

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE NORMALE SUPERIEURE

Département de la Formation Initiale Scientifique
C.E.R : PHYSIQUE-CHIMIE

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU CERTIFICAT D'APTITUDE
PEDAGOGIQUE DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE
(C.A.P.E.N)**
N° d'ordre : 346/PC

**CONCEPTION ET ELABORATION DES MATERIELS DIDACTIQUES D'ELECTRONIQUE
DE LA CLASSE DE SECONDE**

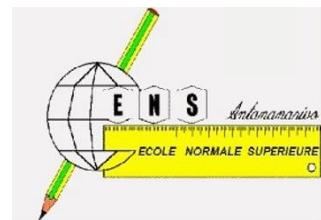
Soutenu le 02 Avril 2015

Présenté par : RANDRIAMAROSOA Herimaminaina

Année Universitaire : 2013- 2014



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE NORMALE SUPERIEURE



**Département de la Formation Initiale Scientifique
C.E.R : PHYSIQUE-CHIMIE**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU CERTIFICAT D'APTITUDE
PEDAGOGIQUE DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE
(C.A.P.E.N)
N° d'ordre : 346/PC

CONCEPTION ET ELABORATION DES MATERIELS DIDACTIQUES D'ELECTRONIQUE
DE LA CLASSE DE SECONDE

Soutenu le 02 Avril 2015

Présenté par : RANDRIAMAROSOA Herimaminiaina

Président du jury : Monsieur RASOLONDRAMANITRA Henri. **Ph. D, Maître de
conférences**

Juges : - Madame RATOMPOMALALA Harinosy Hanitriniala. **Docteur, Maître de
conférences**

- Monsieur RANDRIANANDRAINA Faneva. **Ph. D, Maître de conférences**

Rapporteur : Monsieur ANDRIANARIMANANA Jean Claude Omer
Professeur Titulaire

Année Universitaire : 2013- 2014

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous rendons grâces à Dieu, Tout- puissant, qui nous a donné le temps, la force et les moyens pour mener à terme ce mémoire.

Nous adressons également nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire :

- *A Monsieur RASOLONDRAMANITRA Henri, Ph.D, Maître de Conférences, qui nous a fait le grand honneur de présider la soutenance de ce mémoire.*

- *A Madame RATOMPOMALALA Harinosy Hanitriniala, Docteur, Maître de conférences, et à Monsieur RANDRIANANDRAINA Faneva, Ph.D, Maître de Conférences, qui ont accepté d'examiner notre travail en vue de l'améliorer et de le juger.*

Notre profonde reconnaissance s'adresse particulièrement à Monsieur ANDRIANARIMANANA Jean Claude Omer, Professeur Titulaire, qui, malgré ses nombreuses responsabilités, s'est toujours montrée à l'écoute et qui nous a consacré ses temps pour nous diriger et nous donner ses précieux conseils et suggestions au cours de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons aussi à remercier :

- *Tous les enseignants de la filière Physique-Chimie qui nous ont formés tout au long de notre cursus à l'Ecole Normale Supérieure.*
- *Nos chers parents qui ont été toujours là, avec les soutiens moraux, matériels et financiers qu'ils nous ont apportés.*
- *Toute la famille, les proches et les ami(e)s qui n'ont pas cessé de nous encourager tout au long des épreuves que nous avons traversées.*
- *Tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.*

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----|
| <i>REMERCIEMENTS</i> | i |
| TABLE DES MATIERES | ii |
| LISTE DES FIGURES | v |
| LISTE DES CIRCUITS..... | vi |
| LISTE DES COURBE..... | vii |
| INTRODUCTION : | 1 |
| PREMIERE PARTIE : GENERALITES SUR LES COMPOSANTS..... | 3 |
| I. Semi-conducteur | 3 |
| I.1 Rappel sur la structure de la matière | 3 |
| I.1.1 Cas de l'atome | 3 |
| I.1.2 Cas d'un cristal | 3 |
| I.2.1 Semi-conducteur intrinsèque | 5 |
| I.2.2 Conduction dans les semi- conducteurs intrinsèques | 5 |
| I.2.3 Semi-conducteur extrinsèque | 7 |
| I.2.4 Conduction dans les semi-conducteurs extrinsèques ou "dopés"..... | 7 |
| I.2.5 Dopage de type N | 7 |
| I.2.6 Dopage du type P | 8 |
| II. La diode : | 9 |
| II.1 Diode à jonction..... | 9 |
| II.1.1 Polarisation inverse et tenue en tension inverse..... | 11 |
| II.1.2 Polarisation directe, conduction par champ et par diffusion..... | 12 |
| II.2 Diode Zener | 13 |
| II.3 Diodes électroluminescentes | 15 |
| III. Le transistor..... | 15 |
| III.1 Transistor bipolaire : | 16 |
| III.1.1 Le transistor NPN : | 16 |
| III.1.2 Calcul de la résistance de base..... | 19 |
| III.1.3 Le transistor bipolaire PNP..... | 20 |
| III.2 Le transistor à effet champ | 20 |
| III.2.1Le JFET (Jonction Field Effect Transistor) | 21 |
| III.2.2 Le MOSFET (Métal Oxyde Semi-conductor FET) | 22 |
| IV. L'amplificateur opérationnel | 23 |
| IV.1 Définition : | 23 |

| | |
|--|----|
| IV.2 Caractéristiques: | 24 |
| IV.2.1 Le gain: G | 24 |
| IV.2.2 Résistance d'entrée: R_e tend vers l'infinie,..... | 25 |
| IV.2.3 Résistance de sortie: R_s | 25 |
| IV.2.4 Bande passante: BP | 25 |
| DEUXIEME PARTIE : CONCEPTION ET ELABORATION DES MATERIELS DIDACTIQUES | |
| | 26 |
| I. Circuit utilisant les supports élaborés : | 26 |
| II. Matériels et outillages utilisés : | 26 |
| III. Elaboration des supports :..... | 27 |
| III.1 Elaboration de boite de pile et support du potentiomètre :..... | 27 |
| III.1.1Boite de pile :..... | 27 |
| III.1.2 Support de potentiomètre :..... | 29 |
| III.2 Support de transistor :..... | 30 |
| III.3 Support de l'amplificateur opérationnel :..... | 33 |
| III.4 Support de résistance..... | 35 |
| III.5 Support de diode | 37 |
| IV. Elaboration d'une plaque à réseau : | 38 |
| TROISIEME PARTIE : ACTIVITE EXPERIMENTALE | 39 |
| I. Activité 1 : Générateur variable de courant continu | 39 |
| II. Activité 2 : Utilisation d'un transistor en amplificateur | 40 |
| II.1 Caractéristique d'un transistor :..... | 40 |
| II.2 Les différents montages à transistor : | 42 |
| II.2.1 Transistor utilisé comme interrupteur : | 42 |
| II.2.2 Le transistor utilisé comme amplificateur :..... | 44 |
| II.2.2.1 Amplificateur d'intensité : | 44 |
| II.2.2.2 Amplificateur de tension : | 45 |
| III. Activité 3 : Amplificateur opérationnel : | 46 |
| III.1 Montage en comparateur (fonctionnement non linéaire): | 46 |
| III.2 Etude de fonctionnement d'un AOP en régime linéaire..... | 48 |
| III.2.1 Montage suiveur | 48 |
| III.2.2 Montage amplificateur non inverseur : | 50 |
| III.2.3 Montage amplificateur inverseur : | 52 |
| III.2.4 Montage sommateur inverseur : | 54 |
| III.2.5 Montage amplificateur de différence : | 57 |

| | |
|--|----|
| IV. Activité 4 : Amplificateur audio | 59 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 63 |
| WEBOGRAPHIE | 63 |
| ANNEXE | 65 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Niveau d'énergie dans un atome | 3 |
| Figure 2 : Bande d'énergie dans un cristal | 4 |
| Figure 3 : Structure cristalline de silicium pur | 5 |
| Figure 4 : Remplacement d'un atome de Si par un atome d'Arsenic | 8 |
| Figure 5 : Remplacement d'un atome de Si par un atome de Bore | 9 |
| Figure 6 : Symbole du diode | 9 |
| Figure 7 : Collage des deux substrats | 10 |
| Figure 8 : Formation de la zone de charge d'espace (ZCE) | 10 |
| Figure 9 : Formation d'un champ électrique interne | 10 |
| Figure 10 : Tendance de diffusion aux alentours de la zone d'espace | 11 |
| Figure 11 : Polarisation inverse d'une jonction | 11 |
| Figure 12 : Polarisation directe d'une jonction | 12 |
| Figure 13 : Symbole du diode Zener | 13 |
| Figure 14 : Symbole du transistor | 16 |
| Figure 15 : Formation d'un transistor | 16 |
| Figure 16 : Un transistor équivaut à 2 diodes | 17 |
| Figure 17 : Transistor à l'état bloqué | 17 |
| Figure 18 : L'effet transistor | 18 |
| Figure 19 : Récapitulation de fonctionnement d'un transistor bipolaire | 19 |
| Figure 20 : Principe de fonctionnement d'un JFET | 21 |
| Figure 21 : Coupe du MOS | 22 |
| Figure 22 : Polarisation du MOS | 22 |
| Figure 23 : Vue de dessus amplificateur opérationnel dans un boîtier à 8 bornes | 24 |
| Figure 24 : Boîte de pile | 27 |
| Figure 25 : Face supérieure du support | 27 |
| Figure 26 : Potentiomètre et son support | 29 |
| Figure 27 : Face supérieure déjà percé | 29 |
| Figure 28 : Mise en place du potentiomètre et les fiches bananes | 30 |
| Figure 29 : Transistor et son support | 30 |
| Figure 30 : Face inférieure du support avec les trous percés | 31 |
| Figure 31 : Symbole du transistor tracé sur la face supérieure du support | 31 |
| Figure 32 : Fixation du transistor et les fiches bananes sur la plaque | 32 |
| Figure 33 : Amplificateur opérationnel et son support | 33 |
| Figure 34 : Face inférieure du support avec les trous percés | 33 |
| Figure 35 : Symbole de l'AOP et les fiches bananes fixés sur la face supérieure | 34 |
| Figure 36 : AOP relié avec les fiches bananes | 34 |
| Figure 37 : Résistor et son support | 35 |
| Figure 38 : Symbole de la résistance tracé sur la face supérieure du support | 35 |
| Figure 39 : Face inférieure du support | 36 |
| Figure 40 : Fixation de la résistance et les fiches bananes | 36 |
| Figure 41 : Diode et son support | 37 |
| Figure 42 : Plaque à réseau | 38 |

LISTE DES CIRCUITS

| | |
|--|----|
| Circuit 1 : Circuit à transistor | 19 |
| Circuit 2 : Représentation schématique d'un amplificateur opérationnel | 24 |
| Circuit 3 : Résistance d'entrée d'un AOP..... | 25 |
| Circuit 4 : Résistance de sortie d'un AOP | 25 |
| Circuit 5 : Montage dans la boite de pile | 28 |
| Circuit 6 : Générateur de tension variable | 39 |
| Circuit 7 : Circuit à transistor | 41 |
| Circuit 8 : Transistor comme interrupteur | 43 |
| Circuit 9 : Transistor utilisé comme amplificateur d'intensité | 44 |
| Circuit 10 : Amplificateur de tension à base de transistor..... | 46 |
| Circuit 11 : Comparateur | 47 |
| Circuit 12 : Suiveur..... | 49 |
| Circuit 13 : Suiveur..... | 50 |
| Circuit 14 : Inverseur | 53 |
| Circuit 15 : Sommateur inverseur..... | 55 |
| Circuit 16 : Amplificateur de différence..... | 57 |
| Circuit 17 : Amplificateur audio | 60 |

LISTE DES COURBE

| | |
|---|----|
| Courbe 1 : Variation de la concentration de la porteur en fonction de la température..... | 7 |
| Courbe 2 : Evolution des concentrations le long de la jonction pendant la conduction..... | 13 |
| Courbe 3 : Effet d'avalanche dans une diode Zener..... | 14 |
| Courbe 4 : Caractéristique de transfert d'une diode Zener..... | 15 |
| Courbe 5 : Graphe de Id en fonction de Vds et Vgs | 21 |
| Courbe 6 : Graphe de Id en fonction de Vds et Vgs | 23 |
| Courbe 7 : Réponse en fréquence d'un amplificateur | 25 |

INTRODUCTION :

Après l'invention des transistors et des circuits intégrés la technologie sur le circuit imprimé (télévisions numériques, téléphones de haute game, ordinateurs portables, tablettes...) évolue sans cesse. Cette évolution est due à la progression de l'électronique car celle-ci interviennent aujourd'hui dans la vie quotidienne de chacun et se manifeste par une exploitation massive de la technologie de l'information et de communication (TIC).

Quelques faits marquants de l'évolution des circuits intégrés depuis leur création permettent d'illustrer la vitalité de ce secteur ainsi que l'importance croissante prise par les applications à base de circuit intégré dans la vie quotidienne.

Le premier circuit intégré, constitué de deux transistors bipolaires, a été développé au sein de la société Fairchild Semiconductor en 1958 par l'Américain Robert Noyce. La même année et de manière indépendante, un autre Américain Jack Kilby, de Texas Instrument, réussit à intégrer un transistor, trois résistances et une capacité sur un même substrat.

En 1965, Gordon E. Moore, directeur chez Fairchild, a énoncé la loi qui porte son nom, conjecturant que le nombre de composants électroniques dans un circuit intégré doublerait tous les ans. Rectifiée, dix ans plus tard, la «loi de Moore» a porté à deux ans le rythme de doublement du nombre de composants.

En 1966, Robert Dennard d'IBM, a mis au point la cellule mémoire à transistor unique, dont le concept est utilisé dans les mémoires dynamiques (DRAM ou dynamic random access memory).

Cette évolution est la cause la plus favorable de développement d'un pays, par exemple le cas de Japon, Chine, Taiwan, Singapour... Nous amènerons aussi en faire profiter notre pays.

La technologie de l'électronique utilise les sciences physiques et la Mathématiques. Mais nous savons qu'à Madagascar l'enseignement de la physique chimie reste une partie théorique sans pratique. C'est la source d'une difficulté pour les élèves de mieux comprendre tout ce qu'on fait en classe.

Pendant notre stage pratique au lycée, quand on fait une leçon on réalise toujours des expériences s'il y a des matériels didactiques. Ces derniers tiennent une place très importante dans l'enseignement /apprentissage car les élèves découvrent eux même les lois étudiés. Pendant les expériences, on constate aussi que les élèves participent dans la construction de leurs connaissances, ainsi ils sont à l'aise sérieux et studieux.

Nous avons donc choisir comme sujet de mémoire : conception et élaboration des matériaux didactiques d'électronique de la classe de seconde.

Notre travail comporte trois parties :

-La première partie étudie la généralité sur les composants électroniques. Nous avons débuté sur la structure de la matière : le cas de l'atome et le cristal. Ceci nous permet d'étudier les propriétés d'un semi-conducteur qui est l'élément fondamental de nos composants. Puis nous entrons sur le principe de fonctionnement et les caractéristiques de chaque composant.

-La deuxième partie mentionne l'élaboration des supports des composants tels que la diode, la résistance, le transistor et l'amplificateur opérationnel. L'élaboration peut apporter des avantages car les travaux d'élaboration développent l'esprit de créativité et de recherche.

-Pour l'exploitation de ces matériaux en troisième partie, nous avons proposé des activités sur le générateur de courant de tension variable, le transistor et l'amplificateur opérationnel destiné aux élèves de la classe de seconde. Ainsi, nos travaux pratiques ne s'intéressent pas seulement sur l'enseignement de ces composantes mais aussi sur les circuits compliqués (amplificateur audio).

PREMIERE PARTIE : GENERALITES SUR LES COMPOSANTS

I. Semi-conducteur

I.1 Rappel sur la structure de la matière [24]

I.1.1 Cas de l'atome

L'atome est constitué d'un noyau autour duquel gravitent des électrons de charge électrique $-e$ soit $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb. Le noyau contient deux types de particules : les neutrons qui ne sont pas chargés et les protons qui portent une charge électrique $+e$. L'atome étant électriquement neutre, le nombre de protons est égal au nombre d'électrons. On distingue :

- Les électrons internes qui occupent les couches internes et qui sont très fortement liés au noyau
- Les électrons périphériques (ou de valence) qui occupent la couche la plus externe et qui sont peu liés au noyau.

Les électrons d'un atome gravitant autour du noyau sont assujettis à occuper des niveaux discrets $E_1, E_2 \dots E_n$ qui définissent chacun une couche électronique. Plus le niveau est élevé, plus la couche qui lui correspond est éloignée du noyau.

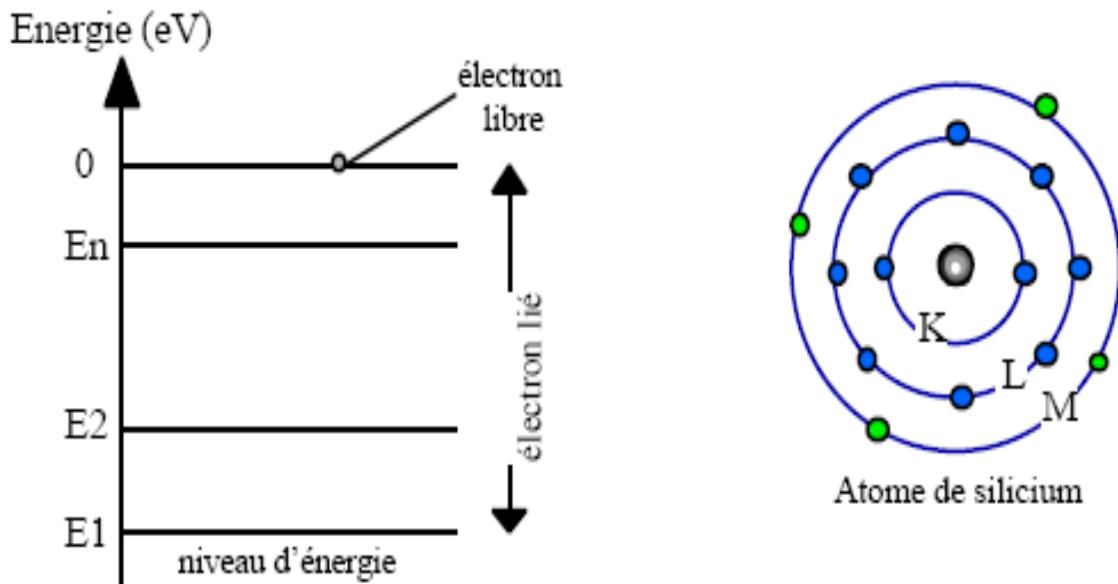


Figure 1 : Niveau d'énergie dans un atome

I.1.2 Cas d'un cristal

Un cristal est constitué d'un ensemble d'atomes dont les noyaux sont répartis dans l'espace de façon régulière. La cohésion des atomes est assurée par la mise en commun des électrons de valence pour former des liaisons dites de covalence.

Les états énergétiques possibles des électrons du cristal sont représentés par un diagramme analogue à celui de l'atome. Mais du fait de l'interaction des atomes, les niveaux d'énergie se transforment en bandes d'énergie séparées par des bandes interdites (où il n'y a pas d'états permis).

Comme dans le cas de l'atome, le nombre d'électrons susceptibles d'occuper une bande d'énergie est limité et les électrons du solide combinent en priorité les états d'énergie les plus faibles.

Un électron dont l'énergie est située dans une bande en dessous de la bande de valence est lié à un atome donné du solide. Dans la bande de valence, l'électron est commun à plusieurs atomes.

La bande située au-dessus de la bande interdite s'appelle la bande de conduction.

L'électron dont l'énergie est comprise dans cette bande circule librement dans le solide. C'est un porteur de charge qui participe à l'écoulement du courant dans le solide lorsque ce dernier est soumis à une différence de potentiel.

Chaque type de matériau présente une hauteur de bande interdite qui lui est propre, cette différence d'énergie, qui joue un rôle fondamental, permet de distinguer les matériaux isolants, semi-conducteurs et conducteurs.

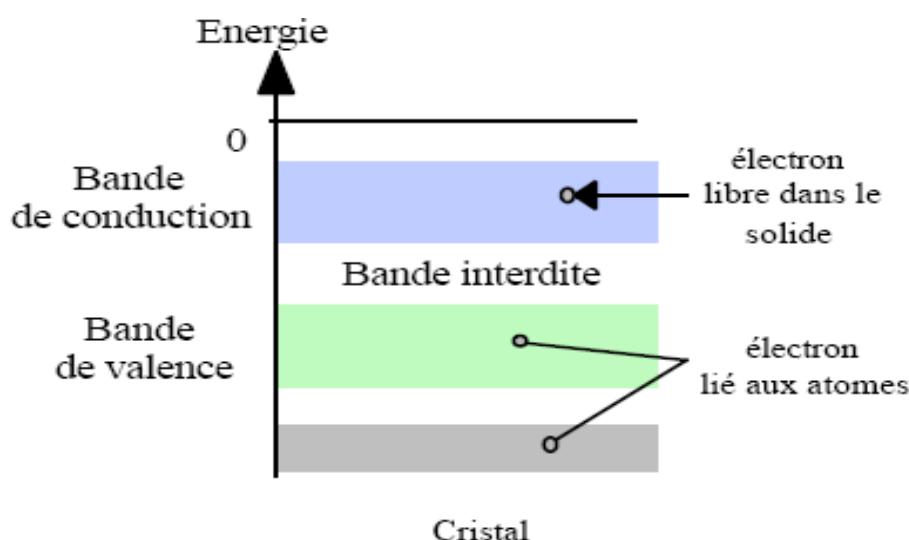


Figure 2 : Bande d'énergie dans un cristal

Dans les isolants, les bandes d'énergie les plus faibles sont entièrement pleines. La hauteur de la bande interdite est grande (» 5 eV). Il n'y a pas de niveaux d'énergie accessibles et pas de conduction.

