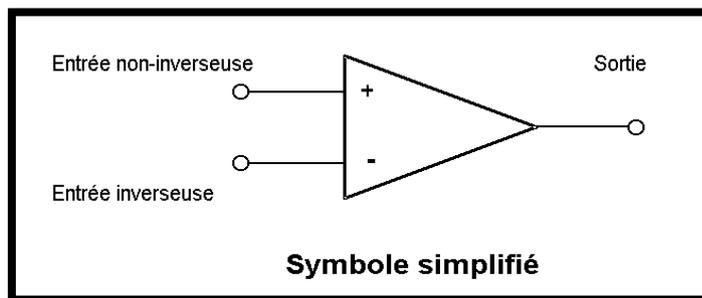


Figure II.6 : Symbole simplifié de l'ampli OP [12].

Pour que l'ampli OP réalise sa fonction, il doit nécessairement être alimenté en courants continus, il lui faut une alimentation continue, généralement réalisée par une alimentation fractionnée ( $V+$  et  $V-$ ).

Les amplis OP ont des caractéristiques quasi idéales par rapport aux montages à transistors bipolaires ou à effet de champ [12].

### II.5.3.2. Montage suiveur :

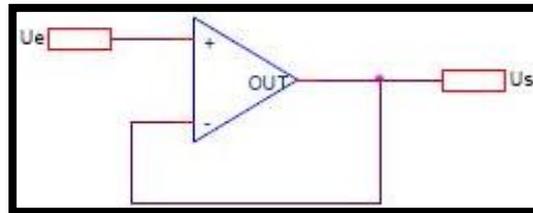


Figure II.7 : Montage suiveur [9].

Les caractéristiques pratiquement idéales d'un ampli OP permettent un usage multiple de ce composant intégré. Afin de déterminer s'il est utilisé en amplificateur petits signaux, il suffit de repérer s'il existe une connexion entre la sortie et l'entrée inverseuse de l'ampli. L'exemple le plus caractéristique est l'amplificateur suiveur car la connexion est directement réalisée par un fil.

Le gain en tension de ce montage est égal à l'unité  $AU = 1$  ; ce qui signifie que l'amplitude du signal est la même à la sortie qu'à l'entrée  $U_S = U_E$ . De prime abord ce montage est inutile puisque nous avons le même signal, mais c'est oublier le rôle des impédances.

Les impédances d'entrée et de sortie sont celles de l'ampli OP seul, à savoir l'ordre du Mégohm pour  $Z_E$  et de  $75\Omega$  pour  $Z_S$ . Ceci permet de disposer d'une puissance de signal beaucoup plus grande à la sortie qu'à l'entrée.

Ce type de montage est très souvent utilisé lorsque le signal d'entrée est issu d'un capteur ou lorsqu'il ne faut pas trop "charger" l'étage précédent [12].

La tension  $U_S$  de sortie est donnée par :

$$U_S = U_E$$

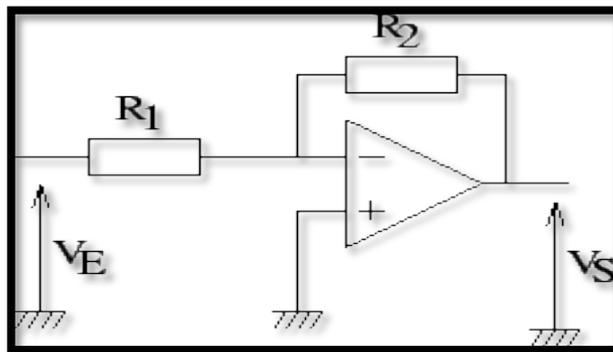
Possédant une faible impédance de sortie, l'amplificateur opérationnel se comporte comme une source de tension. Cela est utile lorsque qu'en entrée, on applique une tension ayant un faible pouvoir de support de la charge. On parlera ainsi d'étage "tampon" ou "buffer".

Bien sûr cela ne va pas sans **modification** du signal d'entrée : il faut donc être prudent à l'offset introduit par l'AOP, la distorsion qu'il va insérer sur le signal d'entrée, son produit gain bande et ainsi son pouvoir à laisser passer correctement des signaux à fréquence élevées, sa dynamique d'entrée et de sortie afin de ne pas saturer sa sortie, le bruit qu'il insère etc...[09].

### II.5.3.3. Montage amplificateur inverseur :

Un amplificateur inverseur se définit par un dispositif dont le potentiel de sortie  $V_S$  est proportionnel au potentiel d'entrée  $V_1$  mais inversé de  $180^\circ$ . Le coefficient de proportionnalité  $A_u$ , appelé amplification en tension en boucle fermée, est négatif.

$$U_S = A_{UBF} \times U_E \quad \text{pour } -V_{SAT} < V_S < +V_{SAT}$$



**Figure II.8 : Montage amplificateur inverseur [12].**

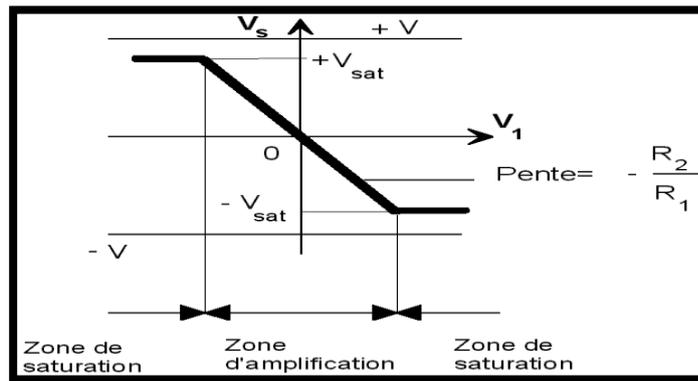
On obtient un amplificateur inverseur en réinjectant sur l'entrée négative de l'Ampli OP une partie de la tension de sortie  $V_S$  à travers la résistance  $R_2$ .

Le signal  $V_1$  est injecté dans le montage à travers la résistance  $R_1$ . L'entrée positive de l'Ampli OP est reliée directement à la masse, l'entrée positive de l'Ampli OP est parfois reliée à la masse à travers une résistance dont la valeur vaut  $R_2 // R_1$  afin de réduire la tension de décalage :

$$V_S = -V_1 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1}\right) \quad [13]$$

L'expression de la fonction de transfert  $V_S = f(V_1)$  s'obtient en exprimant l'égalité de la valeur des courants dans les résistances  $R_1$  et  $R_2$  mais sans oublier que ces courants sont de signes opposés. La tension d'entrée  $V_1$  se retrouve aux bornes de la résistance  $R_1$  et la tension de sortie  $V_S$  aux bornes de la résistance  $R_2$  [12].

**II.5.3.3.1. Fonction de transfert :**



**Figure II.9 : Fonction de transfert [12].**

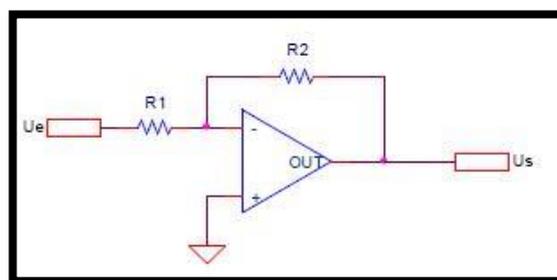
**II.5.3.3.2. Propriétés du montage :**

La résistance d'entrée du montage est égale à la résistance R1 par le fait que le potentiel à l'entrée inverseuse ne varie pas. Nous parlons d'une mise à terre virtuelle (ou masse virtuelle) de l'entrée négative de l'Ampli OP.

La résistance de sortie du montage est grande, plus grande que celle de l'ampli OP seul, par la contre-réaction de tension appliquée à l'Ampli OP. L'amplification en tension Au est constante (elle ne varie pas) dans la zone d'amplification et dans une plage de fréquence donnée.