Dans les conducteurs, la dernière bande occupée est partiellement remplie : il existe beaucoup de niveaux disponibles et la conduction est grande.

La conductivité électrique est donnée par la relation suivante:

$$\sigma = \frac{N_i e^2 \tau}{m} \text{ avec :}$$

τ : Le temps de relaxation entre l'émission et l'absorption d'un électron de conduction

N_i : Le nombre d'atomes par unité de volume

m : la masse de l'électron.

Par contre, le semi-conducteur est un matériau électriquement intermédiaire entre isolant et conducteur. En effet, les valeurs usuelles de la conductivité (σ) des isolants sont comprises entre 1.10^{-9} et 1.10^{-17} S/m et celles des conducteurs entre 6.10^9 et 1.10^6 S/m. Il existe pourtant des corps qui ont une résistivité intermédiaire comprise entre 1.10^5 et 1.10^{-4} S/m, on les appelle des semi-conducteurs.[24]

Par exemple : les éléments du groupe IV tel que le Silicium (Si) et le Germanium (Ge)...

I.2 Semi-conducteur :

I.2.1 Semi-conducteur intrinsèque

Un semi-conducteur est dit intrinsèque lorsqu'il est pur : il ne comporte aucune impureté et correspond à un semi-conducteur parfait, c'est-à-dire sans défaut structurel ou impureté chimique. Dans un semi-conducteur intrinsèque, les porteurs de charge ne sont créés que par des défauts cristallins et par excitation thermique. Le nombre d'électrons dans la bande de conduction est égal au nombre de trous dans la bande de valence.

I.2.2 Conduction dans les semi-conducteurs intrinsèques [24]

Dans un semi-conducteur intrinsèque, quand un électron est muni d'une énergie suffisante à l'extraire de la structure cristalline, il devient un "porteur libre" qui peut être mis en mouvement en présence d'un champ électrique. Il laisse ainsi derrière lui un ion représentant une charge positive que l'on appelle un "trou". Si un électron voisin se libère et vient se recombiner avec le trou, il laisse derrière lui une nouvelle charge positive. On peut ainsi considérer que le trou s'est déplacé par combinaisons d'électron.

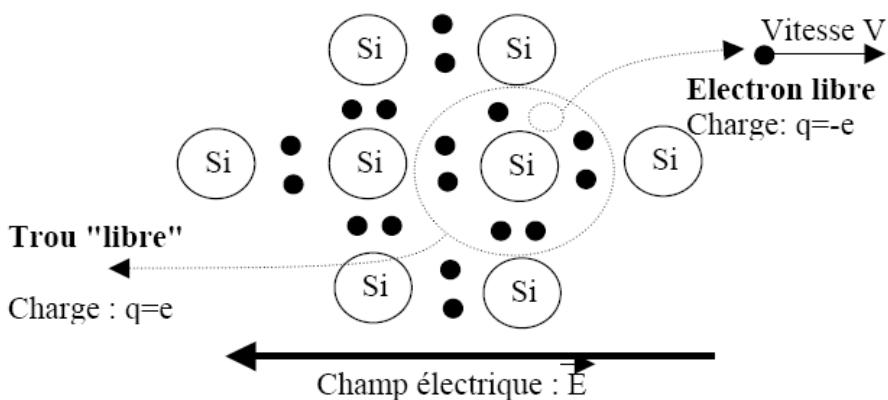


Figure 3 : Structure cristalline de silicium pur [23] [24]

Ainsi, dans la matière, le courant généré par le champ électrique sera la somme du courant d'électrons et du courant de trous :

$$J = J_p + J_n [1]$$

Avec :

J : Densité du courant

J_p : Densité du courant de trous

J_n : Densité du courant d'électrons

L'aptitude à la conduction électrique est chiffrée par la conductivité σ du matériau qui est l'inverse de la résistivité ($\sigma = 1/\rho$) et qui relie la densité de courant J au champ électrique E .

$$J = \sigma \cdot E$$

Or, pour chaque type de porteurs : $J = q \cdot n \cdot V$

Où V est la vitesse moyenne des porteurs, n la densité des porteurs libres.

V est lié au champ électrique par un coefficient appelé la mobilité : $V = \mu \cdot E$

Donc : $J = q \cdot n \cdot \mu \cdot E$ pour chaque type de porteurs.

Dans le cas d'une conduction dite "bipolaire", c'est à dire avec deux types de charges (électrons et trous) et avec n et p les concentrations respectives en porteurs libres :

$$J = (\mu_n \cdot n + \mu_p \cdot p) \cdot e \cdot E \text{ et } \sigma = (\mu_n \cdot n + \mu_p \cdot p) \cdot e$$

Si le semi-conducteur est extrêmement pur, $n = p$.

La conductivité du silicium intrinsèque est donc liée essentiellement au nombre de porteurs libres qui lui varie avec la température.

$$\text{La loi de variation de } n \text{ est : } n^2 = A \cdot T^3 \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right) [7]$$

avec :

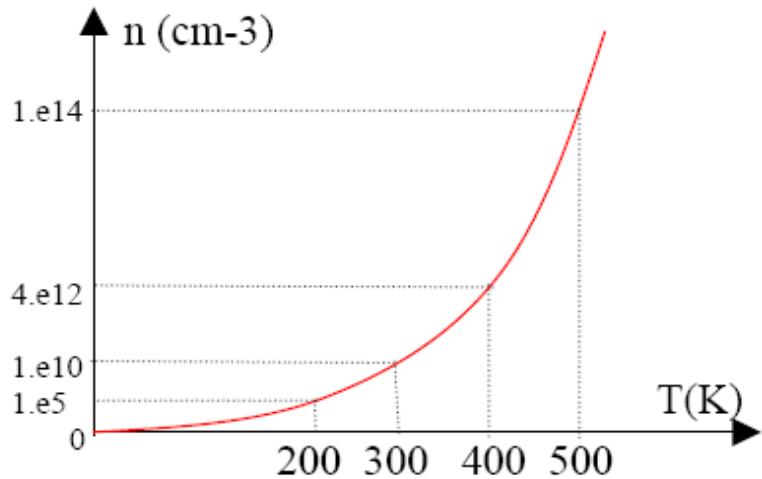
- A : constante de matériau

- E_g : hauteur du gap = 1,1eV

- K : constante de Boltzmann ($8,62 \cdot 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$)

- T : température en Kelvin

On représente l'évolution de la concentration des porteurs libres en fonction de la température sur la figure 5 :



Courbe 1 : Variation de la concentration de la porteur en fonction de la température

I.2.3 Semi-conducteur extrinsèque

Un semi-conducteur est extrinsèque lorsqu'il est dopé.

I.2.4 Conduction dans les semi-conducteurs extrinsèques ou "dopés"

Pour pallier la forte dépendance à la température des semi-conducteurs intrinsèques, on peut "doper" ceux-ci, c'est à dire insérer dans la structure cristalline des atomes ayant soit 3 soit 5 électrons de valence. Il y aura donc respectivement autant de trous et d'électrons libres que d'atomes apportés, et ce quel que soit la température. On peut ainsi fixer la concentration en porteurs libres c'est-à-dire la conductivité. Si on dope avec des atomes donneurs d'électrons on parle de dopage de type N, si on dope avec des atomes accepteurs d'électrons on parle de dopage de type P.

I.2.5 Dopage de type N

On introduit dans la matrice de silicium des atomes d'impuretés pentavalents tels que le phosphore P, l'arsenic As et l'antimoine Sb (5^{ème} colonne).

Chaque atome d'impureté amène un électron de valence supplémentaire. Cet électron est peu lié au noyau ($E \gg 0,01$ eV) et passe aisément dans la bande de conduction. La conductivité du matériau (conductivité extrinsèque) devient à cause du taux de dopage, très supérieure à celle du matériau pur. Les atomes pentavalents ou donneurs deviennent des ions positifs après le passage des électrons excédentaires dans la bande de conduction.

La conduction dite de type N (négative) est assurée par des électrons. Les électrons sont les porteurs majoritaires.

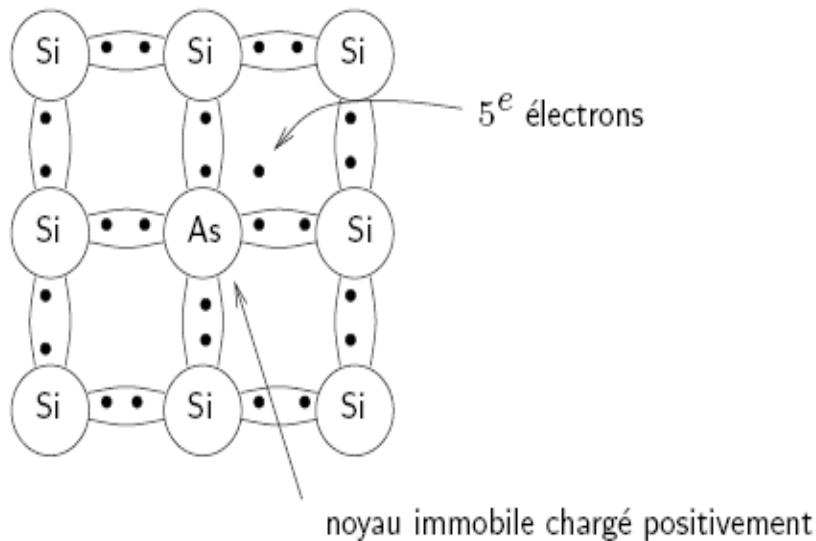


Figure 4 : Remplacement d'un atome de Si par un atome d'Arsenic [12]

À la température ordinaire, la quasi-totalité des atomes donneurs est ionisé. Si N_D est la concentration des atomes donneurs, ceux-ci vont libérer $n = N_D$ électrons libres.

Les concentrations en électrons libres (n) et en trous libres (p) sont liées par la loi d'action de masse: $n \cdot p = n_i^2$ [23]

Par exemple : avec $N_D = n = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ alors : $p = 225 \text{ cm}^{-3}$ à $T = 300\text{K}$

I.2.6 Dopage du type P

On introduit dans le réseau une impureté trivale: bore B, aluminium Al, gallium Ga, indium In (3^{ème} colonne). Il manque à l'impureté un électron de valence pour assurer les 4 liaisons avec les atomes de silicium voisins. Un faible apport d'énergie (» 0,05 eV) suffit pour qu'un électron d'un silicium voisin soit capté par l'impureté : il y a formation d'un trou peu lié et donc mobile. Les atomes trivalents (accepteurs) deviennent des ions négatifs par capture d'un électron. Compte tenu des taux de dopage, ces trous sont beaucoup plus nombreux que les porteurs intrinsèques du cristal pur. La conduction de type P (positive) est assurée par des trous. Les trous sont les porteurs majoritaires.

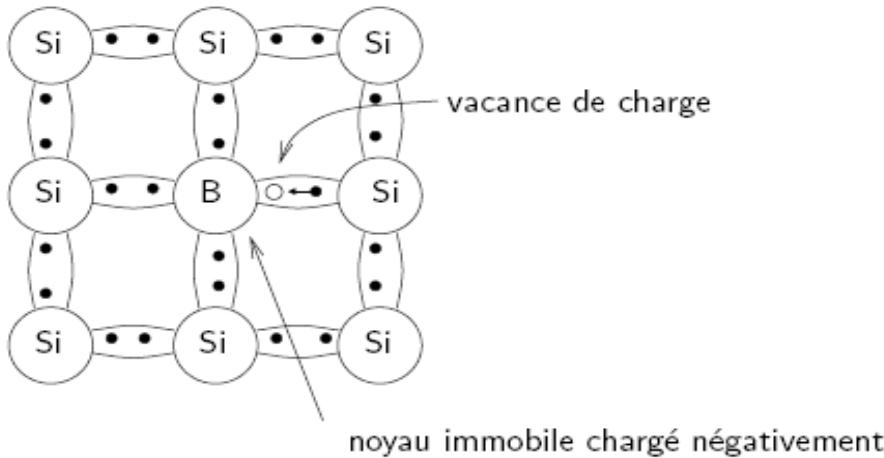


Figure 5 : Remplacement d'un atome de Si par un atome de Bore [12] [13]

À la température ordinaire, la quasi-totalité des atomes accepteurs sont ionisés. Si N_a est la concentration des atomes accepteurs, ceux-ci vont libérer : $p = N_a$ trous libres.

Les concentrations en électrons libres (n) et en trous libres (p) sont liées par la loi d'action de masse: $n \cdot p = n_i^2$

Par exemple : $N_a = p = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ on obtient $n = 2 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-3}$ à $T = 300\text{K}$

II. La diode :

La diode est le composant électronique de base. Son fonctionnement macroscopique est celui d'un interrupteur commandé par une tension (V_d) qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens.

Cette propriété lui ouvre un champ d'applications assez vaste en électronique dont les plus courantes sont :

- Le redressement du courant alternatif issu du secteur ;
- La régulation de tension à l'aide de diodes Zener, qui ont un comportement de source de tension quasi idéale.

II.1 Diode à jonction

Dans un circuit électrique on représente la diode par le symbole:



Figure 6 : Symbole de la diode

C'est la jonction de 2 semi-conducteurs de type N et de type P. on l'utilise pour le redressement du courant alternatif.

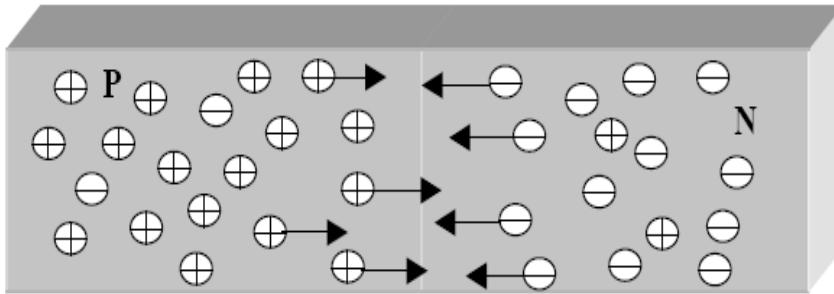


Figure 7 : Collage des deux substrats [24]

Les porteurs libres de part et d'autre de la jonction vont se recombiner, puisque des électrons libres majoritaires sont mis en présence de trous libres majoritaires. Les charges se déplacent par diffusion naturelle.

La recombinaison massive autour de la jonction fait apparaître une zone électriquement neutre appelée Zone de Charge d'Espace (ZCE).

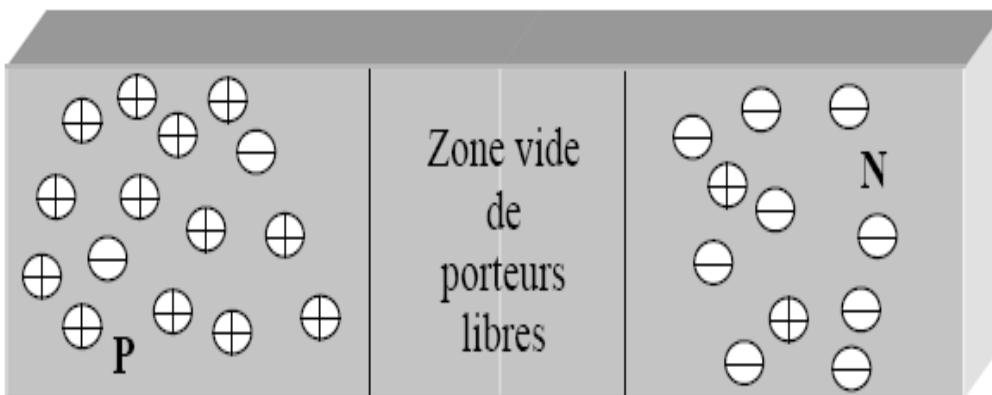


Figure 8 : Formation de la zone de charge d'espace (ZCE) [24]

Les charges fixes laissées par le départ des porteurs libres voisins de la ZCE provoquent une polarisation électrique de la ZCE, c'est à dire un champ électrique interne ϵ .

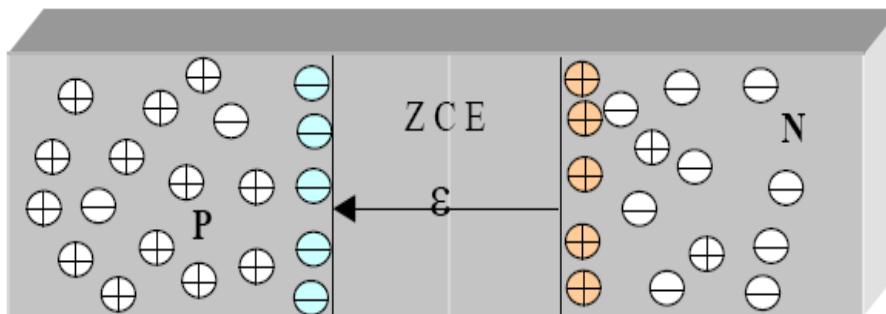


Figure 9 : Formation d'un champ électrique interne [24]

A ce stade de l'évolution de la jonction, le déplacement par diffusion des charges s'oppose à l'action du champ électrique ϵ .

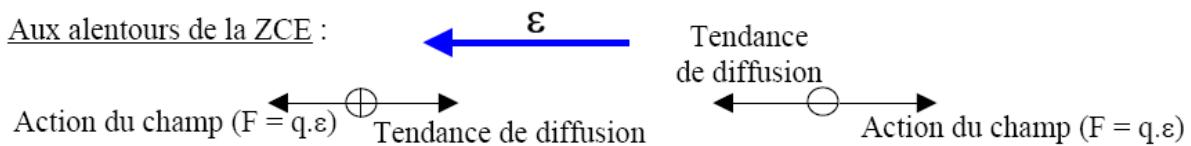


Figure 10 : Tendance de diffusion aux alentours de la zone d'espace [24]

L'équilibre de la jonction est atteint quand l'action du champ est rigoureusement égale à celle de la diffusion naturelle, c'est-à-dire que le courant de diffusion est la source du courant de saturation (celui créé par le champ).

Le champ interne de la jonction va donc à l'encontre de la circulation des porteurs et donc du courant électrique. Pour imposer un courant, il faudra vaincre le champ interne.

II.1.1 Polarisation inverse et tenue en tension inverse [24]

Considérons une jonction PN à l'équilibre, avec substrat P de concentration P, substrat N de concentration N.

$P > N$ (c'est le cas classique) exemple : $P=1.e18 \text{ cm}^{-3}$, $N=1.e13 \text{ cm}^{-3}$

Polarisons la avec tension extérieure $V_{ext} < 0$.

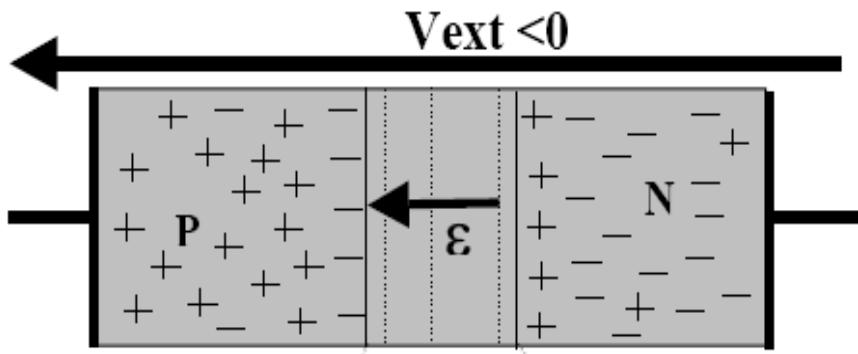


Figure 11 : Polarisation inverse d'une jonction

Sous une tension négative, le champ externe s'ajoute au champ interne, la Zone de Charge d'Espace(ZCE) va donc s'étendre jusqu'à un nouvel équilibre diffusion – champ électrique. Ce phénomène va à l'encontre d'un passage de courant : on dit que la diode est bloquée.

- Plus la Zone de Charge d'Espace(ZCE) s'étend, plus le champ électrique maximal au sein de la jonction ne sera important. On montre que $E_{max} = \frac{-xn.e.N}{\epsilon}$, ce champ sera donc d'autant plus grand que la concentration N sera grande. Si ce champ dépasse environ 20kV/mm, l'énergie des porteurs accélérés devient suffisante pour briser les liaisons covalentes et générer de nouvelles paires électron-trou, on appelle ce phénomène l'avalanche. Augmenter la tenue en tension inverse d'une jonction revient à abaisser le champ maximum et donc à doper faiblement. C'est le rôle de la partie N^- dopée à $1.e13 \text{ cm}^{-3}$.

II.1.2 Polarisation directe, conduction par champ et par diffusion [24]

Avec une tension extérieure $V_{ext} > 0$, on crée un champ électrique dans la jonction qui est opposé au champ propre ϵ . La résultante des champs sera positive si $\epsilon_{ext} > \epsilon$ (c'est le seuil de la diode). Ainsi, un courant de trous et d'électrons va pouvoir circuler.

Cependant, le phénomène de conduction qui conduit au courant i est loin d'être aussi simple que dans le cas d'un conducteur classique, en effet, après avoir franchi la zone de charge Zone de Charge d'Espace (ZCE), les porteurs arrivent en masse en tant que porteurs minoritaires dans une zone où ils pourront se recombiner.

Il faut donc comptabiliser pour chaque type de porteur, ceux qui vont se recombiner et ceux qui arriveront jusqu'à l'électrode opposée.

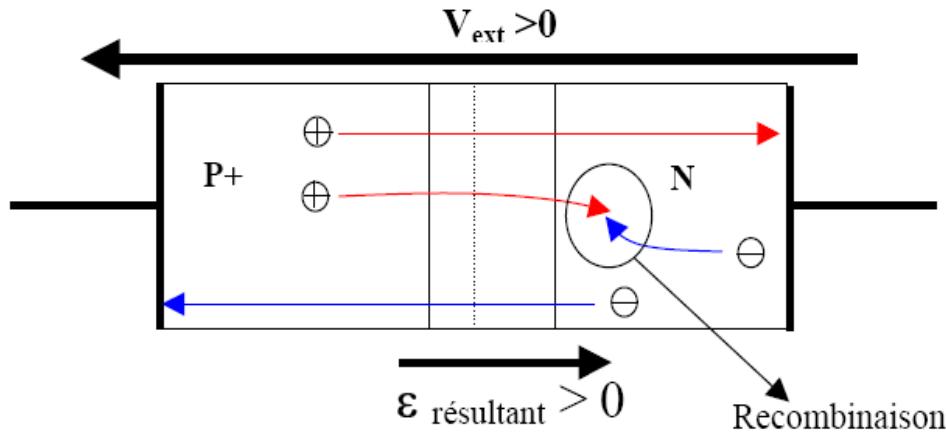
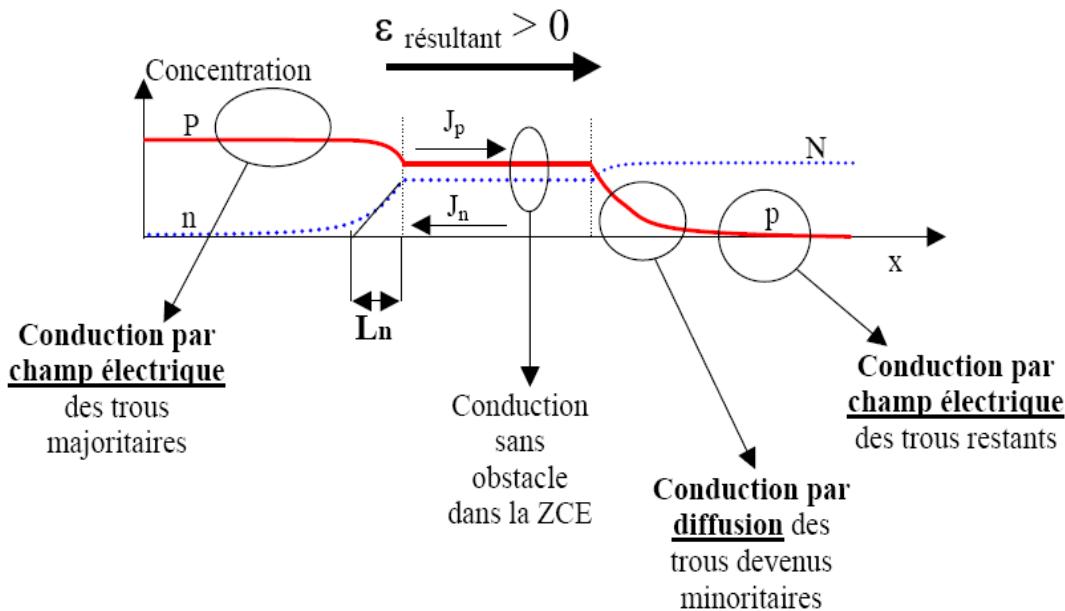


Figure 12 : Polarisation directe d'une jonction

On peut comptabiliser ces phénomènes en regardant l'évolution des concentrations le long de la jonction pendant la conduction.

On détaillera sur la courbe 2 les types de conduction pour les trous uniquement, il en serait de même pour les électrons.



Courbe 2 : Evolution des concentrations le long de la jonction pendant la conduction.

Comme $J_p(x) = N_p(x).e. V_p$ et $J_n(x) = -N_n(x).e. V_n$, le courant i sera égal à :

$$i = J.S = (J_p + J_n).S = \text{constante pour } V_{ext} = \text{constante et } T = \text{constante}$$

- La conduction par champ électrique est la conduction classique qui implique une chute de tension à l'état passant et donc une perte par effet joule.
- La conduction par diffusion est une conduction naturelle qui ne nécessite pas de champ électrique et donc non dissipative et sans chute de tension à l'état passant. Elle fait apparaître une donnée importante : la longueur de diffusion des porteurs : L .

$L = \sqrt{D \cdot \tau}$ où D est le coefficient de diffusion et τ la durée de vie des porteurs.)

Ainsi, pour profiter de la diffusion, on est tenté de construire des diodes "courtes" où la moitié de la conduction se fera par diffusion, mais cela impliquera malheureusement une mauvaise tenue en tension.

II.2 Diode Zener [30]

Dans un circuit électrique on représente la diode Zener par le symbole:



Figure 13 : Symbole de la diode Zener

Nous savons qu'une jonction P-N ne laisse passer le courant que dans un seul sens, en polarisation directe. Par contre, en polarisation inverse, il ne circule pratiquement aucun courant tant que la tension inverse ne dépasse pas une valeur limite, limite appelée tension de claquage U_{INV} max.

La tension inverse donne naissance à un champ électrique à l'intérieur de la plaquette de silicium, et plus précisément dans la zone isolante de la jonction.

La quantité faible des éléments de dopage fait que la jonction PN d'une diode conventionnelle supporte des champs électriques intenses correspondants à des tensions inverses allant de plusieurs centaines de volts à plusieurs milliers de volts.

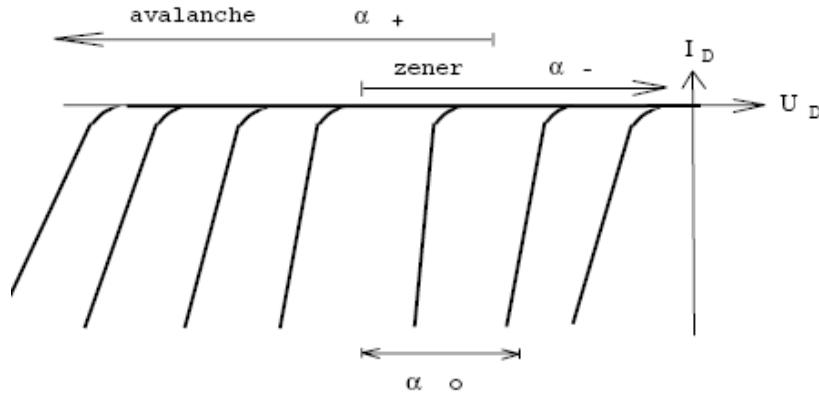
Si cette tension U_{INV} max est dépassée, l'emballement thermique détruit la diode dans la plupart des cas. C'est ce qui est appelé la zone de claquage.

Par contre, les diodes Zener ont été spécialement conçues et fabriquées de manière à pouvoir être utilisée en polarisation inverse, dans la zone de claquage, notamment en modifiant les dimensions de la jonction et surtout la quantité de dopage des zones P et N.

Plus fortement dopée que les diodes conventionnelles, un champ électrique relativement faible devient déjà suffisamment intense pour que les liaisons de covalence s'affaiblissent et se rompent.

Les porteurs de charges (des éléments de dopage) ainsi libérés sont assez nombreux pour que le courant augmente brutalement et pour que la tension aux bornes de la diode ne varie pratiquement plus. C'est ce qui est appelé l'effet Zener.

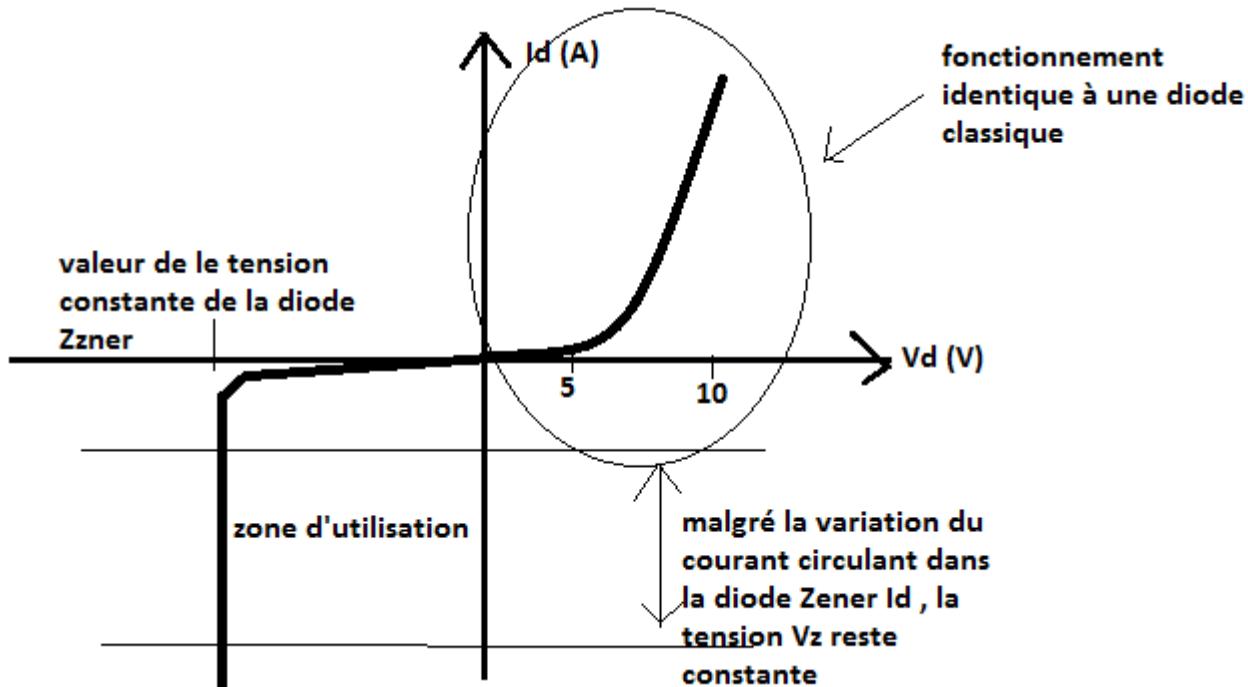
Pour d'autres diodes Zener, il est possible que sous l'action du champ électrique interne, les porteurs de charges minoritaires (du silicium) de la zone isolante acquièrent une énergie telle qu'il puisse y avoir ionisation par choc, et, par effet d'avalanche, le courant croît extrêmement vite et la tension aux bornes de la diode ne varie pratiquement plus. C'est ce qui est appelé effet d'avalanche.



Courbe 3 : Effet d'avalanche dans une diode Zener

En pratique, pour les diodes dont la tension zener dépasse 10V, seul l'effet d'avalanche est possible. Ce qui a pour conséquence que la caractéristique de la diode est moins franche (la pente est plus grande), et le coefficient de température est positif.[21]

Les diodes dont la tension Zener est inférieure à 5V ont une jonction très mince et seul l'effet Zener peut avoir lieu, ce qui entraîne que la caractéristique de la diode est très raide et, de plus, ces diodes ont un coefficient de température négatif.[21]



Courbe 4 : Caractéristique de transfert d'une diode Zener

Entre 5V et 10V, les deux effets peuvent se combiner, et la caractéristique est la plus raide ainsi que le coefficient de température qui peut être proche de zéro. Ce qui signifie que les diodes Zener prévues pour un fonctionnement inverse compris entre 5V et 10V seront utilisées pour un fonctionnement très stable.[21]

II.3 Diodes électroluminescentes

Caractéristiques :

Ces diodes spécifiques à base d'arsénure de gallium ont la propriété d'émettre de la lumière dans une bande de fréquence déterminée par les caractéristiques du matériau employé quand elles sont traversées par un courant direct.

Il en existe de diverses couleurs (jaune, orangé, rose, rouge, vert, infrarouges).

On les utilise avec un courant direct d'environ 10 à 20 mA.

La tension de coude de ces composants est plus élevée que celle des diodes ordinaires, et elle dépend de la couleur. Cette tension est comprise entre 1,2 et 3,8 V environ.

III. Le transistor

Un transistor est un dispositif semi-conducteur à trois électrodes actives, qui permet de contrôler un courant (ou une tension) sur une des électrodes de sorties (le collecteur) grâce à une électrode d'entrée (la base).[26]

On peut utiliser aussi le transistor :

- comme interrupteur dans les circuits logiques ;
- comme amplificateur de signal ;

- pour stabiliser une tension, moduler un signal

III.1 Transistor bipolaire :

Symbolisé par :

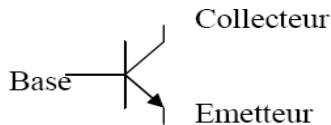


Figure 14 : Symbole du transistor

Le transistor bipolaire est formé de trois couches de semi-conducteurs dopés. [23]

- l'émetteur : fortement dopé (environ $1.e19 \text{ atomescm}^{-3}$), son rôle est de réaliser "l'injection" massive de porteurs majoritaires.
- la base : fine couche faiblement dopée, son rôle est de transmettre ou de stopper les porteurs majoritaires venant de l'émetteur et allant vers le collecteur.
- le collecteur : couche épaisse faiblement dopée, son rôle est de recevoir les porteurs majoritaires et d'assurer une bonne tenue en tension inverse.

En fonction de la nature des porteurs majoritaires choisie, on distinguera les transistors appelés NPN et PNP.

En électronique de puissance, nous allons nous intéresser uniquement à l'état bloqué et à l'état saturé du transistor.

III.1.1 Le transistor NPN :

Sa structure ressemble au schéma de la figure 16 sur lequel on fait apparaître les zones de charge d'espace correspondant aux jonctions BE et BC.[24]

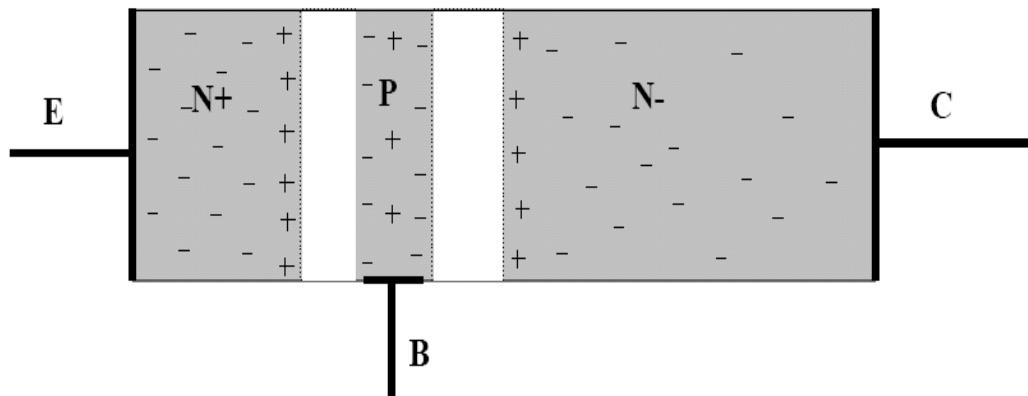


Figure 15 : Formation d'un transistor

Les deux jonctions réunies pour former une succession N – P – N sont équivalentes à deux diodes comme l'illustre dans la figure 17, à la différence que la base extrêmement fine, ne permet cette approximation que dans le régime bloqué.

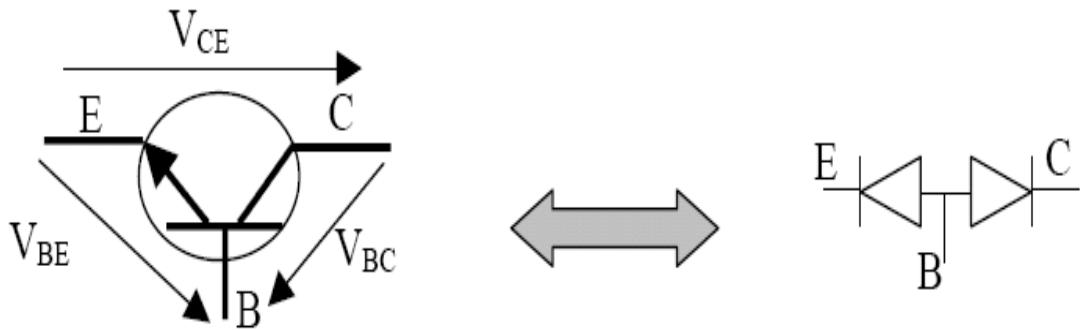


Figure 16 : Un transistor équivaut à 2 diodes

➤ Etat bloqué

Si $V_{BE} < 0$ et $V_{CE} > 0$, alors les deux jonctions sont polarisées en inverse, ainsi, les Zone de Charges d'Espace(ZCE) s'étendent d'autant plus que les tensions augmentent et le transistor ne permettra le passage d'aucun courant.

Le transistor sera équivalent à un interrupteur ouvert. La tenue en tension sera assurée principalement par la zone faiblement dopée, tout comme dans une diode.

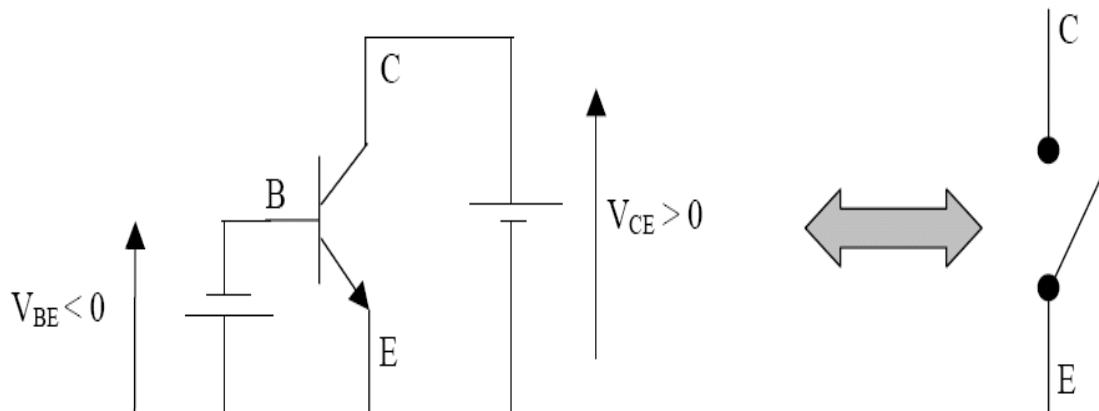


Figure 17 : Transistor à l'état bloqué

➤ Etat passant

Si $V_{BE} > 0$ et $V_{CE} > 0$, alors la jonction BE sera passante, c'est-à-dire que le champ résultant ϵ_{BE} va projeter les porteurs de l'émetteur vers la base.

Sachant que la base est volontairement très courte devant la longueur de diffusion des porteurs minoritaires (électrons), très peu de recombinaisons vont se produire, ainsi, les porteurs vont arriver en majorité au niveau de la ZCE de la jonction BC.

A ce niveau, le champ résultant ε_{be} , qui est la somme du champ interne et du champ extérieur, va les projeter dans la zone N- où ils retrouvent leur statut de majoritaire, c'est-à-dire de porteurs libres. Tout ceci s'appelle l'effet transistor.

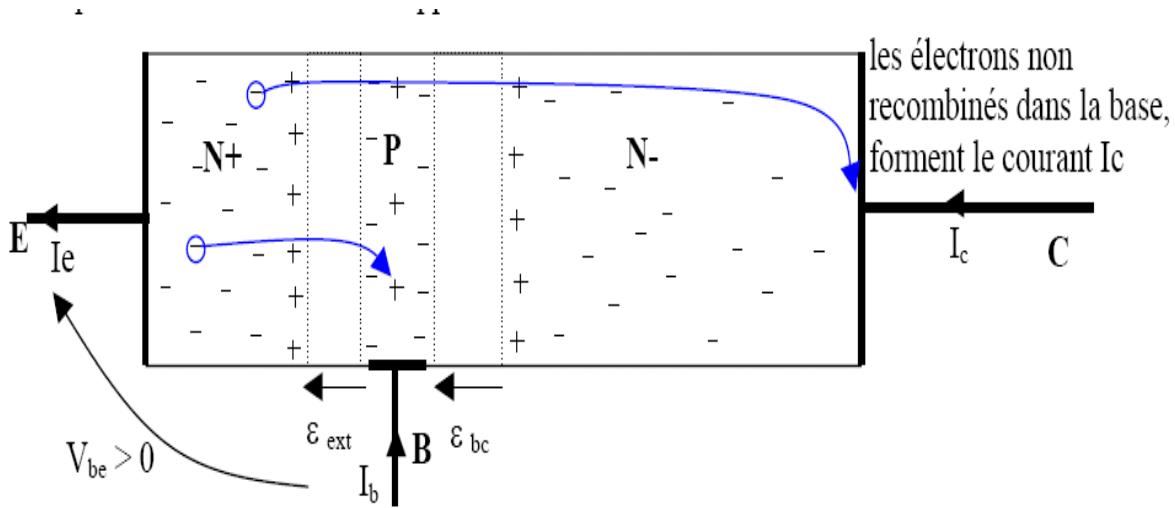


Figure 18 : L'effet transistor

Les quelques recombinaisons qui vont se produire dans la base vont appeler un courant I_b nécessaire à la neutralité électrique. Ainsi, $I_e = I_c + I_b$.