Le gain en tension du montage  $A_u = R2 / R1$

Le montage se comporte comme un adaptateur d'impédance facile à réaliser [12].



**Figure II.10 : Montage amplificateur inverseur [09]**

$$U_s = -\frac{R2}{R1} U_e \quad [14]$$

On remarque que la tension de sortie est inversée par rapport à l'entrée (elle est multipliée par -1) et que grâce au choix de R1 et R2, on peut insérer un gain.

On remarque aussi sur ce schéma que l'entrée non inverseuse est reliée à la masse.

L'alimentation de ce schéma se fait de manière symétrique (+Vcc, -Vcc). Nous n'avons donc pas inséré de composante continue à notre signal de sortie. Si l'amplificateur opérationnel est alimenté de manière non symétrique (+Vcc, GND), nous insérons un pont diviseur résistif, découplé en son point de sortie, sur l'entrée + de l'AOP.

D'après le principe de fonctionnement de l'AOP, si l'entrée + est reliée à la masse, l'entrée - (inverseuse) y est aussi.

D'où en entrée d'après la loi d'Ohm :

$$U_e = R_1 I_e \quad \text{et} \quad U_s = R_2 I_s \quad [15]$$

$U_e$  : tension d'entrée ;  $I_e$  : courant d'entrée.

Le courant d'entrée de l'entrée inverseuse étant très faible, on peut dire que

$$I_e = - I_s. \quad [10]$$

### II.5.3.4. Montage amplificateur non inverseur :

Un amplificateur non-inverseur se définit par un dispositif dont le potentiel de sortie  $V_s$  est proportionnel au potentiel d'entrée  $V_1$ . Le coefficient de proportionnalité  $A_u$ , appelé amplification en tension en boucle fermée, est positif [09].

$$V_s = A_u \cdot V_1 \quad \text{pour} \quad -V_{SAT} < V_s < +V_{SAT}$$

$$V_s = V_1 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{et} \quad V'_s = V_1 \quad [09].$$

Nous obtenons un amplificateur non-inverseur en réinjectant sur l'entrée négative de l'AOP une partie  $V'_s$  de la tension de sortie  $V_s$  avec un diviseur de tension formé des résistances  $R_1$  et  $R_2$ .

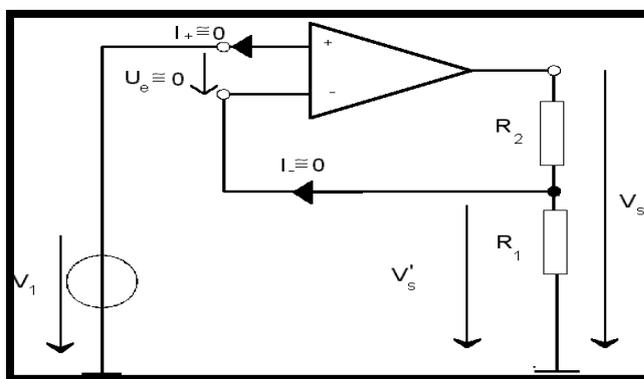


Figure II.11 : Montage amplificateur non inverseur [12].

**II.5.3.4.1. Fonction de transfert :**

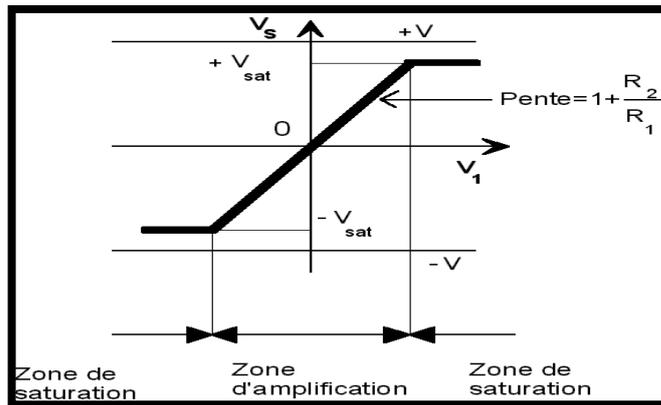


Figure II.12 : Fonction de transfert [12].

**II.5.3.4.2. Propriétés du montage :**

La résistance d'entrée du montage est quasi infinie et par conséquent ce montage ne charge pas la sortie de l'étage qui le précède.

La résistance de sortie du montage est très petite, plus faible que l'impédance de sortie de l'ampli OP seul, grâce à la contre-réaction de tension appliquée à l'Ampli OP.

L'amplification en tension  $A_u$  est constante (elle ne varie pas) dans la zone d'amplification et dans une plage de fréquence donnée.

Le gain en tension vaut  $A_u = 1 + R_2 / R_1$ . Ce montage se comporte comme un amplificateur de tension idéal dont le gain "Au" est choisi par les valeurs des résistances  $R_1$  et  $R_2$  uniquement [12].

La tension de sortie est donnée par :

$$U_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)U_e \quad [12]$$

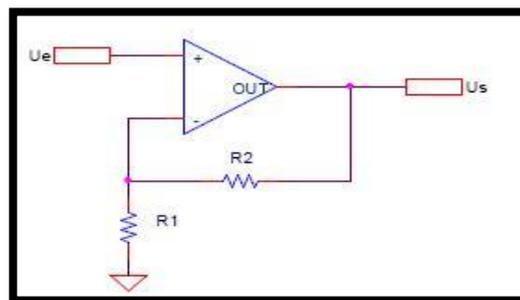


Figure II.13 : Montage amplificateur non inverseur [09].

### II.5.4. Comparateur :

#### II.5.4.1. Introduction :

Le comparateur est un amplificateur opérationnel à très haut gain et extrêmement rapide car il n'a pas de compensation en fréquence. Il n'est en effet pas prévu pour travailler dans un circuit à réaction négative, mais uniquement en boucle ouverte ou dans un circuit à réaction positive. Il est donc conçu et utilisé pour basculer rapidement d'un niveau de saturation vers l'autre.

L'utilisation d'un AOP en tant que comparateur se voit immédiatement en observant que la réaction se fait sur la borne non inverseuse. La sortie n'a alors que deux états possibles,  $V_H$  (niveau haut) et  $V_L$  (niveau bas) et leurs valeurs absolues ne sont pas nécessairement opposées. Ces deux niveaux peuvent en particulier être choisis pour être compatibles avec l'entrée d'une famille de circuits logiques. Idéalement, ils sont indépendants des tensions d'alimentation de l'AOP.

L'utilisation la plus simple d'un amplificateur opérationnel est de l'utiliser comme comparateur. Comme l'ampli-op dispose de deux entrées, on peut les utiliser pour les comparer entre elles afin d'ajuster le niveau de sa sortie. Comme pour chaque montage avec un ampli-op, une formule permet de déterminer la tension de sortie. Dans le cas d'un comparateur, la différence de tension observée entre les deux entrées sera multipliée par le gain de l'ampli-op. On appelle entrée non inverseuse l'entrée dénommée  $V_{IN(+)}$  et entrée inverseuse celle notée  $V_{IN(-)}$ .

$$V_{sortie} = Gain * (V_{IN(+)} - V_{IN(-)})$$

Il faut savoir que lorsqu'on utilise un ampli-op en mode comparateur, le gain est tellement élevé qu'on le considère comme infini. Ainsi, peu importe la différence de tension entre les deux entrées, la sortie va saturer soit positivement soit négativement.

Le gain d'un montage amplificateur opérationnel dépend :

- d'une résistance de rétroaction - ou contre-réaction (résistance entre la sortie et l'entrée inverseuse (-), et pas de résistance entre la sortie et l'entrée non inverseuse (+)).
- du rapport entre les valeurs des différentes résistances autour du circuit.

Dans un comparateur, une tension de référence est mise en place sur la borne inverseuse et la borne non inverseuse mesure la tension à comparer. La tension de référence peut être obtenue par exemple par un pont diviseur de tension.