➤ Etat saturé [19]

Pour que les deux jonctions soient passantes, il faut que $V_{BE} > 0$ et $V_{BC} > 0$, en conduction,

on aura $V_{BE} \approx V_{BC} \approx V_{\text{seuil}}$ et donc $V_{ce} \approx 0$.

(En réalité, $V_{CE} = R_{\text{eq}} \cdot I_c$ où R_{eq} est la résistance du collecteur)

Ceci revient à polariser les deux jonctions comme suit : Dans cette configuration, le courant I_b sera supérieur à $\frac{I_c}{\beta}$, en effet, pour un V_{CE} faible, on voit sur les caractéristiques que $I_c < \beta \cdot I_b$. On déduit alors qu'un fonctionnement en interrupteur fermé du transistor bipolaire implique une forte consommation en courant de base, c'est-à-dire un faible gain β effectif.

On résume sur la figure 20 les divers modes de fonctionnement du transistor bipolaire :

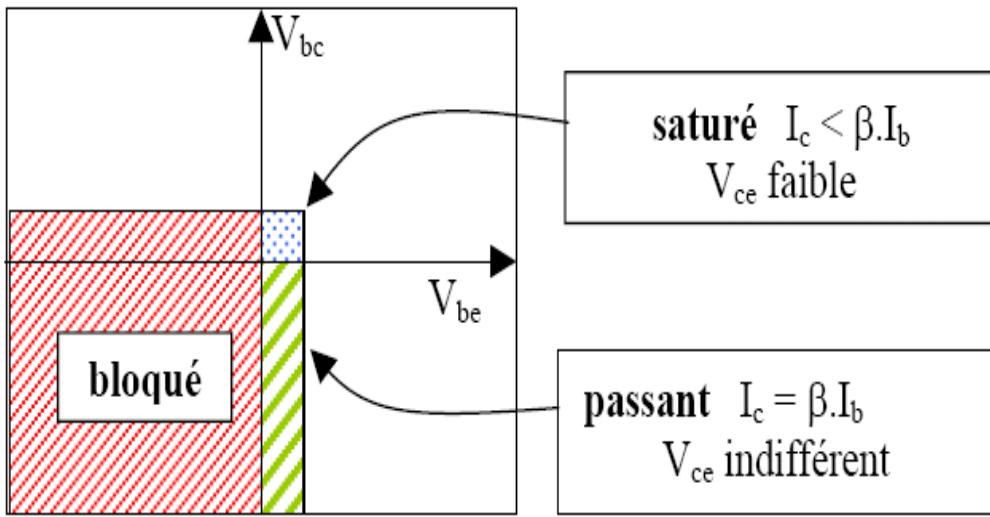


Figure 19 : Récapitulation de fonctionnement d'un transistor bipolaire

Dans le cas d'un transistor bipolaire, c'est un petit courant dans la base (I_b) qui permet le passage d'un courant beaucoup plus fort du collecteur vers l'émetteur (I_c).

Le courant de base est multiplié par un coefficient $\beta = \frac{I_c}{I_b}$.

La résistance de base doit être calculée pour avoir un courant de base suffisant.

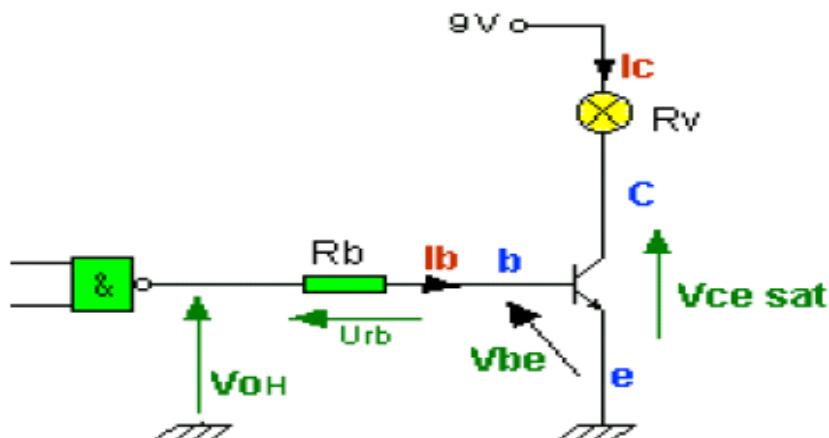
Quand le transistor est utilisé en commutation, deux cas sont possibles

- Soit le courant de base est nul et le transistor est bloqué. Il est équivalent à un interrupteur ouvert.
- Soit le courant de base est suffisant et le transistor est saturé. Il est équivalent à un interrupteur fermé.

III.1.2 Calcul de la résistance de base [20]

Le point de départ pour le calcul d'une résistance de base R_b est le courant I_c . Ce courant est calculé en fonction de la résistance de la charge et de la tension à ses bornes.

Considérons le circuit 1 :



Circuit 1 : Circuit à transistor

$R_v = 50\Omega$; $V_{ce\ sat} = 0,2$ V; $V_{be} = 0,7$ V; $200 < \beta < 300$; $VoH > 3,5$ V

$$I_c = \frac{(V_{cc} - V_{ce\ sat})}{R_v} = \frac{(9 - 0,2)}{50} = 0,176 \text{ A}$$

$$I_c = 0,176 \text{ A.}$$

Le courant de base I_b doit être suffisant pour saturer le transistor : $I_b > I_c$.

Si dans notre cas β est au moins égal à 200 d'après la documentation constructeur, il nous faut

$$I_b > \frac{0,176}{200} = 0,88 \text{ mA.}$$

Connaissant I_b , il est maintenant possible de calculer R_b avec $R_b = \frac{U_{R_b}}{I_b}$ et

$$V_{be} + U_{R_b} = VoH$$

VoH est la tension au niveau haut en sortie de la porte NAND : $VoH > 3,5$ V.

$$U_{R_b} = VoH - V_{be} = 3,5 - 0,7 = 2,8 \text{ V}$$

$$\text{Donc } U_{R_b} = 2,8 \text{ V}$$

Nous pouvons calculer R_b théorique : $R_b = \frac{U_{R_b}}{I_b} = \frac{2,8}{0,88 \cdot 10^{-3}} = 3181 \Omega$. Pour garantir une bonne

saturation, il est d'usage de choisir une résistance normalisée 2 à 3 fois plus petite.

Nous choisirons $R_b = 1,2 \text{ k}\Omega$

III.1.3 Le transistor bipolaire PNP

C'est le frère jumeau du transistor NPN.

Le courant de base change de sens et V_{BE} est négatif. La charge est maintenant sur le collecteur et la commande se fait sur un niveau bas.

III.2 Le transistor à effet champ [24]

L'effet de champ désigne la possibilité de contrôler une conduction par porteurs majoritaires dans un semi-conducteur dopé par l'influence d'un champ extérieur. Deux principes fondamentaux matérialisent cette possibilité :

- Le pincement d'un canal conducteur par un effet de champ, c'est le principe de fonctionnement des JFET (Jonction Field Effect Transistor).
- La création d'un canal ionisé par effet de champ dans un semi-conducteur, c'est le principe du MOSFET (Métal Oxyde Semi-conductor ...)

Le principe du JFET ne sera que survolé pour se focaliser sur celui du MOSFET qui représente actuellement un standard d'utilisation en petites et moyennes puissances et dont découle le principe de l'IGBT.

L'avantage majeur de ces structures est que le contrôle de la conduction se fait avec un très faible courant de commande.

III.2.1 Le JFET (Jonction Field Effect Transistor)[24]

Dans les JFET, le champ est produit par deux jonctions PN polarisées en inverse.

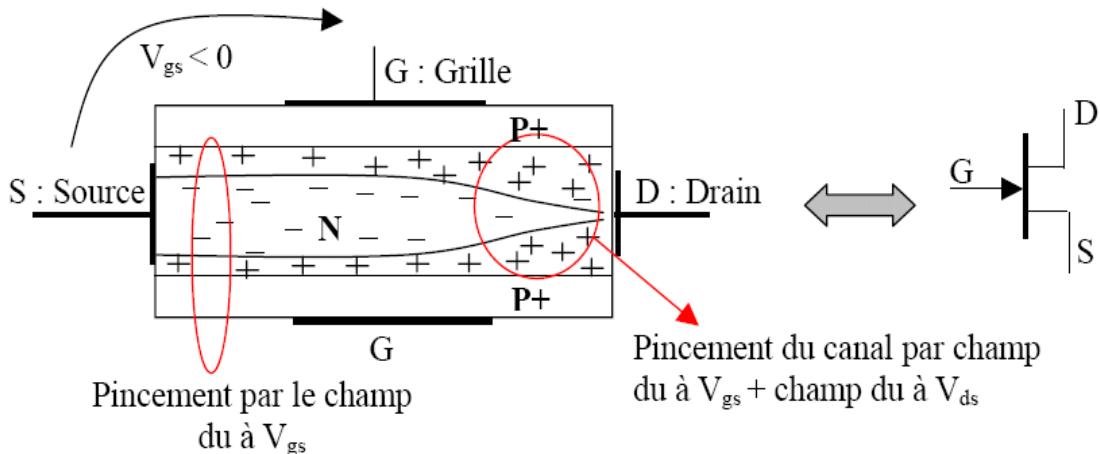
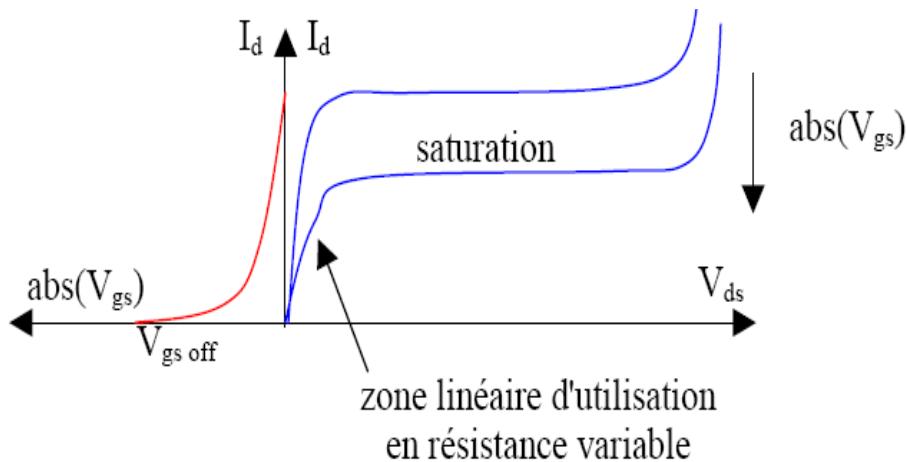


Figure 20 : Principe de fonctionnement d'un JFET

Quand $V_{gs} < 0$ augmente (en valeur absolue), les jonctions étendent leurs zones de charge d'espace d'autant plus profondément dans le substrat N, limitant ainsi l'épaisseur du canal conducteur et donc le courant maximum. Ce phénomène est à discerner du pincement naturel du canal (visible sur le dessin) du à l'évolution interne du champ électrique lorsque la jonction est sous forte polarisation, cependant, ce pincement-là, à son maximum, correspondra au courant de saturation.

Il est à noter que le JFET peut conduire le courant indifféremment dans les deux sens.

On peut résumer son fonctionnement par ses caractéristiques statiques :



Courbe 5 : Graphe de I_d en fonction de V_{ds} et V_{gs} [8]

Cependant, le JFET est très peu utilisé en électronique de puissance, contrairement au MOSFET.

III.2.2 Le MOSFET (Métal Oxyde Semi-conducteur FET) [24]

Le principe du MOS est de forcer un canal de semi-conducteur dopé de type P (par exemple), à devenir localement de type N et ce grâce à un champ qui va attirer les porteurs minoritaires et repousser les majoritaires.

On illustre tout d'abord ce principe sur la coupe du MOS latéral qui est utilisé en tant que transistor à signal.

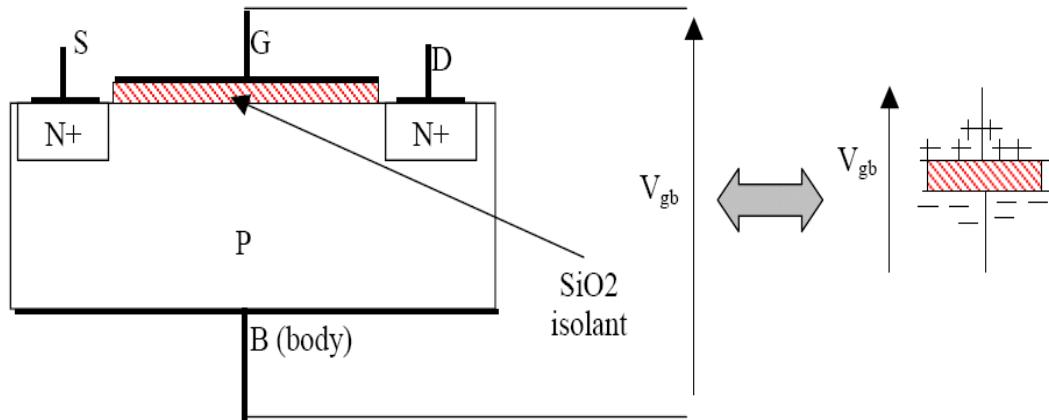


Figure 21 : Coupe du MOS

Si on impose $V_{gb} > 0$, le transistor va se comporter vu de la grille comme un condensateur, chargé, on verra donc apparaître des électrons sous l'isolant de la grille.

D'autre part, habituellement, on relie le substrat (body) à la source, ainsi la tension de commande devient V_{gs} et non plus V_{gb} qui faisait un composant à quatre pattes.

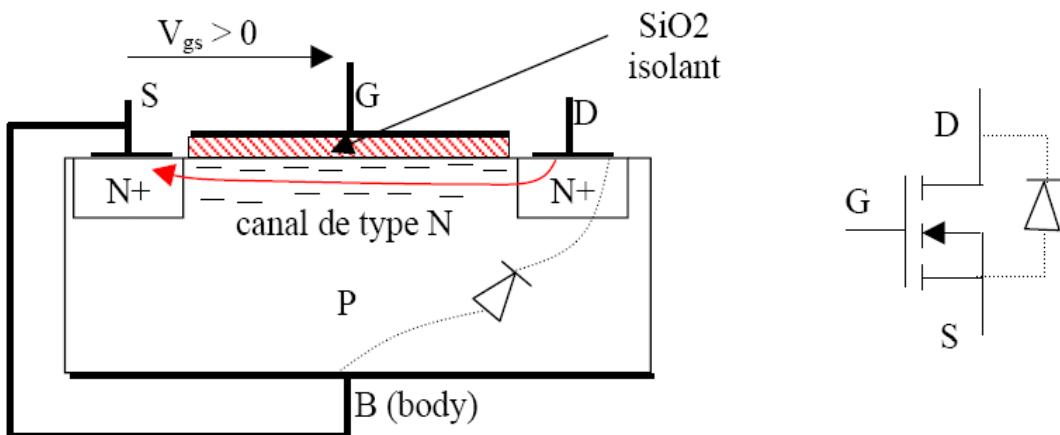
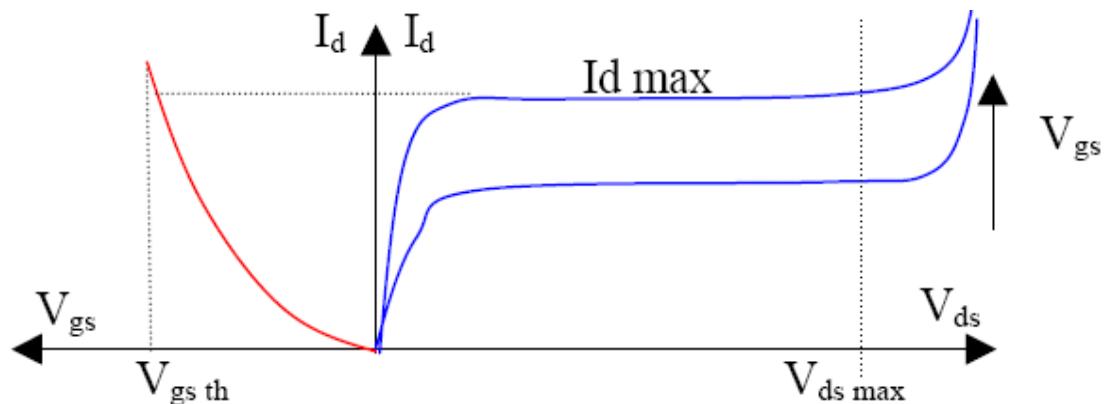


Figure 22 : Polarisation du MOS

Le fait de relier la source et le substrat impose la présence d'une diode équivalente en anti-parallèle sur le transistor, comme l'illustre la figure 23, cependant, on ne la fait habituellement pas apparaître sur le symbole.

On pourra résumer le fonctionnement du MOS par ses caractéristiques statiques.



Courbe 6 : Graphe de I_d en fonction de V_{ds} et V_{gs}

Il est important de noter que la conduction dans le MOS se fait uniquement par porteurs majoritaires dans un seul type de substrat, ainsi le MOS ne bénéficie pas de conduction par diffusion, son seul type de conduction est par champ électrique et donc responsable d'une chute de tension à l'état passant matérialisée par une résistance à l'état passant R_{ds} .

On a $R_{ds} = V_{ds}/I_d$ en fonction de V_{gs} .

IV. L'amplificateur opérationnel [10]

IV.1 Définition :

Le composant se présente sous forme d'un boîtier plastique ou métallique muni de bornes de raccordement. C'est un circuit intégré, c'est-à-dire qu'il est formé d'une multitude de composants électroniques élémentaires (résistances, transistors, condensateurs, diodes, etc...) formant un circuit complexe et intégrés dans un boîtier. Ce circuit est connecté à l'extérieur par des bornes de raccordement : 3 bornes fonctionnelles et 2 bornes d'alimentation, par exemple de +15 et -15V.

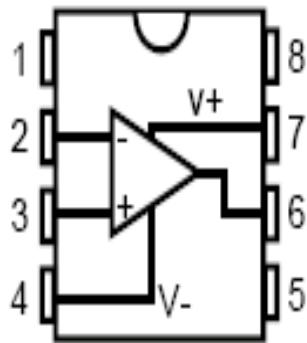
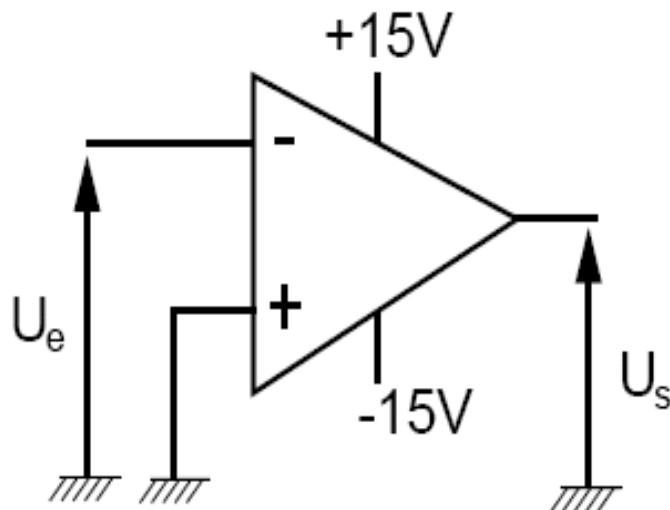


Figure 23 : Vue de dessus amplificateur opérationnel dans un boîtier à 8 bornes

C'est un composant muni de 3 bornes de raccordements fonctionnelles: deux entrées + et - et une sortie. Il possède 2 bornes d'alimentation dont la tension est en général symétrique $\pm 5V$, $\pm 10V$, $\pm 12V$, $\pm 15V$... Dans certains cas l'alimentation peut aussi être dissymétrique, par exemple: $0V-5V$.