- Si la tension à la borne + est inférieure à la tension de référence (entrée -), la tension de sortie sera "infiniment négative" (en pratique  $V_{ss}$ ).
- Si la tension à la borne + est supérieure à la tension de référence (entrée -), la tension de sortie sera "infiniment positive" (en pratique  $V_{cc}$ ) [21].

**Comparateur :**

$$\text{Si } (v^+ > v^-) V_s = V_{ss} \text{ [21]}$$

$$\text{Si } (v^+ < v^-) V_s = V_{cc} \text{ [21]}$$

### 5.4.2. Principe :

Le comparateur est un dispositif permettant de comparer une tension par rapport à une référence donnée.

Son niveau de sortie est soit positif (représenté par un état) soit négatif (au potentiel de la tension d'alimentation).

Le montage du comparateur se fait sans contre-réaction (boucle ouverte). Une référence (tension) donne le point de basculement de l'amplificateur opérationnel. Ici, la référence donnée est la masse, donc dès que la tension d'entrée du montage est supérieure de quelque mV, le circuit se met en fonction et nous trouvons en sortie un niveau haut, la tension d'alimentation positive (pour le cas du comparateur non inverseur).

Au contraire si la tension d'entrée du montage est inférieure à la référence (masse) de quelque mV, le circuit se met en fonction et nous trouvons en sortie un niveau bas (tension d'alimentation négative) [20].

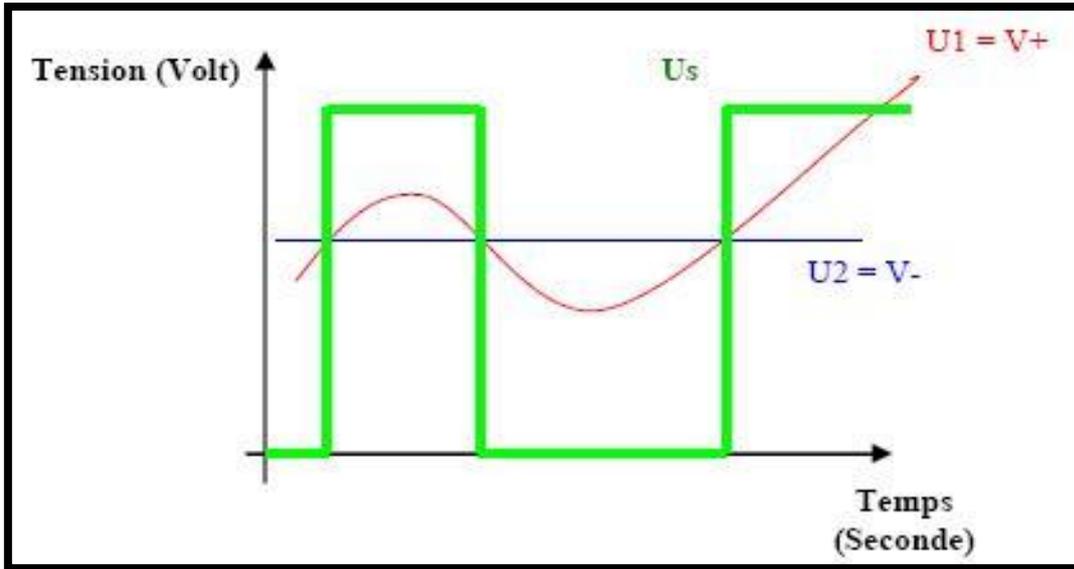


Figure II.14 : Signaux de principe d'un comparateur [09]

II.5.4.3. Comparateur non inverseur :

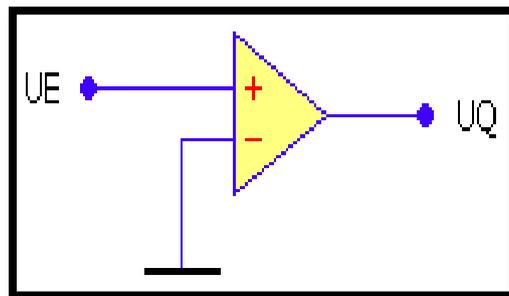


Figure II.15 : Montage d'un comparateur non inverseur [20].

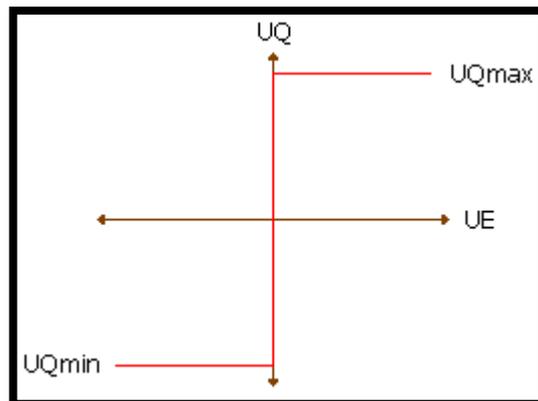


Figure II.16 : Diagramme de transfert [20].

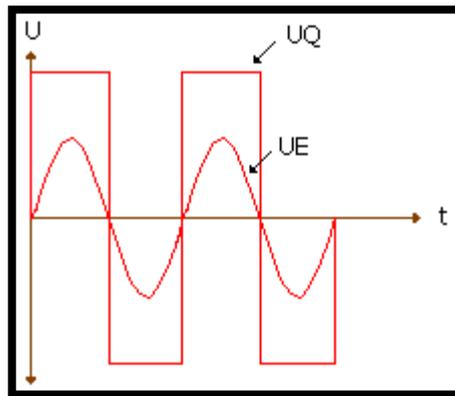


Figure II.17 : Diagramme temporel [20].

II.5.4.4. Comparateur inverseur :

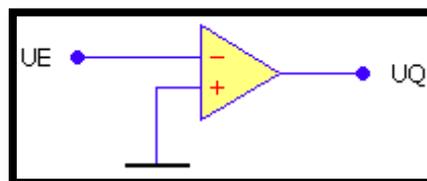


Figure II.18 : Montage d'un comparateur inverseur [20].

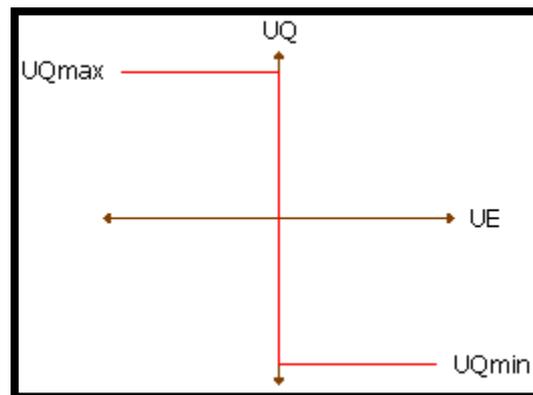


Figure II.19 : Diagramme de transfert [20].

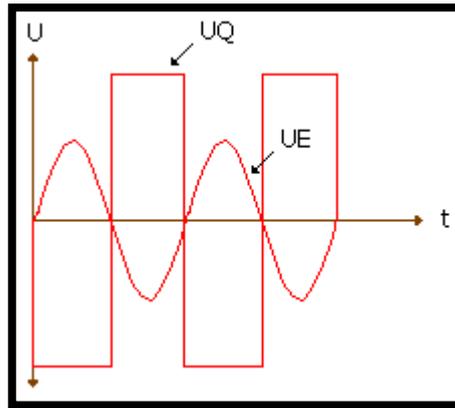


Figure II.20 : Diagramme temporel [20].

Pour le montage du comparateur inverseur :

Dès que la tension d'entrée est supérieure de quelque m V à la référence (masse), le circuit se met en fonction et délivre un niveau bas en sortie (tension d'alimentation négative).

Au contraire, si la tension d'entrée est inférieure de quelque m V, le circuit se met en fonction et nous trouvons un niveau haut (tension d'alimentation positive).