Circuit 2 : Représentation schématique d'un amplificateur opérationnel [13]

IV.2 Caractéristiques:

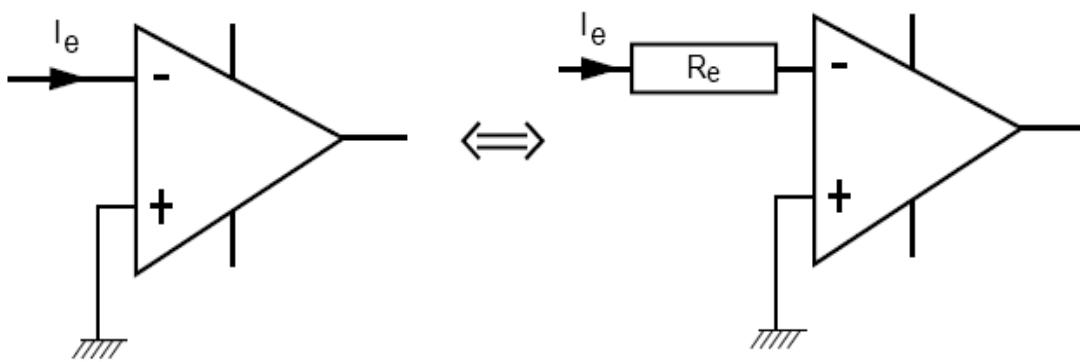
IV.2.1 Le gain: G

Le gain est donc le facteur d'amplification de la tension d'entrée U du composant.

En prenant comme exemple un gain de 600000, alors si $U=1V$, U_s devrait être de 600000 V, ce qui est impossible vu que la tension d'alimentation ne dépasse guère ± 15 V. On dit que l'ampli est saturé, son fonctionnement est non-linéaire.

Par contre, en fonctionnement "normal", linéaire, si G est très grand c'est-à-dire tendant vers l'infini, alors U tend vers 0.

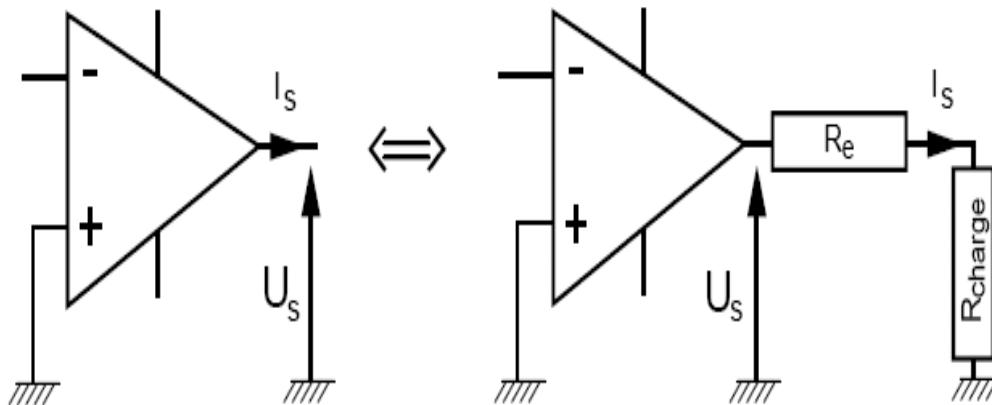
IV.2.2 Résistance d'entrée: R_e tend vers l'infinie,



Circuit 3 : Résistance d'entrée d'un AOP

IV.2.3 Résistance de sortie: R_s

$$I_s = \frac{U_s}{R_s + R_{ch \arg e}} = \frac{U_s}{R_{ch \arg e}}$$

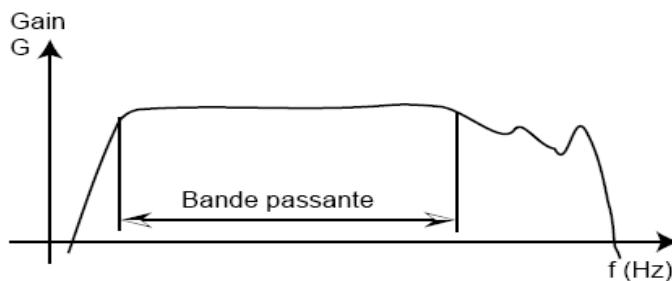


Circuit 4 : Résistance de sortie d'un AOP

IV.2.4 Bande passante: BP

En réalité quelques centaines de kilohertz ou mégahertz pour l'amplificateur opérationnel. C'est la capacité de l'amplificateur à répondre linéairement à une variation rapide du signal d'entrée.

De manière générale, la bande passante est définie comme étant la bande de fréquences pour laquelle le gain ne change pas.



Courbe 7 : Réponse en fréquence d'un amplificateur

DEUXIEME PARTIE : CONCEPTION ET ELABORATION DES MATERIELS DIDACTIQUES

Ce chapitre traite la conception et élaboration des matériels didactiques que nous proposons pour l'enseignement/ apprentissage de l'utilisation de quelques composants électroniques (tel que le transistor et l'amplificateur opérationnel) en classe de seconde. Des explications et descriptions plus ou moins détaillées, de différentes étapes de l'élaboration sont données. Ces matériels ne sont pas très compliqués et l'équipe pédagogique ou les enseignants de physique peuvent élaborer pour équiper leur établissement.

Ils sont conçus pour être facilement manipulables. Un prototype de chaque circuit peut servir à l'ensemble des élèves d'une classe. En effet, les composants utilisés sont fixés séparément sur différents supports en contre-plaqué.

Dans ce cas les prototypes sont utilisables pour plusieurs activités expérimentales et les élèves peuvent se familiariser avec les montages. La présentation des prototypes est aussi un critère que nous n'avons pas négligé car une bonne présentation stimule et attire l'attention des élèves. C'est pour cette raison que le support de chaque prototype est peint en bleu et les symboles des composants employés sont tracés en noir.

I. Circuit utilisant les supports élaborés :

Dispositif 1 : Générateur variable de courant continu.

Dispositif 2 : Utilisation d'un transistor en amplificateur.

Dispositif 3 : Les différents montages à amplificateur opérationnel

Dispositif 4 : Amplificateur de son : association d'un Amplificateur opérationnel et des transistors.

II. Matériels et outillages utilisés :

Pour élaborer notre matériel didactique nous avons besoins des matériels et des outillages.

Les outils utilisés sont : scie, équerre et règle, crayon ou stylo, pinceau, papier vert, lame en diamant, marqueur, fer à souder, perceuse, mèche (6mm) nécessaire dans les travaux d'élaborations que nous faisons dans cette partie.

Matériels : contre-plaqué (épaisseur 5mm), vitre (épaisseur 3mm), colle blanche et super glue,

peinture (bleu), fiches bananes mâles et femelles, fils de connexion, étain.

Avant le travail d'élaboration, on peint le contre-plaqué ensemble pour économiser le temps. Après chaque découpage, on ponce les bords et on les colore.

Notre travail se divise en deux parties :

III. Elaboration des supports :

III.1 Elaboration de boîte de pile et support du potentiomètre :

III.1.1 Boîte de pile :

Modèle à élaborer :

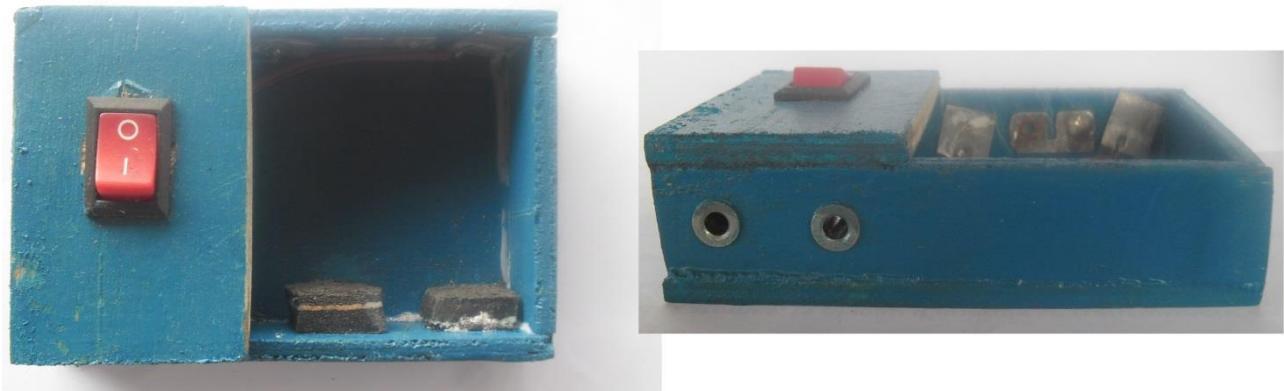


Figure 24 : Boîte de pile

Travaux d'élaboration :

On découpe deux contre-plaqué : un $10 \text{ cm} \times 6,5 \text{ cm}$ et un $6,5 \text{ cm} \times 5,5 \text{ cm}$. Sur la plaque de $6,5 \text{ cm} \times 5,5 \text{ cm}$, on creuse un petit rectangle suivant la figure 25 qui serve à fixer l'interrupteur.

L'autre plaque sert de couvercle arrière du boîtier.

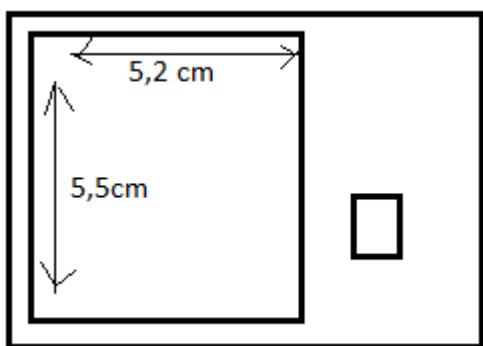
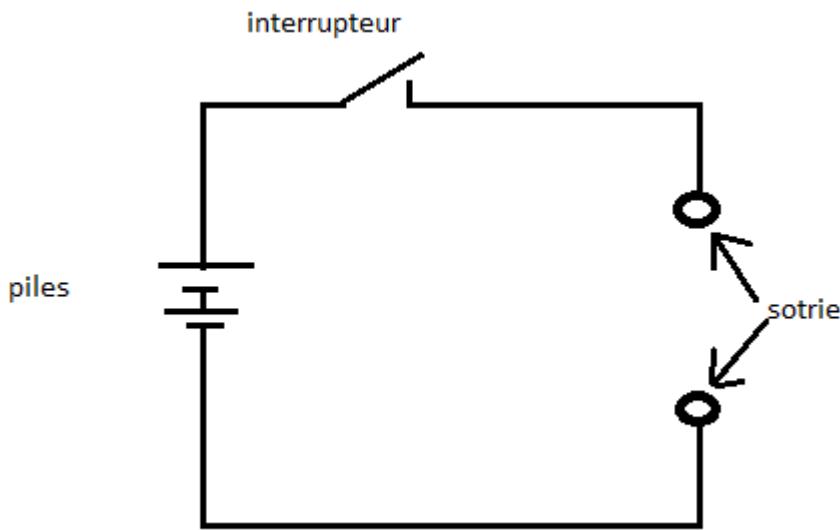


Figure 25 : Face supérieure du support

On scie quatre contre-plaqué de $10 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$. On perce deux trous de 6 mm sur l'une des quatre lames. Ces trous sont réservés pour les fiches femelles à la sortie du support.

On fixe ces lames sur les bords de la plaque carrée qui forment les faces latérales de notre support.



Circuit 5 : Montage dans la boite de pile

Sur la place des piles nous fixons une plaque métallique portant de ressort (trouvé dans un support des piles d'une radio ou de télécommande ...).

On implante à leurs places l'interrupteur et les fiches bananes femelles, on relie ces pièces par des fils de connexion suivant le circuit 5.

Enfin on fixe le couvercle arrière du boîtier. L'élaboration est terminée.

Nous avons élaboré quatre exemplaires de ce type.

Le tableau suivant montre le coût approximatif en (Ariary) d'un exemplaire de ce support.

| Matériel | Nombre | Prix (Ar) |
|----------------------|------------------------------------|--------------|
| Contre-plaqué | 15,5 cm de long et 6,5 cm de large | 300 |
| DEL | 1 | 200 |
| Fiche banane femelle | 2 | 2000 |
| Interruuteur | 1 | 1000 |
| | | Total : 3500 |

III.1.2 Support de potentiomètre :

Modèle à élaborer :



Figure 26 : Potentiomètre et son support

Travaux d'élaboration :

On découpe deux contre-plaqués carrés de 6 cm x 6 cm. Sur l'une des deux plaques, on perce quatre trous de 6 mm, un trou de 8 mm, suivant la figure 27.

Les quatre trous servent à fixer les fiches femelles ; le trou de 8 mm est réservé au potentiomètre.

On trace le symbole du potentiomètre.

L'autre plaque sert de couvercle arrière du boîtier.

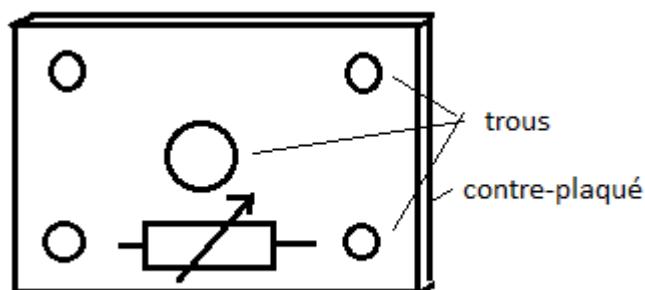


Figure 27 : Face supérieure déjà percé

On implante le potentiomètre et les fiches bananes femelles, on relie ces pièces par des fils de connexion suivant la figure 28.

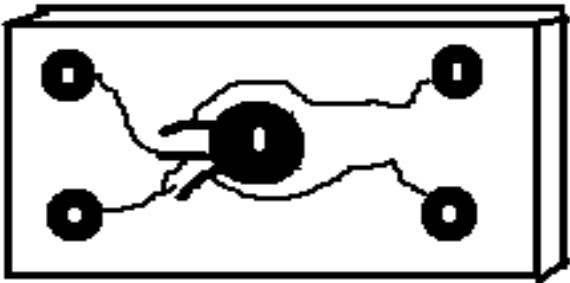


Figure 28 : Mise en place du potentiomètre et les fiches bananes

On scie quatre contre-plaqués de 10 cm x 4 cm. On fixe ces contre-plaqués sur les bords de la plaque carrée qui forment les faces latérales de notre support.

Enfin on fixe le couvercle arrière du boîtier.

L'élaboration est alors terminée.

Nous avons élaboré quatre exemplaires de ce type.

Le tableau suivant montre le coût approximatif en (Ariary) d'un exemplaire de ce module.

| Matériel | Nombre | Prix (Ar) |
|----------------------|--------------------------------|--------------|
| Contre-plaqué | 34 cm de long et 6 cm de large | 600 |
| Potentiomètre | 1 | 1000 |
| Fiche banane femelle | 4 | 4000 |
| | | Total : 5600 |

III.2 Support de transistor :

Modèle à élaborer :



Figure 29 : Transistor et son support

Travaux d'élaboration :

On découpe deux contre-plaqués carrés de 10 cm x 10 cm. Sur l'une des deux plaques, on perce cinq trous de 6 mm. Au milieu on colle une petite matière en plastique ou bouchon suivant la figure 31 (face inférieure).

Les cinq trous servent à fixer les fiches femelles. La matière en plastique constitue l'emplacement du transistor.

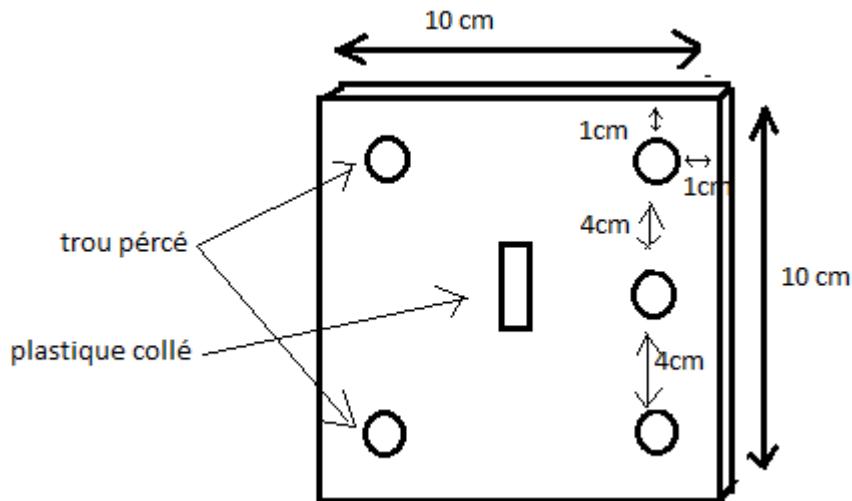


Figure 30 : Face inférieure du support avec les trous percés

Sur la face supérieure on dessine le symbole du transistor (figure 31).

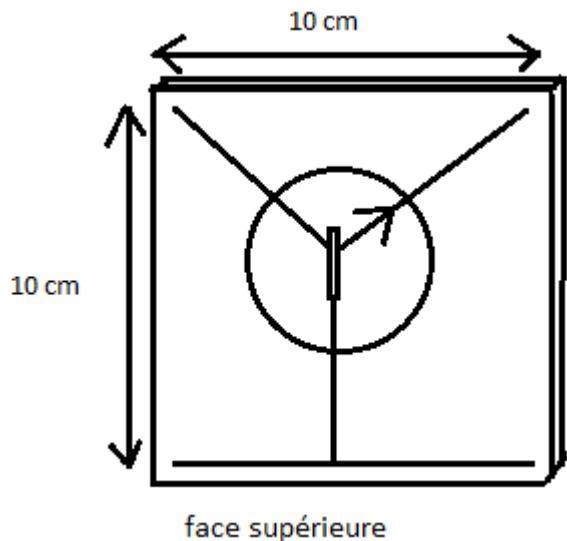


Figure 31 : Symbole du transistor tracé sur la face supérieure du support

On fixe le transistor et les fiches bananes mâles, on relie ces pièces par des fils de connexion suivant la figure 32.

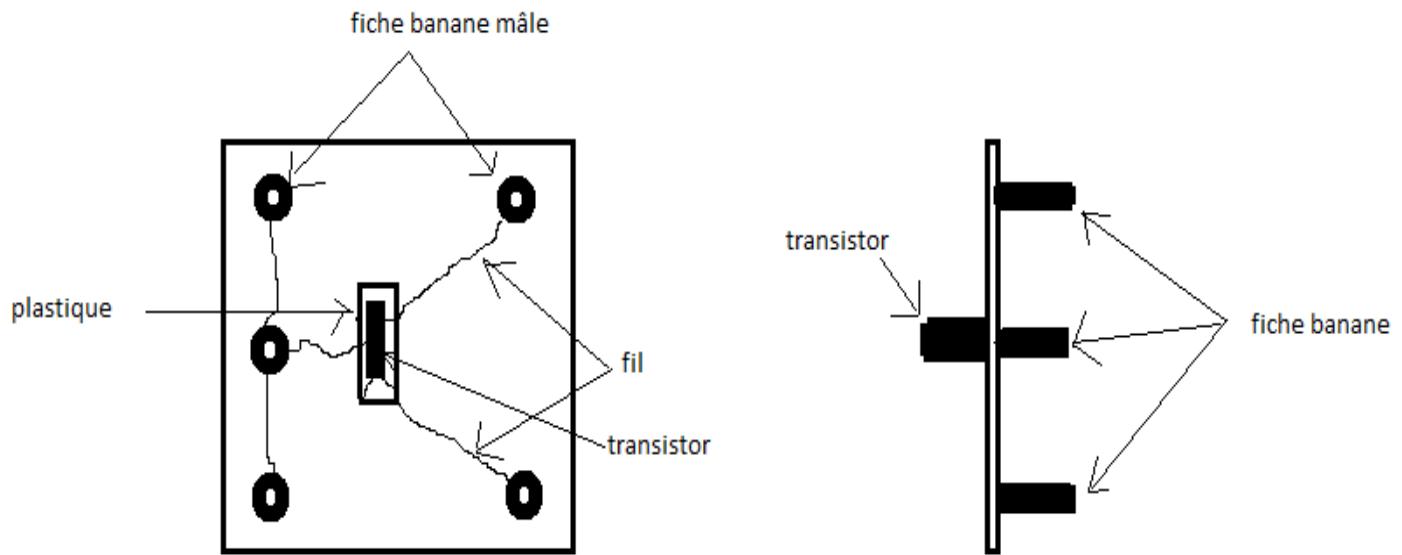


Figure 32 : Fixation du transistor et les fiches bananes sur la plaque

On trace deux vitres de 10 cm x 2 cm et deux vitres de 9,4 cm x 2 cm.

On fixe ces vitres sur les bords de la face supérieure qui forment les faces latérales du support. On colle la face inférieure. Le travail est terminé.

Nous avons élaboré trios exemplaires de ce type : deux à transistor NPN (BD 711 et 2N4401) et un à transistor PNP (BD 712).

Le tableau suivant montre le coût approximatif en (Ariary) d'un exemplaire de ce module.

| Matériel | Nombre | Prix (Ar) |
|-------------------|---------------------------------|--------------|
| Contre-plaqué | 20 cm de long et 10 cm de large | 600 |
| Transistor | 1 | 3000 |
| Fiche banane mâle | 5 | 5000 |
| Vitre | 20 cm de long et 4 cm de large | 1000 |
| | | Total : 9600 |

III.3 Support de l'amplificateur opérationnel :

Modèle à élaborer :



Figure 33 : Amplificateur opérationnel et son support

Travaux d'élaboration :

Pour le support de l'amplificateur c'est le même modèle que pour le transistor. La seule différence c'est que pour le support de l'AOP, dans la face supérieure il y a aussi des fiches bananes.