Pour le point de sensibilité au basculement :

$$UE = \frac{V^+}{AU} \quad \text{OU} \quad UE = \frac{V^-}{AU} \quad [20].$$

(Sensibilité de la tension pour laquelle le basculement est établi)

AU étant le gain en boucle ouverte de l'amplificateur opérationnel.

#### II.5.4.5. Translation du point de basculement pour les montages du comparateur :

La translation du point de basculement se fait à l'aide d'une tension qu'on insère au niveau du point de référence au basculement.

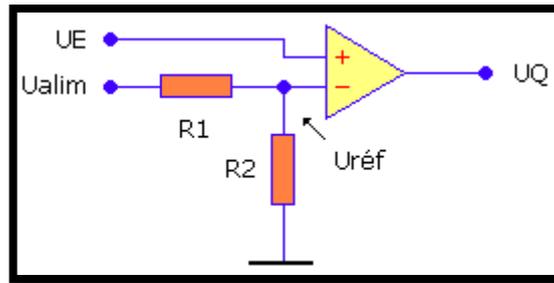


Figure II.21 : Montage du comparateur non inverseur [20].

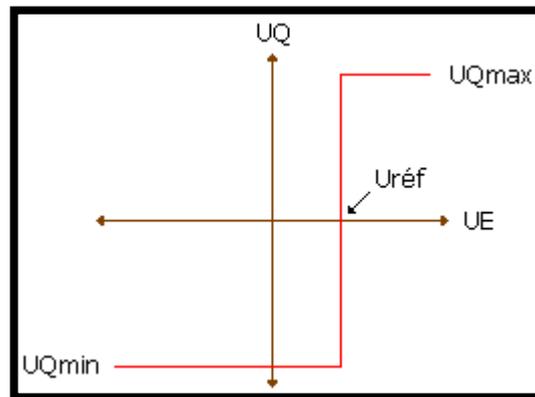


Figure II.22 : Diagramme de transfert  
Tension de référence positive  
 $U_{ref}$  = point du basculement [20].

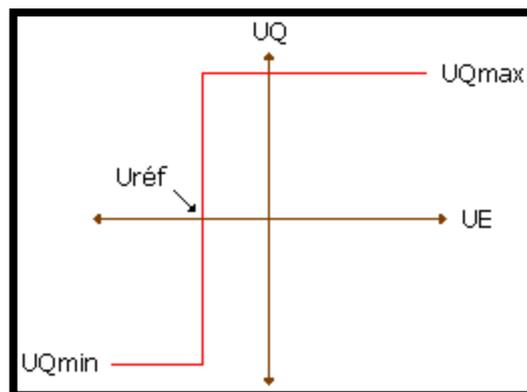


Figure II.23 : Diagramme de transfert  
Tension de référence négative  
 $U_{ref}$  = point de basculement [20].

La tension de référence fixe le point de basculement de l'amplificateur opérationnel.

II.5.4.6. Montage du comparateur inverseur :

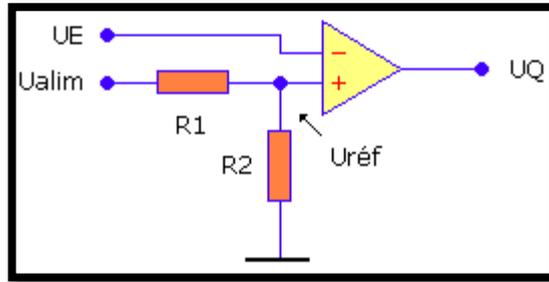


Figure II.24 : Schéma d'un comparateur inverseur [20].

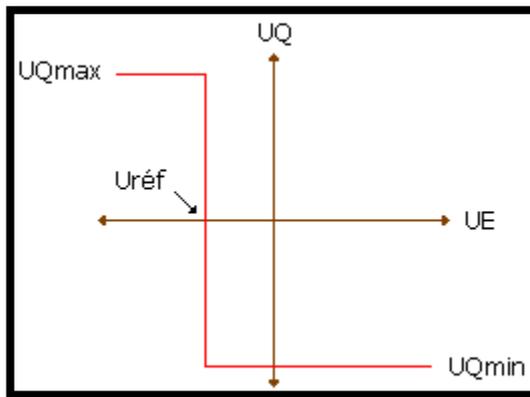


Figure II.25 : Diagramme de transfert  
Tension de référence positive [20].

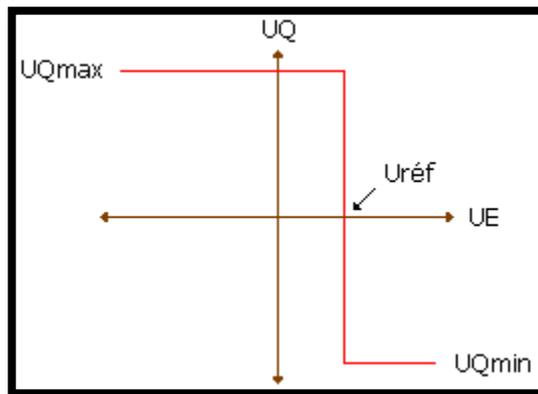


Figure II.26 : Diagramme de transfert  
Tension de référence négative [20].

$$U_{réf} = U_{alim} \frac{R_2}{R_1 + R_2} [20].$$

**II.5.5. Circuit intégré LM324 :**

L'amplificateur opérationnel quadruple avec des entrées véritablement différentielles. Il se compose de quatre amplificateurs opérationnels à gain élevé, conçus pour fonctionner avec une alimentation unique [19].

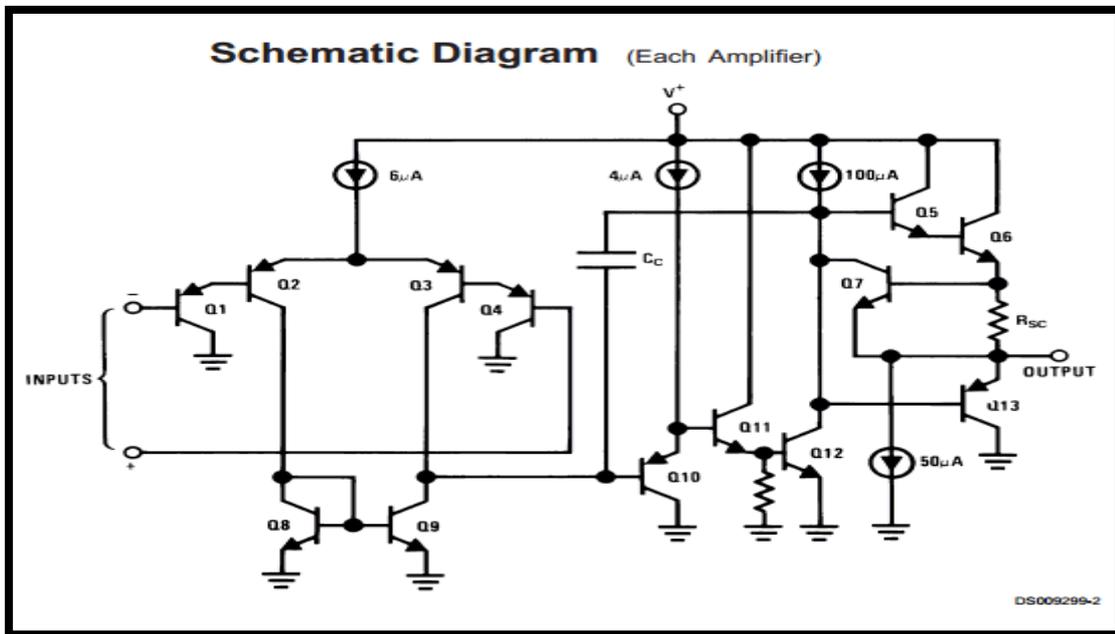


Figure II.27 : Schéma bloc du LM324 [19].

**II.5.6. Le redresseur :**

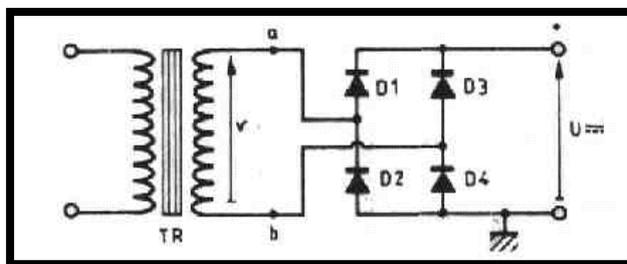


Figure II.28 : Schéma d'un redresseur [16].

Un redresseur convertit la tension alternative du secondaire du transformateur en impulsions unidirectionnelles de courant. Pour introduire cette notion de redressement, il faut tout d'abord introduire la notion de diode parce que tout simplement le redressement s'effectue à l'aide des diodes. La diode est une jonction PN à matériau semi-conducteur qui impose le

sens du courant dans la branche où elle est installée ; on dit alors que la conduction de la diode est unidirectionnelle. Pour caractériser cette dernière il suffit de préciser son courant direct maximal ( $I_{dmax}$ ) et sa tension inverse maximale ( $V_{invmax}$ ).

**II.5.6.1. Redressement double alternances :**

Le redressement double alternances est l'équivalent de deux redressements simple alternance. Du fait de la prise médiane, chaque redressement a une tension d'entrée égale à la moitié de la tension au secondaire ; la diode  $D_1$  est en conduction pendant l'alternance positive et la diode  $D_2$  pendant l'alternance négative. Par conséquent, le courant redressé dans la charge existe pendant les deux demi cycles.

La figure II.6b représente le circuit équivalent pour l'alternance positive, la diode  $D_1$  conduit et donne une tension positive sur la charge. La figure II.6c illustre le cas de l'alternance négative pendant laquelle la diode  $D_2$  conduit, la tension sur la charge est de nouveau positive ; pendant les deux demi-périodes donc, le courant a la même direction et il est représenté par la figure II.6d.

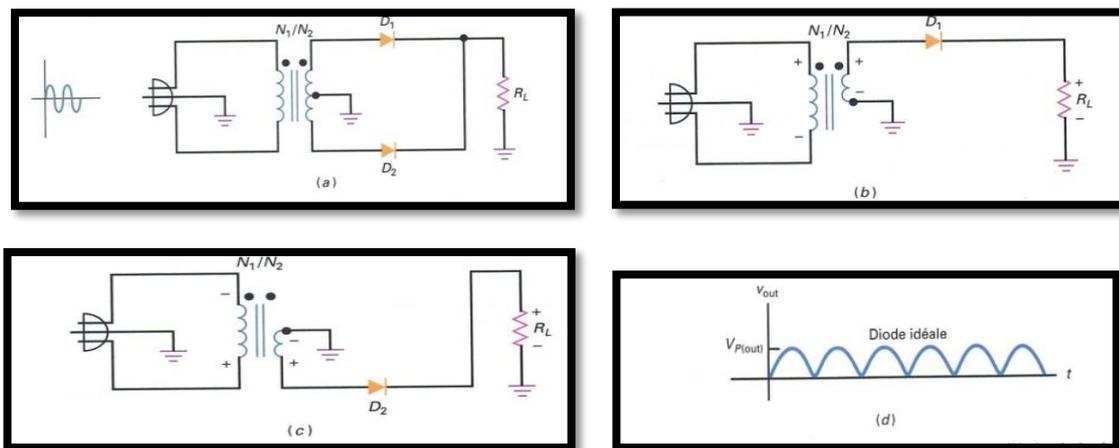


Figure II.29 : (a) Redressement double alternance ; (b) circuit équivalent pour alternance positive ; (c) circuit équivalent pour alternance négative ; (d) signal de sortie [17].

**II.5.6.2 Valeur DC ou valeur moyenne :**

Le signal redressé double alternance, ayant deux fois plus de cycles positifs que le signal redressé simple alternance, à une valeur moyenne double.

Signal double alternance :  $V_{DC} = \frac{2V_P}{\pi}$  (\*)

Comme  $2/\pi = 0.636$  la relation (\*) peut s'écrire :  $V_{DC} \approx 0.636V_P$

Mise sous cette forme, il apparaît que la tension moyenne vaut 63.6% de la valeur crête : par exemple une tension entrée de 100V crête donnera une tension moyenne de 63.6 V.

### II.5.6.3. Fréquence de sortie :

Dans le redressement simple alternance, la fréquence de sortie est égale à la fréquence d'entrée. Dans le redressement double alternance, la période du signal redressé est égale à la moitié de la période du signal d'entrée ; la fréquence du signal de sortie est le double de la fréquence du signal d'entrée.

### II.5.7. Filtrage :

Un filtre est un circuit électronique qui réalise une opération de traitement du signal. Autrement dit, il atténue certaines composantes d'un signal et en laisse passer d'autres [18].

#### II.5.7.1. Types de filtres :

Voici la caractéristique des 4 plus grand différents types de filtres :

- **Filtre passe-haut** : Il ne laisse passer que les fréquences au-dessus d'une fréquence déterminée, appelée "fréquence de coupure". Il atténue les autres (les basses fréquences). Autrement dit, il «laisse passer ce qui est haut». C'est un atténuateur de graves pour un signal audio. On pourrait aussi l'appeler coupe-bas.
- **Filtre passe-bas** : Il ne laisse passer que les fréquences au-dessous de sa fréquence de coupure. C'est un atténuateur d'aiguës pour un signal audio. On pourrait l'appeler coupe-haut.
- **Filtre passe-bande** : Il ne laisse passer qu'une certain bande de fréquences (et atténue tout ce qui est au-dessus ou en-dessous). Il est très utilisé dans les récepteurs radio, tv... pour isoler le signal que l'on désire capter.
- **Filtre réjecteur de bande** : aussi appelé filtre trappe, cloche ou coupe-bande, est le complémentaire du passe-bande. Il atténue une plage de fréquences. Cela peut être utile pour diminuer certains parasites par exemple [18].

**Chapitre III :**

**Réalisation pratique**

Dans ce chapitre, nous présentons les étapes de réalisation et le fonctionnement de l'indicateur lumineux.

### **III.1. Circuit complet de l'indicateur lumineux :**

Le schéma de la figure III.1 représente le circuit électrique complet d'un montage utilisé pour un indicateur lumineux à 12 LED.