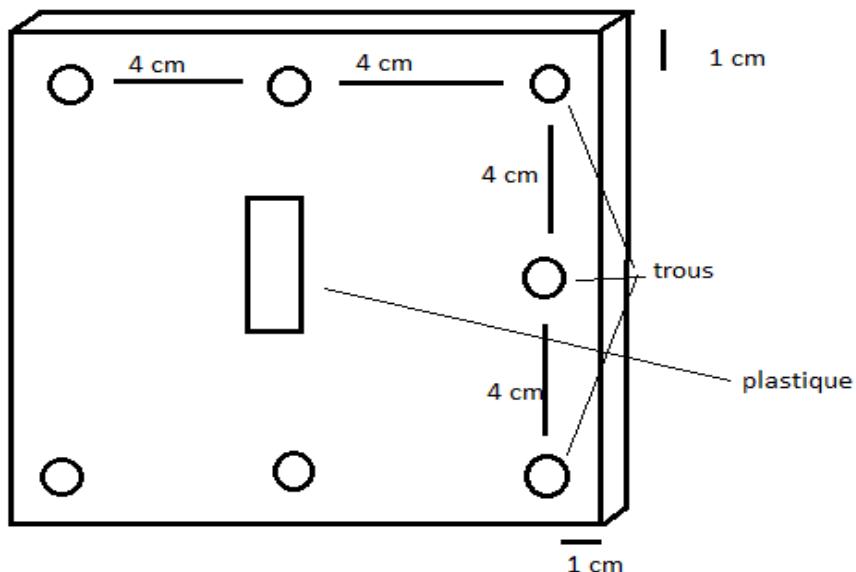


Figure 34 : Face inférieure du support avec les trous percés

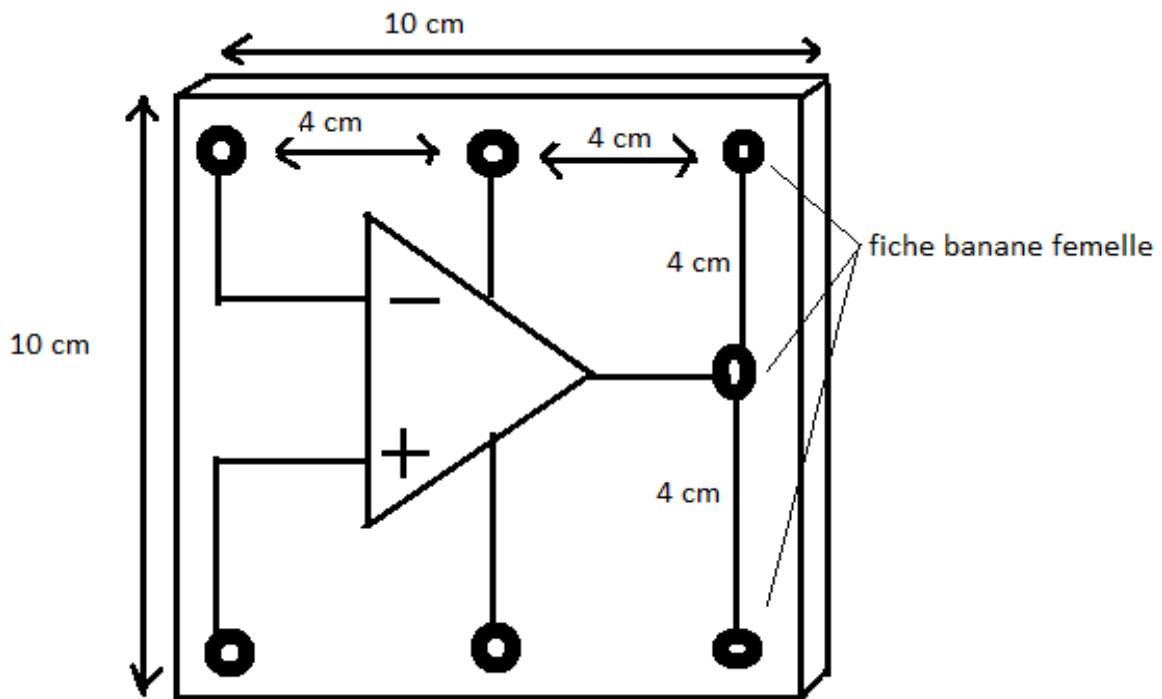


Figure 35 : Symbole de l'AOP et les fiches bananes fixés sur la face supérieure

On relie l'AOP avec les fiches bananes de la face supérieure et inférieure suivant la figure 36.

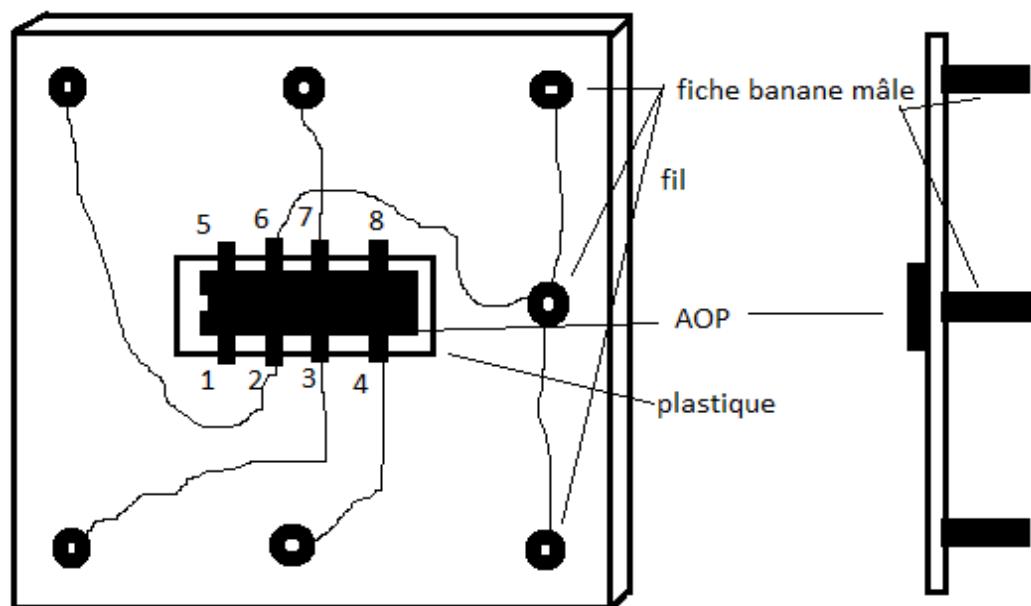


Figure 36 : AOP relié avec les fiches bananes

Nous avons élaboré un exemplaire de ce support : AOP (TL071).

Le tableau suivant montre le Coût approximatif en (Ariary) d'un exemplaire de ce module.

| Matériel | Nombre | Prix (Ar) |
|-------------------|---------------------------------|---------------|
| Contre-plaqué | 20 cm de long et 10 cm de large | 600 |
| AOP | 1 | 3000 |
| Fiche banane mâle | 7 | 7000 |
| Vitre | 20 cm de long et 4 cm de large | 1000 |
| | | Total : 11600 |

III.4 Support de résistance

Modèle à élaborer :

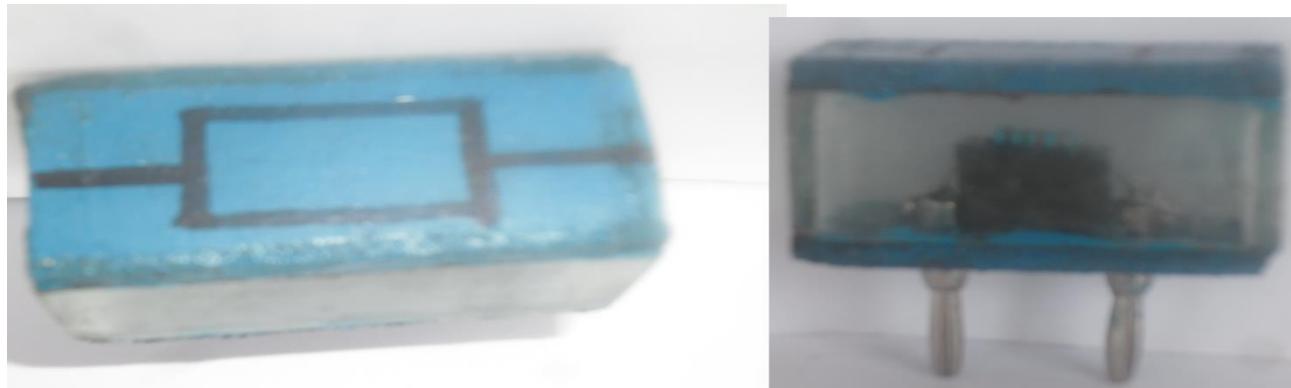


Figure 37 : Résistor et son support

Travaux d'élaboration :

On scie deux contre-plaqués carrés de 5 cm x 2 cm, l'un pour la face supérieure et l'autre pour la face inférieure du support.

Pour la face supérieure on dessine le symbole de la résistance (figure 38).



face supérieure

Figure 38 : Symbole de la résistance tracé sur la face supérieure du support

Pour la plaque de la face inférieure on perce deux trous de 6 mm à 1,5cm de deux bords et au centre on colle une petite matière plastique pour fixer la résistance (figure 39).

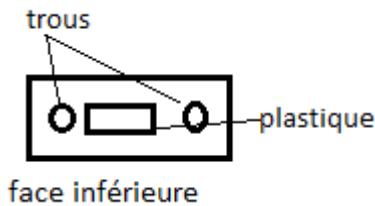


Figure 39 : Face inférieure du support

On implante à leurs places les fiches bananes mâles et le résistor, on relie ces pièces par des fils de connexion (figure 40).



Figure 40 : Fixation de la résistance et les fiches bananes

On coupe deux vitres de 5 cm x 2 cm et deux vitres de 2 cm x 1,4 cm.

On fixe ces vitres sur les bords de la face supérieure qui forment les faces latérales du support. On colle la face inférieure. L'élaboration est terminée.

Pour la résistance nous avons élaboré huit supports :

Deux pour $R=1\text{k}\Omega$, deux pour $R=10\text{k}\Omega$, un pour $R=250\Omega$, un pour $R=100\Omega$, un pour $R=50\text{k}\Omega$ et un pour $R=100\text{k}\Omega$.

Le tableau suivant montre le coût approximatif en (Ariary) d'un exemplaire de ce module.

| Matériel | Nombre | Prix (Ar) |
|-------------------|--------------------------------|--------------|
| Contre-plaqué | 10 cm de long et 2 cm de large | 100 |
| Résistor | 1 | 100 |
| Fiche banane mâle | 2 | 2000 |
| Vitre | 14 cm de long et 2 cm de large | 500 |
| | | Total : 2700 |

III.5 Support de diode

Modèle à élaborer :

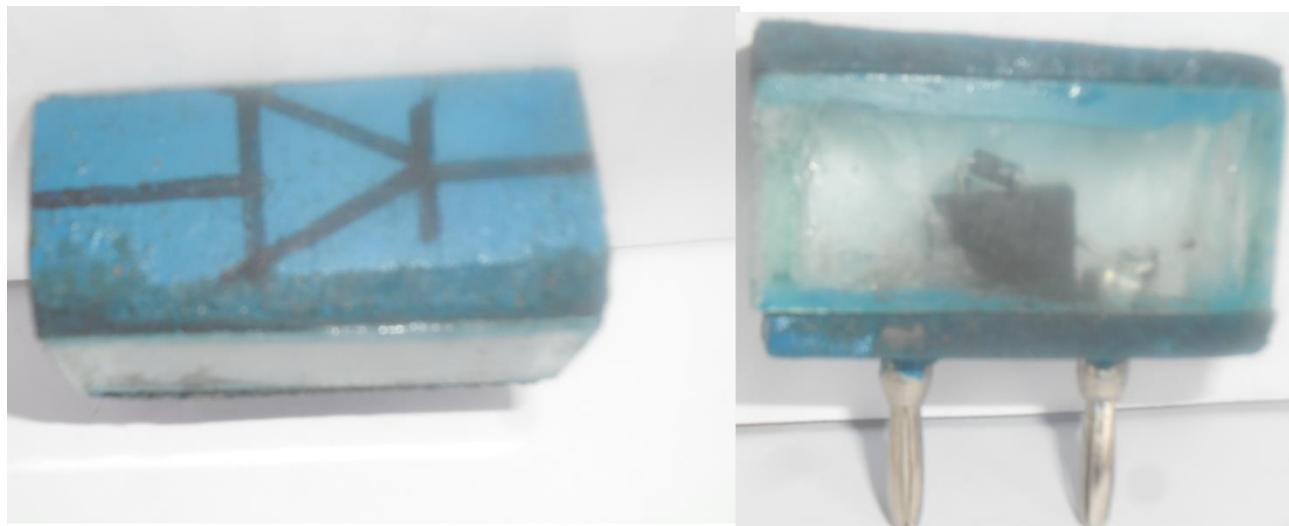


Figure 41 : Diode et son support

Travaux d'élaboration :

Pour le support de diode c'est le même modèle que pour la résistance.

Pour la diode nous allons élaborer trois supports : un pour le DEL et deux pour la diode à jonction (1N4007).

Le tableau suivant montre le coût approximatif en (Ariary) d'un exemplaire de ce module.

| Matériel | Nombre | Prix (Ar) |
|-------------------|--------------------------------|--------------|
| Contre-plaqué | 10 cm de long et 2 cm de large | 100 |
| Diode | 1 | 1000 |
| Fiche banane mâle | 2 | 2000 |
| Vitre | 14 cm de long et 2 cm de large | 500 |
| | | Total : 3600 |

IV. Elaboration d'une plaque à réseau :

Modèle à élaborer :

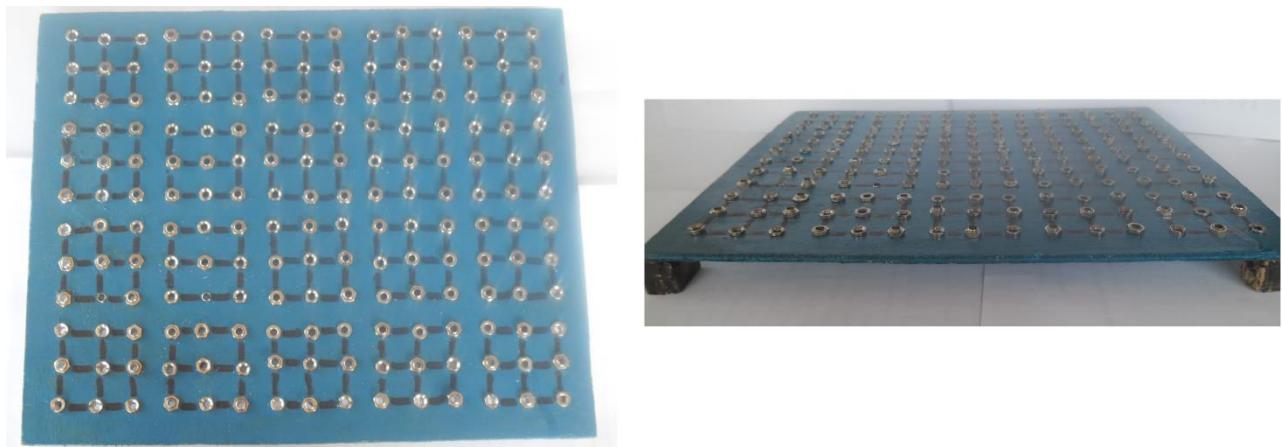


Figure 42 : Plaque à réseau

Travaux d'élaboration : On scie le contre-plaqué de 30 cm de long et 26cm de large. On perce beaucoup de trous sur la plaque comme nous voyons dans la figure 42. La distance entre le trou est de 2cm.

Pour le pied de notre support on scie 4 planches de longueur 4 cm, largeur et hauteur 2 cm. Prenons le marteau et le clou de cordonnier, attachons la planche aux quatre côtes du contre-plaqué.

Fixons les fiches bananes femelles aux trous percés, on relie ces pièces par les fils de connexion suivant la figure 42. C'est la fin de notre travail.

Nous avons élaboré une seule plaque à réseau.

Coût approximatif :

| Matériel | Nombre | Prix (Ar) |
|----------------------|---------------------------------|----------------|
| Contre-plaqué | 50 cm de long et 26 cm de large | 3000 |
| Fiche banane femelle | 180 | 180000 |
| | | Total : 183000 |

TROISIEME PARTIE : ACTIVITE EXPERIMENTALE

Comme nous avons déjà dit que l'expérience joue un rôle très important dans l'enseignement/apprentissage des sciences physiques. Ce chapitre propose donc des activités expérimentales basées essentiellement sur l'utilisation des matériels que nous avons élaborés. Ces activités qui concernent les transistors et l'amplificateur opérationnel destinés aux élèves de classe de seconde. Elles sont présentées sous formes de cours et de travaux pratiques illustrés par des expériences dont les principaux objectifs sont :

- Réaliser des circuits électriques
- Utiliser un générateur de courant variable
- Faire connaitre aux élèves les composants à étudier
- Savoir les différents fonctionnements de ces composants
- Etudier les différents montages à transistor et à AOP.

I. Activité 1 : Générateur variable de courant continu

Montage à potentiomètre :

Objectif : Etudier le fonctionnement d'un générateur de tension variable

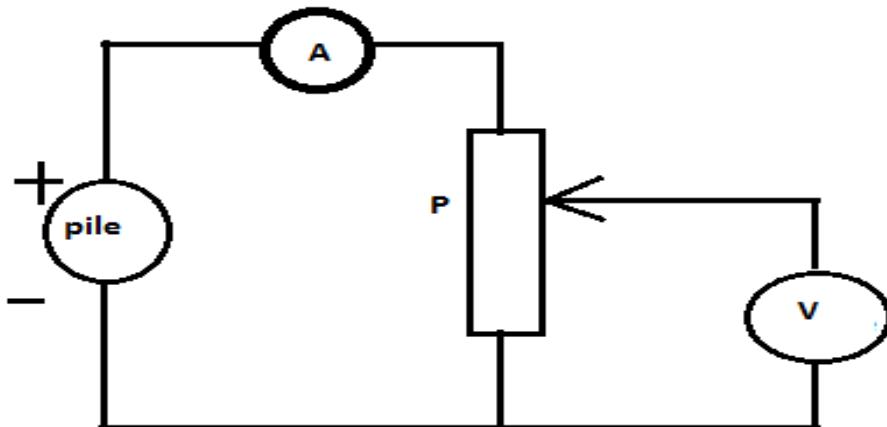
Matériels utilisés :

-Deux piles de 9 V montés en séries

-Un potentiomètre

-Deux multimètres (l'un en mode ampèremètre et l'autre voltmètre)

Montage à réaliser :



Circuit 6 : Générateur de tension variable

Principe :

1. Réaliser le montage.
2. Faire tourner petit à petit le potentiomètre et noter l'intensité et la tension du courant dans le tableau suivant:

| | | | | | | | | | |
|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| U(V) | | | | | | | | | |
| I(A) | | | | | | | | | |

Observation :Quand on tourne le potentiomètre,la tension dans la sortie varie.

Interprétation :

Tracer la courbe $U=f(I)$

C'est la résistance du potentiomètre qui est le facteur de la diminution de la tension du générateur, ceci est expliqué par la loi d'Ohm $U=R.I$.

Conclusion : Le montage potentiométrique permet d'obtenir une tension de sortie U_S réglable de 0 à une valeur maximum U_0 (tension du générateur).

Utilisation : Ce montage est généralement utilisé lorsqu'on ne dispose pas d'un générateur de tension variable.

II. Activité 2 : Utilisation d'un transistor en amplificateur

Objectif :

-Donner les caractéristiques d'un transistor

-Etudier les différents montages à transistor

II.1 Caractéristique d'un transistor :

Matériels utilisés :

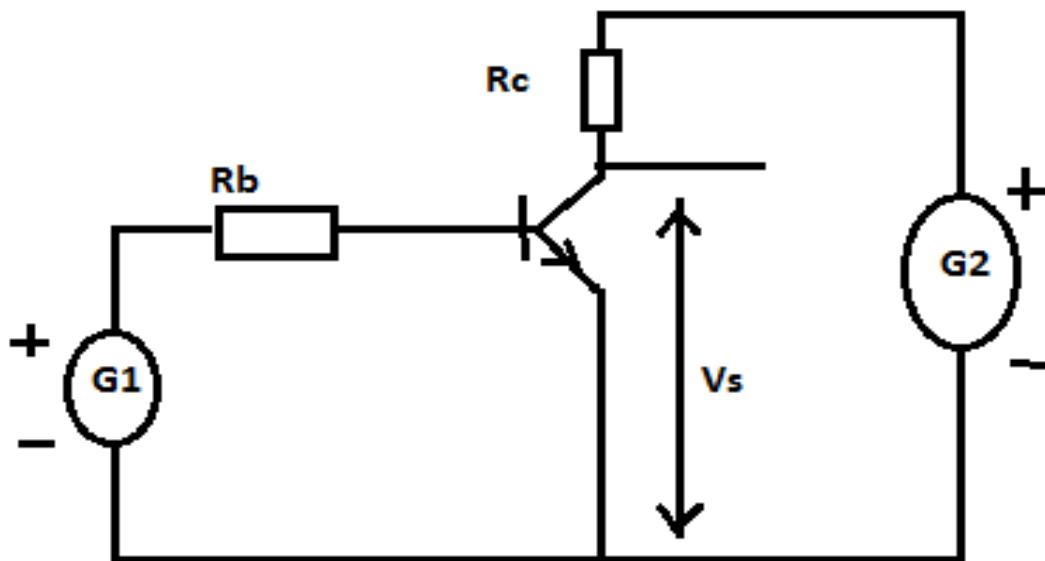
-Deux générateurs à tension variable (0 à 15V)

-Plaque à réseau

-Transistor NPN (BD 711)

-Deux résistors :

Montage à réaliser :



Circuit 7 : Circuit à transistor

Principe :

1. Réaliser le montage et faire attention aux bornes du transistor.

Garde $V_{cc}=12V$: tension qui sort sur G2

$R_b=10k\Omega$, $V_{BE}=0,6V$ (tension seuile de la jonction BE)

2. Pour les valeurs de V_e (tension qui sort sur G1) et valeurs de R_c données dans le tableau suivantes ; relever I_b , I_c et V_{CE} et compléter le tableau.

| V_e (V) | R_c ($k\Omega$) | I_b | I_c | V_{CE} |
|-----------|---------------------|-------|-------|----------|
| 0 | Inconnu | | | |
| 0,4 | Inconnu | | | |
| 1 | 1 | | | |
| 1 | 10 | | | |
| 5 | 1 | | | |

3. Calculer le gain du transistor : $\beta = \frac{I_c}{I_b}$

Observation : On observe que :

-Si I_b différent de zéro on a V_{CE} positif ou nul : le transistor est passant.