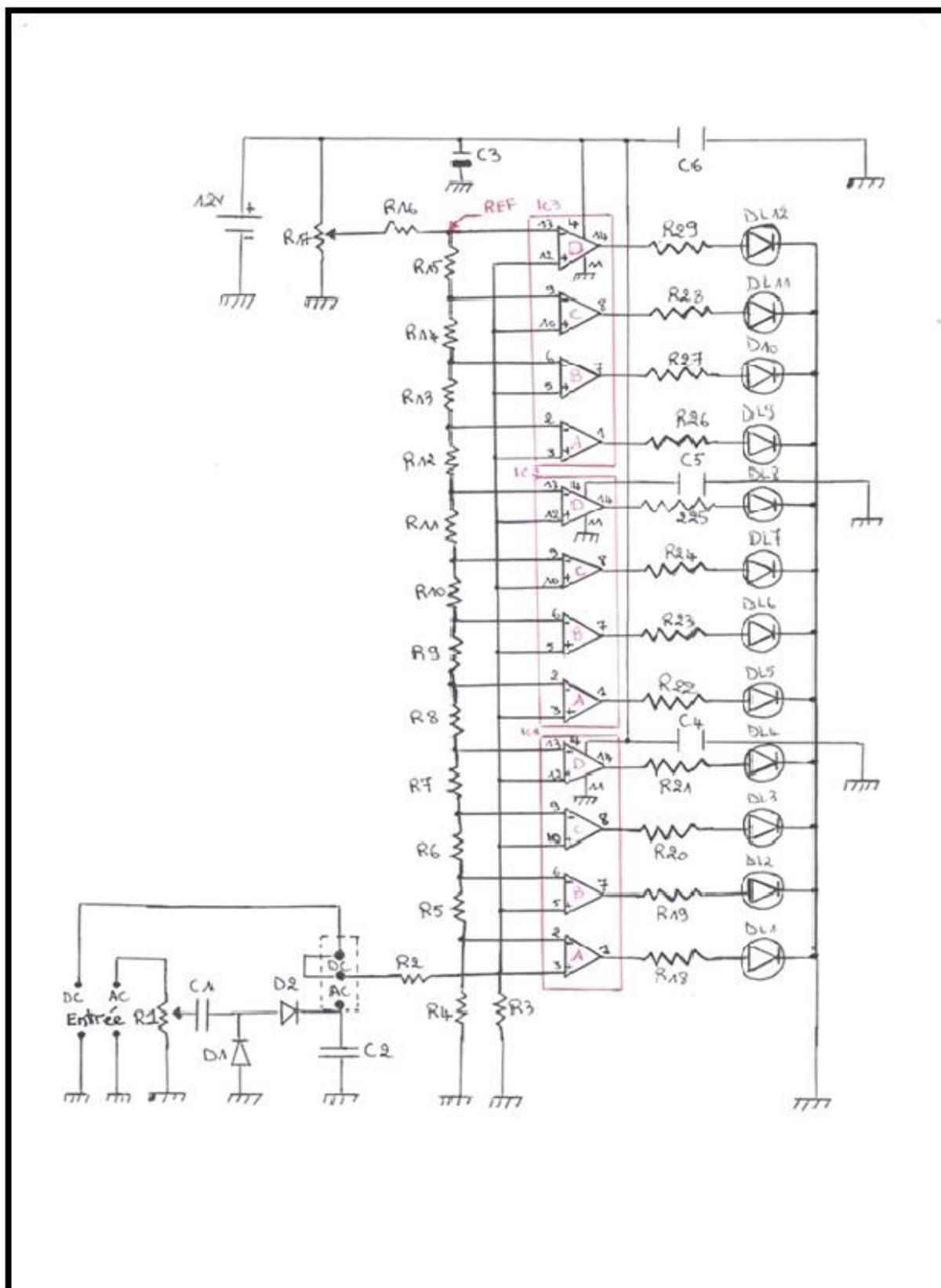


Figure III.1 : Schéma électrique du circuit

**III.2. Principe de fonctionnement :**

Il existe, dans le commerce, un bon nombre de circuits intégrés permettant la réalisation, relativement simple, d'un indicateur lumineux de point de vue électronique, il est certainement beaucoup plus intéressant cependant de réaliser l'indicateur.

Les douze amplificateurs opérationnels, IC1A à IC1D et IC2A à IC2D et IC3A à IC3D, du schéma remplissent ici une fonction de comparateur.

Une tension de référence est appliquée à l'entrée inverseuse de chacun des amplificateurs opérationnels.

Le niveau de cette tension de référence est défini par la mise en série des résistances R4 à R15. Les valeurs de ces résistances ont été choisies de manière à obtenir une lecture linéaire et une lecture logarithmique (différence de 3 dB).

Les résistances R2 et R16 font en sorte que le réseau des résistances R4 à R15 génère des tensions de référence décalées à partir de la moitié de la tension d'alimentation.

On trouve à l'entrée non inverseuse des amplificateurs opérationnels, la tension d'entrée soit une tension continue DC soit une tension AC.

Cette tension de référence est également superposée à la moitié de la tension d'alimentation.

La tension d'entrée AC est redressée, les deux diodes au silicium (DS1 et DS2) du type 1N4148 se chargent du redressement de la tension d'entrée.

Si la tension appliquée à l'entrée non inverseuse de l'un des amplificateurs opérationnels dépasse la tension de référence présente à son entrée inverseuse, on a basculement de la sortie de l'amplificateur opérationnel correspondant et illumination de la LED, connectée à la dite sortie à travers une résistance-série de 820  $\Omega$ .

Si la tension d'entrée augmente, ceci se traduit alors par l'illumination d'un nombre de LED de plus en plus important.

En prenant pour DL1 à DL12 des LED de même couleur, on obtient un indicateur lumineux simple qui visualise bien le déplacement par tension d'entrée d'une valeur donnée.

### III.2.1. Affichage linéaire :

Notre réalisation dans ce cas basé sur l'utilisation des résistances de la valeur 8.2K, qui permet d'obtenir une lecture à l'échelle linéaire.

En plaçant le cavalier J1 (switch) de manière à relier l'entrée DC avec la résistance R2, on prépare le circuit pour mesurer des tensions continues.

Admettant que la première diode LED s'allume avec une tension de 0.5 volt, les autres diodes LED s'allumeront avec les tensions reportées dans le tableau suivant.

LED	Tension
DL1 allumée	0.5 V
DL2 allumée	1 V
DL3 allumée	1.5 V
DL4 allumée	2 V
DL5 allumée	2.5 V
DL6 allumée	3 V
DL7 allumée	3.5 V
DL8 allumée	4 V
DL9 allumée	4.5 V
DL10 allumée	5 V
DL11 allumée	5.5 V
DL12 allumée	6 V

Tableau III.1 : Valeur des tensions en échelle linéaire

### III.2.2. Affichage logarithmique :

Notre réalisation nécessite d'avoir recours à un indicateur logarithmique précis, qui allumerait chacune des LED et qui indique une variation du signal de +3 dB. N'existant dans le commerce aucun circuit intégré en mesure d'effectuer cette fonction précise, nous avons étudié cet indicateur en utilisant 3 circuits intégrés LM324, contenant chacun quatre

amplificateurs opérationnels. En reliant toutes les entrées inverseuses au diviseur de tension formé par les résistances R4 à R17, nous avons obtenu un indicateur composé de 12 LED, s'allumant chacune lors d'une variation de la tension d'entrée de 3 dB. Admettant que la première diode LED (voir DL1 connectée à la sortie d'IC1/A) s'allume avec une tension de 0.23 volt, les autres diodes LED s'allumeront avec les tensions reportées dans le tableau 2

<b>LED</b>	<b>Tension</b>
<b>DL1 allumée</b>	0.23 V
<b>DL2 allumée</b>	0.32 V
<b>DL3 allumée</b>	0.45 V
<b>DL4 allumée</b>	0.6 V
<b>DL5 allumée</b>	0.9 V
<b>DL6 allumée</b>	1.3 V
<b>DL7 allumée</b>	1.8 V
<b>DL8 allumée</b>	2.5 V
<b>DL9 allumée</b>	3.5 V
<b>DL10 allumée</b>	5 V
<b>DL11 allumée</b>	7 V
<b>DL12 allumée</b>	10 V

**Tableau III.2 : Valeur des tensions en échelle logarithmique à 3 dB**

Dans ce cas, il suffira d'alimenter l'indicateur avec une tension stabilisée de 12 volts et appliquer sur l'entrée non-inverseuse du premier amplificateur opérationnel IC1/A, la tension à mesurer

### **III.3. Circuit imprimé :**

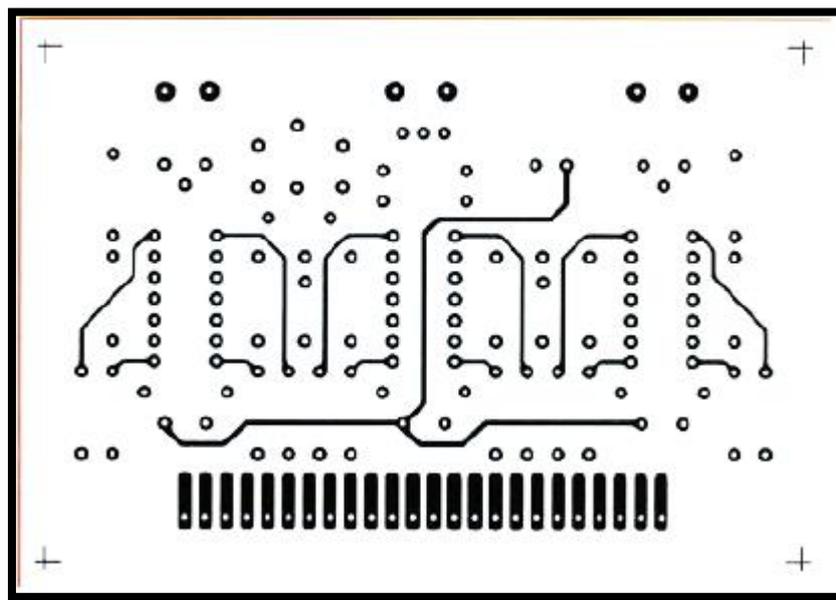
#### **III.3.1. Proteus ISIS :**

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs ; le logiciel permet également de simuler ces schémas, ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques

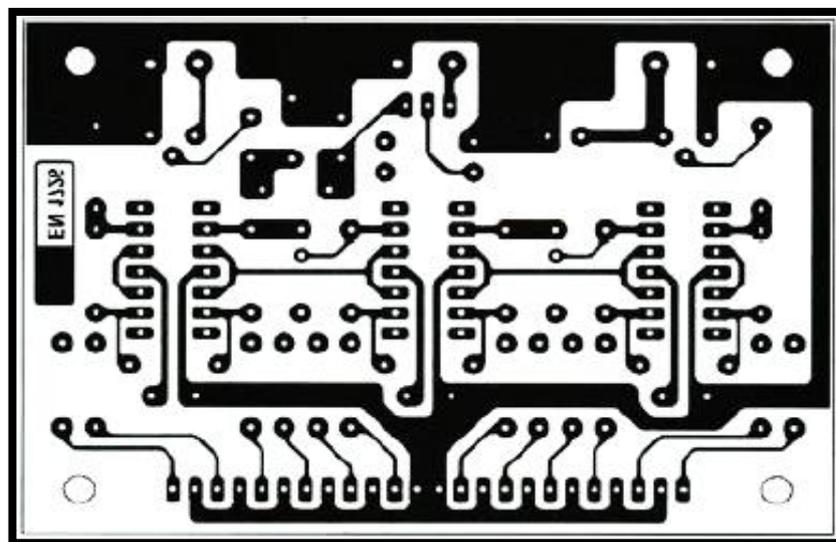
conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

### III.3.2. Proteus ARES :

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement.



**Figure III.2 :** Circuit imprimé de l'indicateur lumineux (côté composants).



**Figure III.3 :** Circuit imprimé de l'indicateur lumineux (côté soudures).

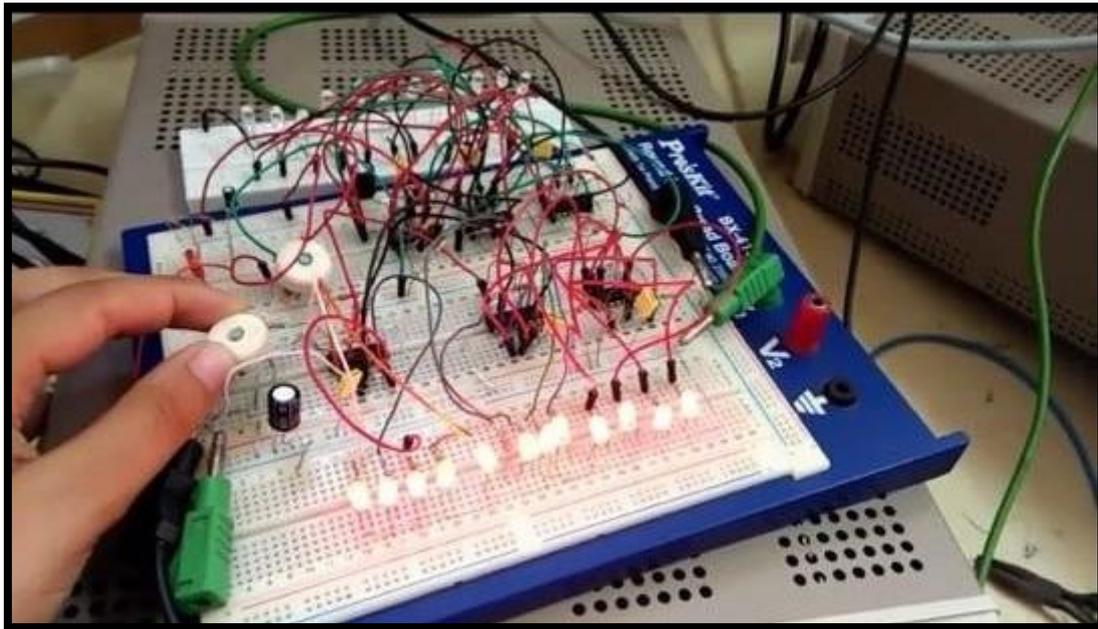


Figure III.4 : Photographie du Circuit électrique en mode affichage linéaire (réalisé sur plaque d'essai).

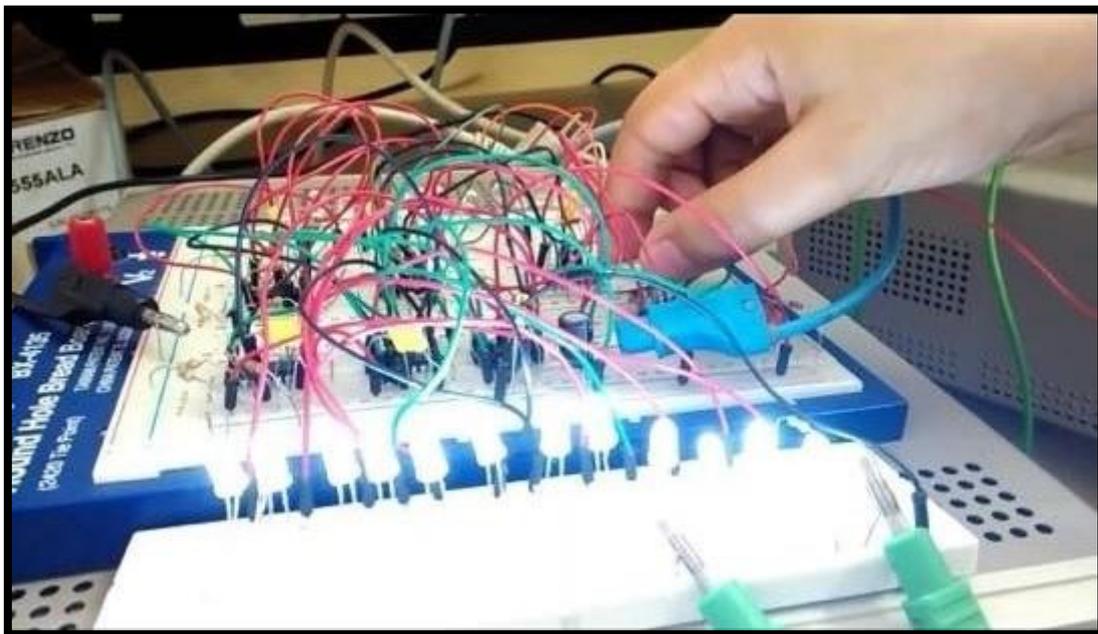


Figure III.5 : Photographie du circuit électrique en mode affichage logarithmique (réalisé sur plaque d'essai).