-Si $I_b = 0$ et $I_c = 0$ le transistor est bloqué.

Interprétation : Le fonctionnement d'un transistor dépend du courant de base.

Conclusion : Les caractéristiques du transistor sont : passantes ou bloqués.

S'il est bloqué on le considère comme un interrupteur ouvert.

S'il est passant peut être :

-En régime linéaire : $I_c = \beta I_b$

-Interrupteur fermé : I_c différent de βI_b .

II.2 Les différents montages à transistor :

II.2.1 Transistor utilisé comme interrupteur :

Matériels utilisés :

-Deux générateurs de courants continu

-Un DEL

-Plaque à réseau

-Un multimètre en mode ampèremètre

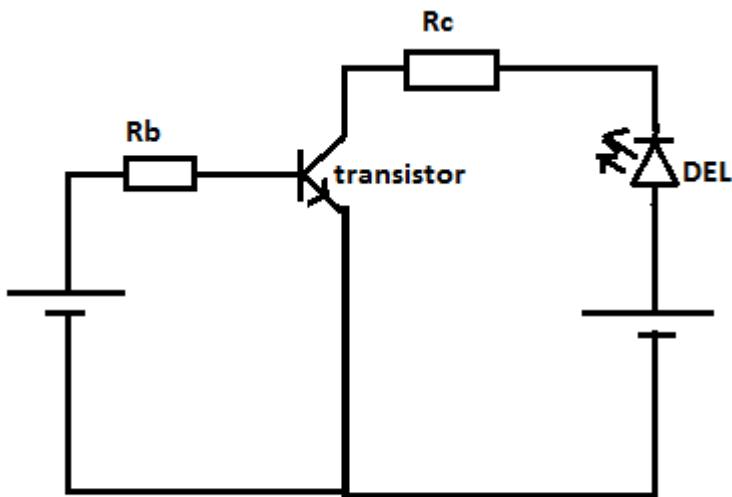
-Un transistor (NPN de référence 2N2712)

-Deux résistors :

$R_b = 10 \text{ k}\Omega$: résistance de base

$R_c = 1 \text{ k}\Omega$

Montage à réaliser :



Circuit 8 : Transistor comme interrupteur

Principe 1:

1. Réaliser le montage et faire attention aux bornes du transistor.
2. $G1=0V$ et $G2=12V$
3. Mesurer l'intensité du courant aux bornes de R_b et R_c .

Observation : Les intensités du courant I_b et I_c sont égales à zéro. Le DEL ne s'allume pas.

Interprétation : Si $G1$ est éteint aucun courant ne passe pas sur la base du transistor. La liaison entre la base et l'émetteur est coupée donc le transistor est bloqué.

Principe 2 : Allumer $G1$ et mesurer l'intensité du courant au borne de R_b et R_c .

Observation : Les intensités du courant I_b et I_c sont différentes de zéro.

Le DEL s'allume.

Interprétation : Si l'interrupteur est fermé il y a passage de courant sur la base du transistor. Il y a passage du courant entre la base et l'émetteur. Le transistor est passant.

Conclusion : On peut utiliser un transistor comme un interrupteur.

Utilisation : Circuit de commande.

Exemple : commande mécanique d'un portail.

La base est reliée à un petit panneau solaire et le collecteur et l'émetteur à une tension 220V.

Si on éclaire le panneau il y a du courant qui passe à la base, le portail s'ouvre.

A l'absence de lumière le portail reste fermé.

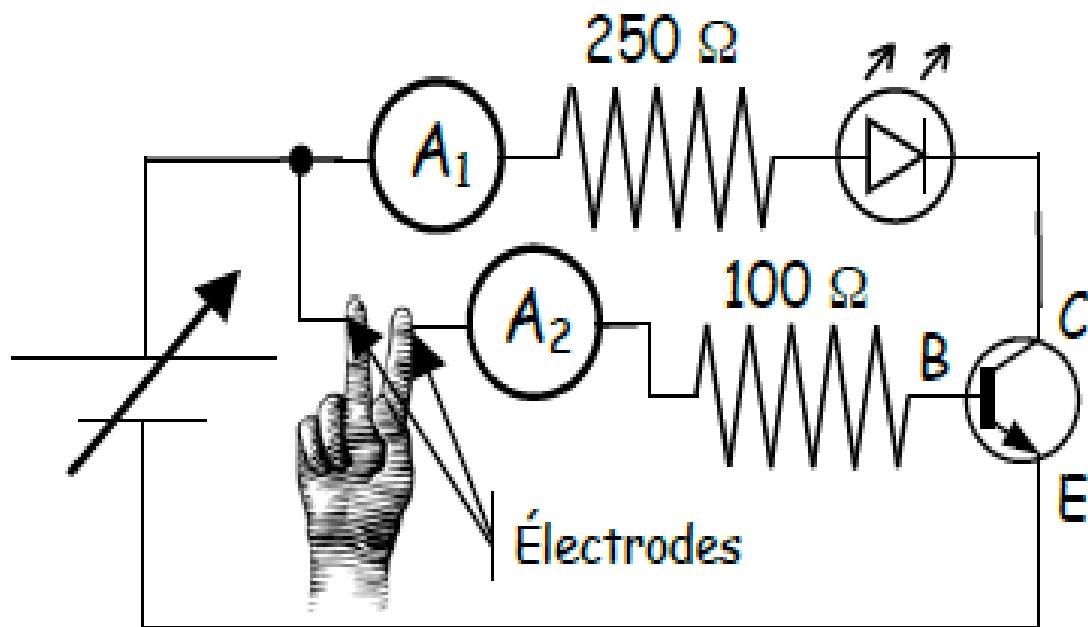
II.2.2 Le transistor utilisé comme amplificateur :

II.2.2.1 Amplificateur d'intensité :

Matériels utilisés :

- 1 source variable de courant
 - 1 ampèremètre (en mode mA)
 - 1 transistor NPN (2N4401)
 - 1 résistor de 250 Ohm
 - 1 résistor de \approx 100 Ohm
 - 1 DEL
 - 1 main humide
 - Plaque à réseau

Montage à réaliser :



Circuit 9 : Transistor utilisé comme amplificateur d'intensité

Principe :

1. Monter le circuit ci-dessus en introduisant l'ampèremètre en position A_1 .
2. Ajuster la tension de la source à 9 volts.
3. Vérifier le circuit en touchant les deux électrodes par la main (la DEL devrait alors s'illuminer à pleine puissance).
4. Fermer votre poing un moment de façon à rendre votre main humide.
5. Appliquer les électrodes sur vos doigts humides comme sur le schéma ci-dessus.
6. Positionner les doigts de façon à obtenir une intensité constante.
7. Noter l'intensité dans l'ampèremètre.
8. Recommencer les étapes 4 à 7 en introduisant l'ampèremètre en position A_2 .
9. Vérifier si le courant peut passer dans le corps de deux personnes (former une boucle en donnant la main à votre coéquipier).

Question :

1. Dans quelle position l'ampèremètre mesure-t-il l'intensité la plus importante?
2. Calculer le rapport des intensités mesurées (intensité plus grande / intensité plus petite).
3. Quelle est la signification du rapport calculé à la question précédente?
4. Quelle est votre conclusion (ce qui est important à retenir au sujet des transistors)

II.2.2.2 Amplificateur de tension :

Matériels utilisés :

-Deux générateurs :

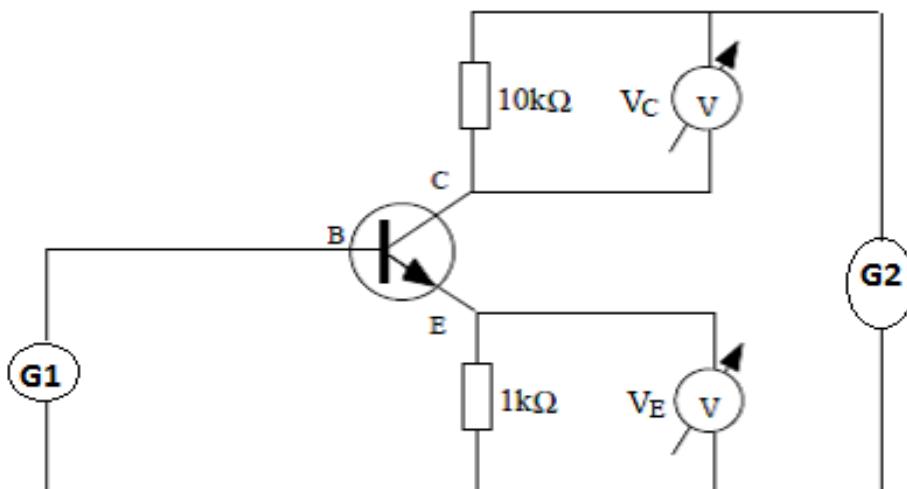
G_1 est une tension de commande ajustable qui débite V_0 de 0 à 12V.

G_2 est une tension d'alimentation constante de 12V

-Un transistor NPN (2N4401)

-Plaque à réseau

Montage à réaliser :



Circuit 10 : Amplificateur de tension à base de transistor

Principe :

Mesure statique :

1. Réaliser le montage et faire attention aux bornes du transistor.
2. Mesurer les tensions V_C et V_E en fonction de V_0 .
3. Tracer les graphiques V_C et V_E en fonction de V_0 .
4. Calculer l'amplification du signal obtenu sur l'émetteur
5. Calculer l'amplification du signal obtenu sur le collecteur.
6. Discuter ces deux résultats.

Mesure en alternatif :

1. Fixer une tension V_0 appropriée pour réaliser une amplification.
2. Enregistrer le signal de sortie sur le collecteur pour plusieurs tensions d'entrée V_0 .

Conclusion : Le transistor peut amplifier l'intensité et la tension du courant.

En général il peut amplifier un signal.

Utilisation : On utilise un transistor pour amplifier de signal ou de courant, par exemple préamplificateur micro.

III. Activité 3 : Amplificateur opérationnel :

Objectif : Etudier le fonctionnement des montages à AOP

III.1 Montage en comparateur (fonctionnement non linéaire):

Matériels utilisés :

-Trois générateurs qui donnent des tensions différentes :

G : Générateur d'alimentation débite 15 V (V_{CC})

G_1 : Générateur pour l'entrée inverseuse débite V_1 (varie de 0 à 15V)

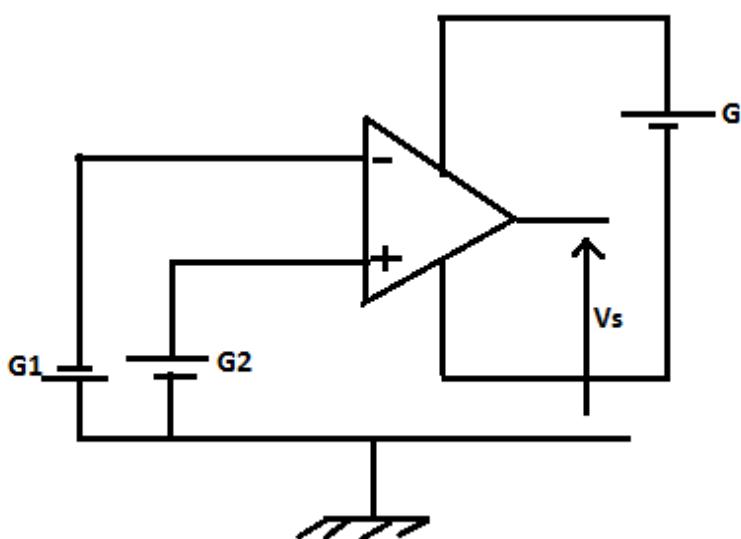
G_2 Générateur pour l'entrée non inverseuse débite V_2 (varie de 0 à 15V)

-Un AOP

-Un multimètre en mode voltmètre

-Plaque à réseau

Montage à réaliser :



Circuit 11 : Comparateur

Principe :

Réaliser le montage.

Faire varier la tension V_1 et V_2 et mesurer la tension V_s qui sort à la sortie de l'AOP. Compléter le tableau :

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|------|---|----|------|---|---|----|------|------|----|----|----|
| V_1 (V) | 0 | 1 | 3 | 6 | 5,5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 10,5 | 12 | 13 | 14 |
| V_2 (V) | 1 | 0,5 | 4 | 5 | 5 | 7 | 9 | 8 | 9,9 | 11 | 13 | 12 | 14 |
| $V_d = V_2 - V_1$ | 1 | -0,5 | 1 | -1 | -0,5 | 0 | 1 | -1 | -0,1 | 0,5 | 1 | -1 | 0 |
| V_s (V) | | | | | | | | | | | | | |

Observation :

-Si $V_1 < V_2$ alors $V_d > 0$ $V_S = +V_{CC}$

-Si $V_1 > V_2$ alors $V_d < 0$ $V_S = 0$

-Si $V_d = 0$ alors $V_S \geq 0$

Conclusion : En régime non linéaire la tension de sortie d'un AOP ne peut prendre que deux valeurs 0 ou 15V qui dépendent de différence de la tension d'entrée.

Utilisation : On peut utiliser ce montage pour comparer deux tensions entre elles ou une tension inconnue à une tension de référence ou préamplificateur micro.

III.2 Etude de fonctionnement d'un AOP en régime linéaire

III.2.1 Montage suiveur

Matériels utilisés :

-Deux générateurs :

G : Générateur d'alimentation débite 15V (V_{CC})

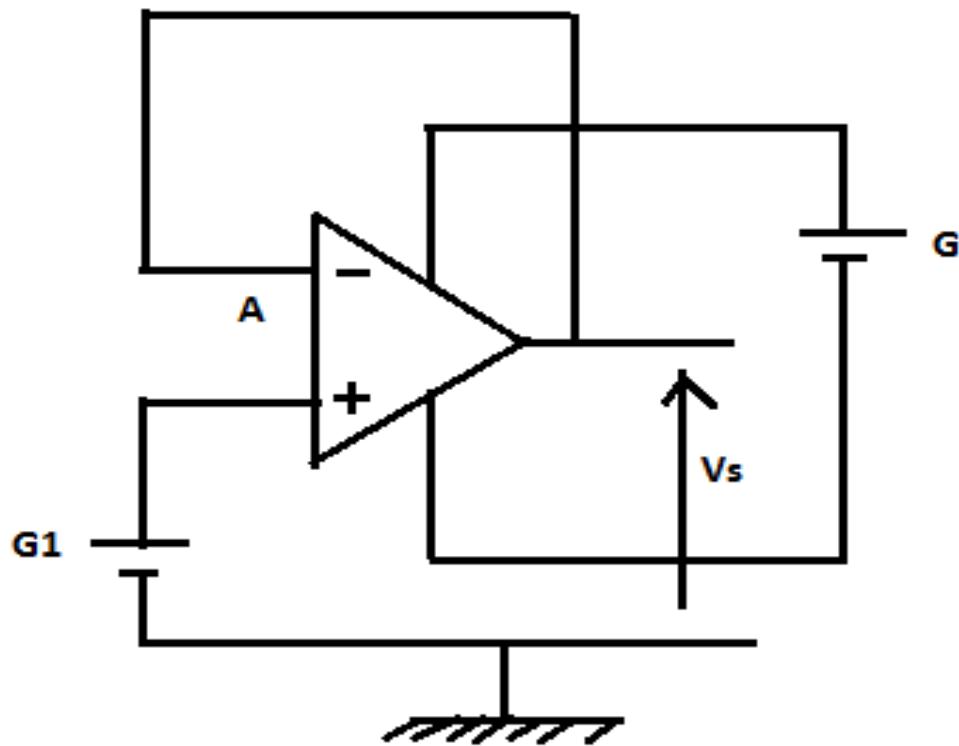
G_1 : Générateur de l'entrée inverseuse débite V_e (varie de 0 à 15V)

-Un AOP

-Plaque à réseau

-Un multimètre en mode voltmètre

Montage à réaliser :



Circuit 12 : Suiveur

Principe :

Réaliser le montage.

Sans faire de mesure que vaut V_A le potentiel en A (entrée inverseuse)?

Faire varier V_e de 0 à 15V. Pour chaque valeur de V_e mesurer la tension V_S à la sortie et compléter le tableau :

| | | | | | | | | | | |
|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| V_e (V) | | | | | | | | | | |
| V_S (V) | | | | | | | | | | |

En déduire $V_d = V_e - V_A$.

Observation : Puisque l'entrée inverseuse est reliée à la sortie on a $V_A = V_e$. La valeur de la tension de sortie est toujours égale à l'entrée $V_S = V_e$.

Interprétation : Il y a une liaison entre l'entrée inverseuse et la sortie. Le fonctionnement est donc linéaire. Le fonctionnement est linéaire alors $V_d = 0V$. Il n'y a aucun élément entre l'entrée et la sortie donc $V_S = V_A = V_e$.

Conclusion : Pour le montage suiveur, le fonctionnement est linéaire. La tension à l'entrée est égale à la sortie : $V_s = V_e$.

La différence de la tension d'entrée est égale à 0 : $V_d = 0V$.

Utilisation : On utilise ce montage pour faire un adaptateur d'impédance. On peut utiliser aussi pour redresser un courant.

III.2.2 Montage amplificateur non inverseur :

Matériels utilisés :

-Deux générateurs :

G : Générateur d'alimentation débite 15V (V_{CC})

G_1 : Générateur de l'entrée inverseuse débite V_e (varie de 0 à 15V)

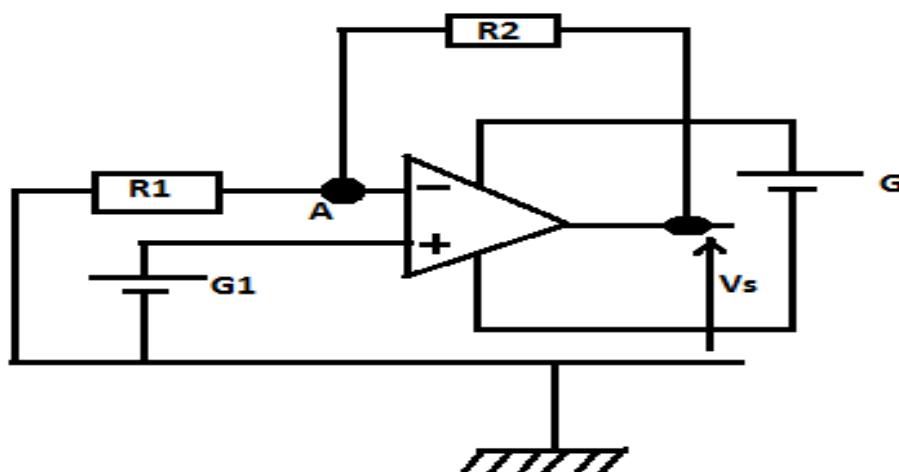
-Un AOP

-Plaque à réseau

-Un multimètre en mode voltmètre

-Deux résistors

Montage à réaliser :



Circuit 13 : Suiveur

Principe :

Réaliser le montage.

Faire le schéma du montage et placer le sens de l'intensité et la tension dans le circuit.

Faire varier V_e de 0 à 15V. Pour chaque valeur de V_e mesurer la tension V_s à la sortie et compléter le tableau :

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| V_e (V) | | | | | | | | | | | |
| V_s (V) | | | | | | | | | | | |

Changer R_1 et R_2 et refaire l'expérience.

Observation : V_s est fonction de R_1 et R_2 .

Interprétation :

Etude n°1 :

Appliquons le théorème de Millman au point A :

$$V_A = \frac{\frac{0}{R_1} + \frac{V_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = V_s \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Il y a une liaison entre l'entrée inverseuse et la sortie, le fonctionnement est linéaire donc

$V_d = 0V$. Le potentiel en A est alors égal à V_e .

Alors l'amplification en tension est : $A_V = \frac{V_s}{V_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$.