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

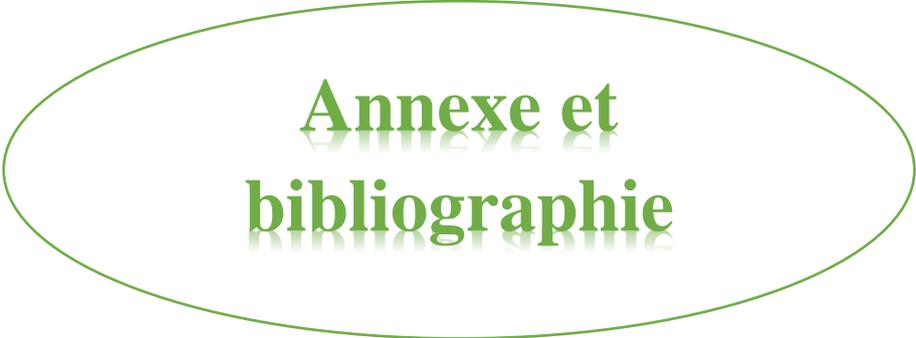
---

Dans la partie théorique, nous avons donnée certaines généralités concernant les éléments essentiels avec lesquels notre réalisation étant conçue.

Par cette occasion, nous avons pris connaissance de certains composants électroniques comme le circuit intégré LM324 ainsi que les fonctions qui peuvent être réalisées par ces derniers.

Enfin, la deuxième partie englobe la réalisation pratique de notre thème.

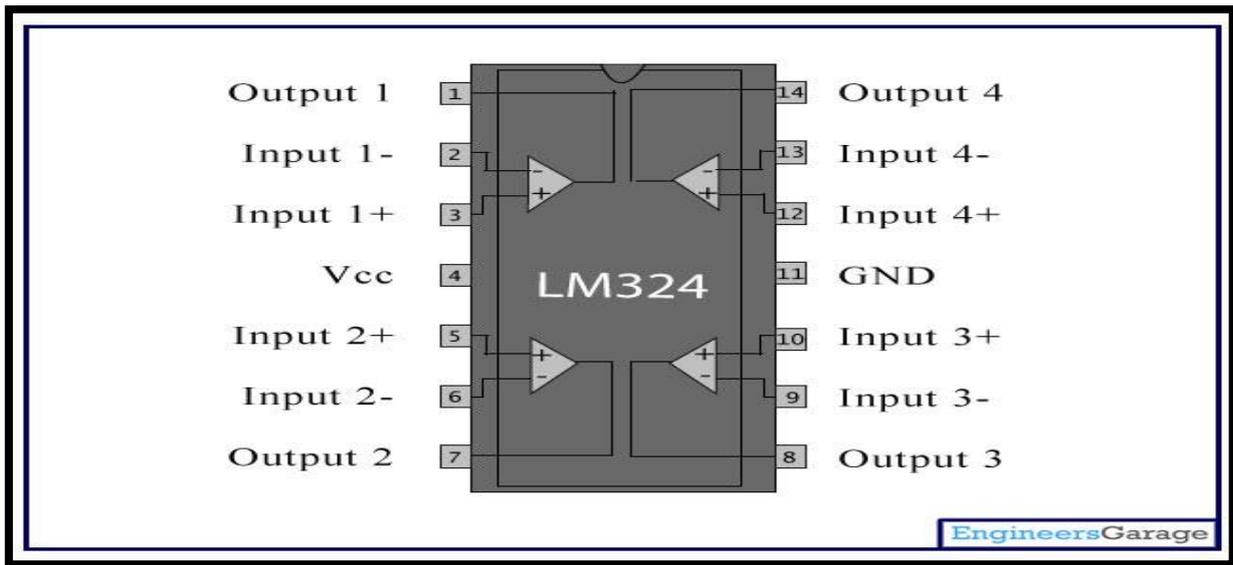
Pour terminer, on peut dire que cette étude nous a permis d'approfondir nos connaissances et d'acquérir une bonne connaissance sur le plan théorie et sur la pratique.



**Annexe et  
bibliographie**

## Annexe

Le circuit intégré LM324



### Absolute Maximum Rating

Parameter	LM324	Unit
Supply Voltage	32V	V
Differential Input Voltage	32	V
Input Voltage	-0.3 to 32	V
Input Current	50	mA
Storage Temperature	0 to 70	°C
Lead Temperature (solder 10 Second)	260	°C
LSD	250	V

### Pin Description :

Pin No	Function	Name
1	Output of 1 <sup>st</sup> comparator	Output 1
2	Inverting input of 1 <sup>st</sup> comparator	Input 1-
3	Non-inverting input of 1 <sup>st</sup> comparator	Input 1+
4	Supply voltage; 5V (up to 32V)	Vcc
5	Non-inverting input of 2 <sup>nd</sup> comparator	Input 2+
6	Inverting input of 2 <sup>nd</sup> comparator	Input 2-
7	Output of 2 <sup>nd</sup> comparator	Output 2
8	Output of 3 <sup>rd</sup> comparator	Output 3
9	Inverting input of 3 <sup>rd</sup> comparator	Input 3-
10	Non-inverting input of 3 <sup>rd</sup> comparator	Input 3+
11	Ground (0V)	Ground
12	Non-inverting input of 4 <sup>th</sup> comparator	Input 4+
13	Inverting input of 4 <sup>th</sup> comparator	Input 4-
14	Output of 4 <sup>th</sup> comparator	Output 4

## Bibliographie

---

- [1] <https://www.has-sante.fr>
- [2] <http://wwwv1.agora21.org>
- [3] <http://www.electronique-magazine.com>
- [4] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Galvanom%C3%A8tre>
- [5] <https://www.sonelec-musique.com>
- [6] <http://technicien-du-son.com/tag/vu-metre/>
- [7] <http://www.istockphoto.com/fr/images>
- [8] <https://www.hornetplugins.com/plugins/hornet-lu-meter/>
- [9] <https://www.electronique-radioamateur.fr/elec/schema/montage-aop.php>
- [10] <http://www.electronique.fr/cour>
- [11] <http://electronique.aop.free.fr>
- [12] <http://www.episic.ch/brancher/électronique/techn99/elnthcircuit/ciatstxhtml.#ancr337551>
- [13] <http://www.diapovision.com/articles.htm>
- [14] M. Hamza, S. ZIANI CHERIF « Etude et réalisation d'un stéthoscope électronique » mémoire de master en génie biomédical 2013-2014 université de Tlemcen.
- [15] J.D. châtelain, R. DESSOULAVY « Traité d'électricité » Presses polytechniques romandes, 1985.
- [16] TP Atelier Electronique Pratique n°1 : Etude & réalisation d'une Alimentation Stabilisée ; Institut Supérieur des Systèmes Industriels de Gabès (ISSIG).
- [17] Malvino Albert Paul David J. BATES principes d'électronique, 7<sup>e</sup> édition 2008.
- [18] <http://www.elektronique.fr>
- [19] <http://www.datasheetbank.com>
- [20] <http://www.epsic.ch/cours/electronique/toros/ampliop-03.html>
- [21] [https://fr.wikiversity.org/wiki/Amplificateur\\_op%C3%A9rationnel/Comparateur](https://fr.wikiversity.org/wiki/Amplificateur_op%C3%A9rationnel/Comparateur)
- [22] <http://www.testoon.com/fr/guide/alimentation-dc-g-114.html>
- [23] <http://chamilo2.grenet.fr/inp/courses/PHELMA3PMEPE26/index.php>

## Résumé :

Ce travail est consacré à la conception des indicateurs lumineux à LED. Un indicateur est un outil d'aide à la décision, dont l'utilisation s'inscrit dans une démarche qui répond à un objectif et se situe dans un contexte donné.

Afin de connaître les performances d'un indicateur lumineux, le LM324 est utilisé comme composant qui entre dans la réalisation pratique afin d'indiquer la mesure linéaire ou logarithmique.

Donc ce projet de fin d'études s'intéresse à l'étude et la réalisation d'un indicateur lumineux à 12 LED dans le but d'améliorer la précision des mesures ou d'un test de tension.