Etude n°2 :

L'intensité du courant i , dans R_1 , est la même dans R_2 car le courant i est nul.

La tension aux bornes de la résistance R_1 peut s'exprimer comme suit :

$$U_1 = V_{\text{masse}} - V_A = R_1 \cdot i$$

$$\text{Donc : } i = -\frac{V_A}{R_1} \quad (1)$$

La tension aux bornes de la résistance R_2 peut s'exprimer comme suit :

$$U_2 = V_A - V_S = R_2 \cdot i$$

$$\text{Donc : } i = \frac{V_A - V_S}{R_2} \quad (2)$$

En égalisant les équations (1) et (2).

$$V_A = V_S \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Il y a une liaison entre l'entrée inverseuse et la sortie, le fonctionnement est linéaire donc

$V_d = 0V$. Le potentiel en A est alors égal à V_e .

Conclusion : Pour le montage en amplificateur non inverseur le potentiel en A est égal à la tension d'entrée.

$$V_A = V_e \text{ alors l'amplification en tension est : } A_V = \frac{V_S}{V_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}.$$

Utilisation : On peut utiliser ce type de montage pour amplifier un signal ou une tension : amplificateur à basse fréquence (BF).

III.2.3 Montage amplificateur inverseur :

Matériels utilisés :

-Deux générateurs :

G : Générateur d'alimentation débite 15V (V_{CC})

G_1 : Générateur de l'entrée inverseuse débite V_e (varie de 0 à 15V)

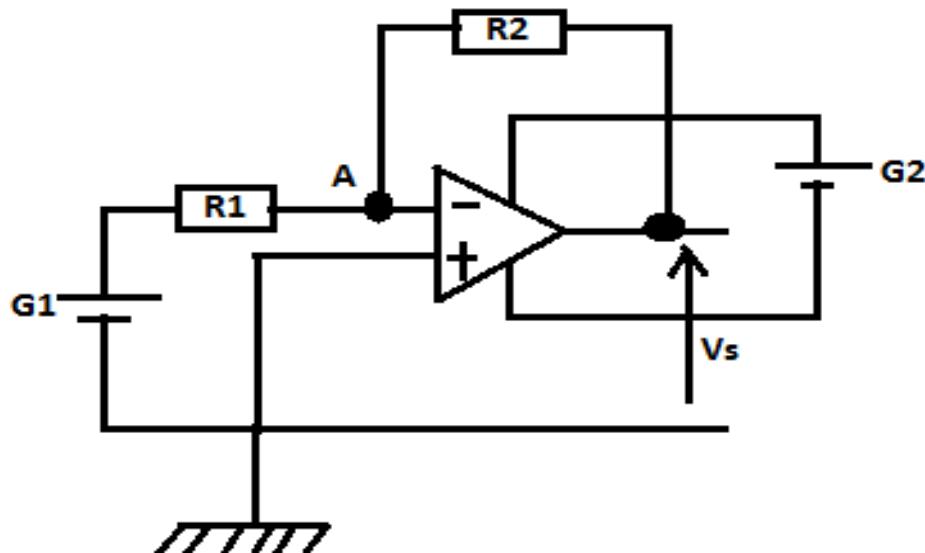
-Un AOP

-Plaque à réseau

-Un multimètre en mode voltmètre

-Deux résistors

Montage à réaliser :



Circuit 14 : Inverseur

Principe :

Réaliser le montage.

Faire le schéma du montage et placer le sens de l'intensité et la tension dans le circuit.

Faire varier V_e de 0 à 15V. Pour chaque valeur de V_e mesurer la tension V_s à la sortie et compléter le tableau :

| | | | | | | | | | | |
|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| V_e (V) | | | | | | | | | | |
| V_s (V) | | | | | | | | | | |

Changer R_1 et R_2 et refaire l'expérience.

Observation : V_s est fonction de R_1 et R_2 .

Interprétation :

Etude n°1 :

Appliquons le théorème de Millman au point A :

$$V_A = \frac{\frac{V_e}{R_1} + \frac{V_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \quad (1)$$

Il y a une liaison entre l'entrée inverseuse et la sortie, le fonctionnement est linéaire donc

$V_d = 0V$. Le potentiel en A est alors égal à 0V.

Le numérateur est égal à 0 donc l'amplification en tension est : $A_V = \frac{V_S}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$

Etude n°2 :

L'intensité du courant i , dans R_1 , est la même dans R_2 , car le courant i - est nul. La tension aux bornes de la résistance R_1 peut s'exprimer comme suit :

$$U_1 = V_e - V_A = R_1 \cdot i \text{ donc } i = \frac{V_e - V_A}{R_1} \quad (2)$$

La tension aux bornes de la résistance R_2 peut s'exprimer comme suit :

$$U_2 = V_A - V_S = R_2 \cdot i \text{ donc } i = \frac{V_A - V_S}{R_2} \quad (3)$$

Or $V_A = 0V$

L'équation (2) devient : $i = \frac{V_e}{R_1}$

L'équation (3) devient : $i = \frac{-V_S}{R_2}$

En égalisant les deux on a : $A_V = \frac{V_S}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$

Conclusion : Pour le montage en amplificateur inverseur le potentiel en A est égal à 0V.

Alors l'amplification en tension est : $A_V = \frac{V_S}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$.

Utilisation : On peut utiliser ce type de montage pour amplifier un signal ou une tension : amplificateur à basse fréquence (BF)

III.2.4 Montage sommateur inverseur :

Matériels utilisés :

-Quatre générateurs :

-G : Générateur d'alimentation débite 15V (V_{CC})

- G_1 , G_2 et G_3 : Générateur de l'entrée inverseuse débite V_1 , V_2 et V_3 (varie de 0 à 15V)

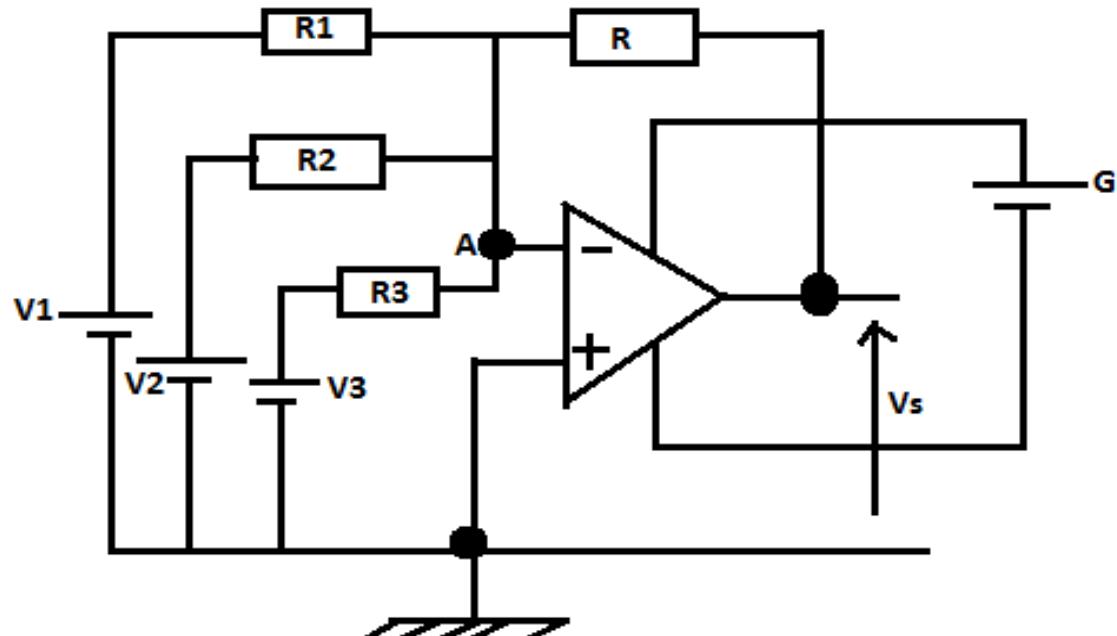
-Un AOP

-Plaque à réseau

-Un multimètre en mode voltmètre

-Quatre résistors

Montage à réaliser :



Circuit 15 : Sommateur inverseur

Principe :

Réaliser le montage.

Faire varier V_1 , V_2 et V_3 de 0 à 15V. Pour chaque valeur de V_1 , V_2 et V_3 mesurer la tension V_s à la sortie et compléter le tableau :

| | | | | | | | | | | | |
|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $V_1(V)$ | | | | | | | | | | | |
| $V_2(V)$ | | | | | | | | | | | |
| $V_3(V)$ | | | | | | | | | | | |
| $V_s(V)$ | | | | | | | | | | | |

Changer R , R_1 , R_2 et R_3 et refaire l'expérience.

Observation :

V_s dépend de la valeur de V_1 , V_2 et V_3 et de R , R_1 , R_2 et R_3 .

Interprétation :

Etude n°1 :

Appliquons le théorème de Millman au point A :

$$V_A = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_S}{R}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R}}$$

Il y a une liaison entre l'entrée inverseuse et la sortie, le fonctionnement est linéaire donc

$V_d = 0V$. Le potentiel en A est alors égal à 0V.

Le numérateur est nul donc $V_S = -R \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$

Etude n°2 :

La tension aux bornes de la résistance R_1 peut s'exprimer comme suit :

$$U_1 = V_1 - V_A = R_1 \cdot i_1 \text{ donc } i_1 = \frac{V_1 - V_A}{R_1}$$

La tension aux bornes de la résistance R_2 peut s'exprimer comme suit :

$$U_2 = V_2 - V_A = R_2 \cdot i_2 \text{ donc } i_2 = \frac{V_2 - V_A}{R_2}$$

La tension aux bornes de la résistance R_3 peut s'exprimer comme suit :

$$U_3 = V_3 - V_A = R_3 \cdot i_3 \text{ donc } i_3 = \frac{V_3 - V_A}{R_3}$$

La tension aux bornes de la résistance R peut s'exprimer comme suit :

$$U = V_A - V_S = R \cdot i \text{ donc } i = \frac{V_A - V_S}{R}$$

$$\text{Or } V_A = 0 \text{ alors } i_1 = \frac{V_1}{R_1}, i_2 = \frac{V_2}{R_2}, i_3 = \frac{V_3}{R_3}, i = -\frac{V_S}{R}$$

D'après la loi de nœud $i = i_1 + i_2 + i_3$ car $i = 0A$.

$$\text{Donc : } V_S = -R \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

Conclusion : Pour le montage sommateur inverseur le potentiel en A est égal à 0V.

$$\text{La tension de sortie est : } V_S = -R \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right).$$

Si toutes les résistances sont égales on a :

$$V_S = -(V_1 + V_2 + V_3)$$

Utilisation : on utilise ce montage pour amplifier des tensions

III.2.5 Montage amplificateur de différence :

Matériels utilisés :

-Trios générateurs :

-G : Générateur d'alimentation débite 15V (V_{CC})

- G_1 : Générateur de l'entrée inverseuse débite V_1 (varie de 0 à 15V)

- G_2 : Générateur de l'entrée non inverseuse débite V_2 (varie de 0 à 15V)

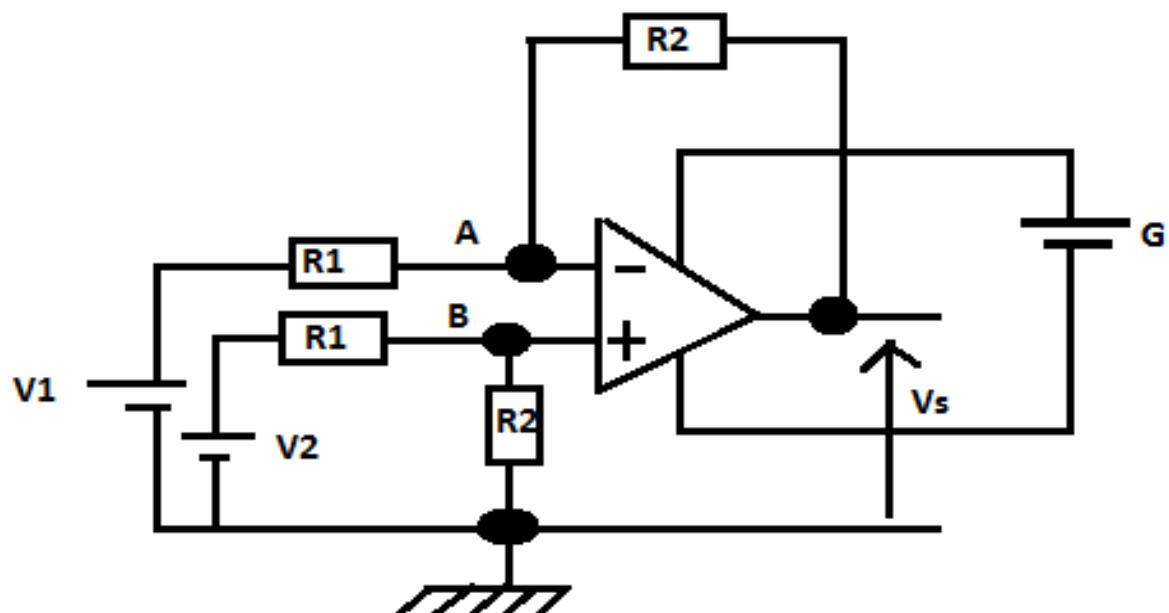
-Un AOP

-Plaque à réseau

-Un multimètre en mode voltmètre

-Quatre résistors

Montage à réaliser :



Circuit 16 : Amplificateur de différence

Principe :

Réaliser le montage.

Faire varier V_1 et V_2 de 0 à 15V. Pour chaque valeur de V_1 et V_2 mesurer la tension V_S à la sortie et compléter le tableau :

| | | | | | | | | | | |
|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $V_1(V)$ | | | | | | | | | | |
| $V_2(V)$ | | | | | | | | | | |
| $V_S(V)$ | | | | | | | | | | |

Changer R_1 et R_2 et refaire l'expérience.

Observation : V_S dépend de la valeur de V_1 et V_2 et de R_1 et R_2 .

Interprétation :

- Etude de l'entrée non inverseuse :

L'intensité du courant dans la résistance R_1 est la même que dans la résistance R_2 car l'intensité du courant $i+$ est nulle.

Nous pouvons donc illustrer le pont diviseur de tension, ainsi :

$$V_B = V_2 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

- Etude de l'entrée inverseuse :

Etude n°1 :

Appliquons le théorème de Millman au point A :

$$V_A = \frac{\frac{V_1 + V_S}{R_1 + R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_2 V_1 + R_1 V_S}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Etude n°2 :

L'intensité du courant i dans la résistance R_1 est la même que dans la résistance R_2 car l'intensité du courant $i-$ est nulle.

La tension aux bornes de la résistance R_1 peut s'exprimer comme suit :

$$U_1 = V_1 - V_A = R_1 \cdot i \text{ donc } i = \frac{V_1 - V_A}{R_1} \quad (3)$$

La tension aux bornes de la résistance R_1 peut s'exprimer comme suit :

$$U_2 = V_A - V_S = R_2 \cdot i \text{ donc } i = \frac{V_A - V_S}{R_2} \quad (4)$$

$$\text{En égalisant l'équation (3) et (4) on obtient : } V_A = \frac{R_2 V_1 + R_1 V_S}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Il y a une liaison entre l'entrée inverseuse et la sortie, le fonctionnement est linéaire donc

$$V_d = 0V \text{ donc : } V_A = V_B$$

Alors en égalisant l'équation (1) et (2) on obtient :

$$V_S = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Conclusion : Pour le montage amplificateur de différence le potentiel au point A et B $V_A = V_B$.

$$\text{La tension à la sortie est : } V_S = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Utilisation : on peut utiliser ce montage pour amplificateur de tension.

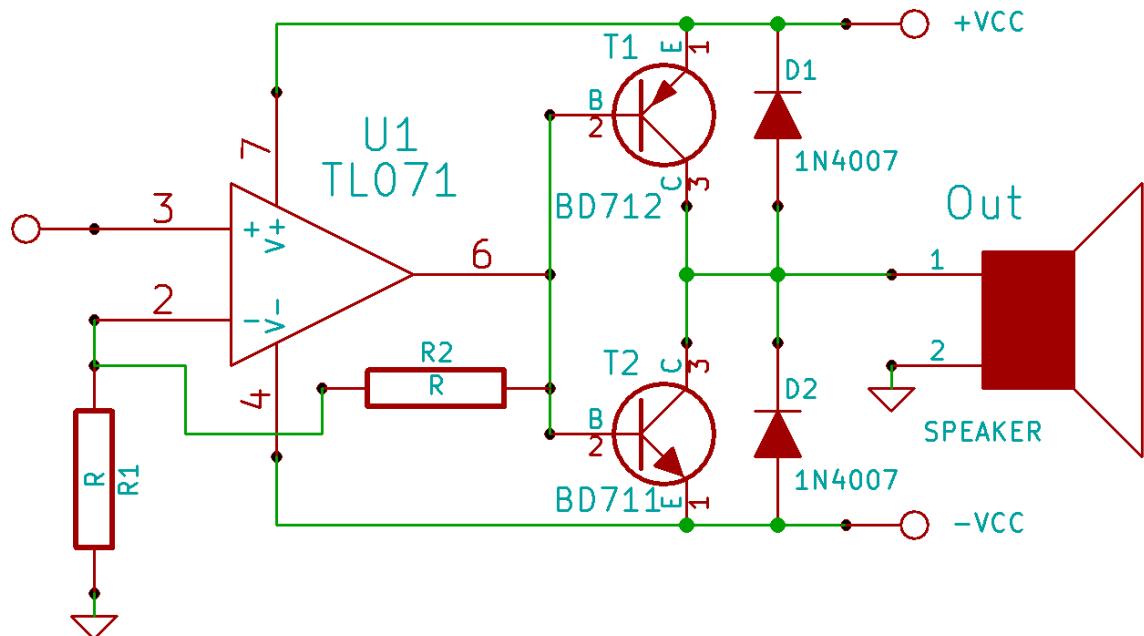
IV. Activité 4 : Amplificateur audio

Dans cette partie nous allons faire une expérience qui montre l'utilisation directe du transistor et de l'AOP.

Matériels utilisés :

- Deux transistors bipolaire de type PNP (BD 712) et NPN (BD 711)
- Deux diodes (1N4007)
- Deux résistors R_1 et R_2
- Un AOP (TLO71)
- Un haut-parleur (8Ω environ)
- Une source de courant continu (12V)
- A l'entrée de l'AOP une micro ou source de son

Montage à réaliser :



Circuit 17 : Amplificateur audio

Principe :

1. Relier directement un lecteur MP3 ou autre, et tester le niveau sonore du haut-parleur.
2. Conclure sur l'apport d'un amplificateur.

Résultat :

Quand on n'utilise pas d'un amplificateur audio le niveau du son qui sort sur le haut-parleur est bas. En utilisant l'amplificateur, le niveau du son est haut. C'est pour cela que nous avons besoin d'un amplificateur pour avoir de niveau sonore plus haut.

Conclusion : Un amplificateur audio permet d'augmenter la puissance du son.

Utilisation : ce type de montage est utilisé dans un récepteur radio.

CONCLUSION

Les travaux pratiques jouent un rôle très important dans l'enseignement des sciences physiques car les phénomènes physiques ne seront assimilés que s'ils font l'objet d'une expérience. A partir des expériences, nous pouvons amener les élèves à aimer et à s'intéresser aux sciences physiques. De plus, l'interprétation des résultats d'une expérience incite les élèves à réfléchir, à expliquer les phénomènes observés.

Alors l'enseignant doit réaliser des expériences et des travaux pratiques. Mais cette méthode rencontre toujours des problèmes à cause de l'insuffisance des matériels.

Ce travail sur l'enseignement de l'utilisation de transistor et de l'amplificateur opérationnel donne des solutions à ce problème car nous même pouvons élaborer des matériels didactiques.

Notre travail se divise en trois parties :

- Dans la première partie nous avons fait l'étude sur le semi-conducteur qui est l'élément fondamental pour fabriquer des composants électroniques tel que la diode, le transistor et l'amplificateur opérationnel. L'étude consiste sur le principe de fonctionnement de ces composants, leurs caractéristiques et leurs utilisations dans le domaine de l'électronique.
- Dans la deuxième partie nous avons parlé la conception et élaboration des supports de composants. Cette partie mentionne les matériels et les outillages utilisés pendant l'élaboration et tous les travaux que nous avons faits.
- Dans la troisième partie nous avons proposé des travaux pratiques qui utilisent les matériels élaborés réservé pour les enseignant et les élèves. Ils se divisent en 4 activités :

L'activité 1 concerne le générateur de courant variable.

L'activité 2 concerne le transistor : leur caractéristique, son rôle dans un circuit et les différents montages à transistor.

L'activité 3 concerne l'AOP : leur caractéristique, son rôle dans un circuit et les différents montages à AOP.

L'activité 4 concerne l'amplificateur audio. Cette activité généralise notre travail. Elle montre un montage dans un récepteur d'une radio.

Cependant, les matériels que nous avons élaborés peuvent être employés dans d'autres activités: étude des résistors, des diodes et des piles...

Le coût de ces matériels fabriqués est abordable par rapport au coût des matériels importés. On n'a pas besoin d'une salle spécialisée pour leur utilisation. Tous ces matériels peuvent fonctionner avec des piles alors il n'y a aucun problème si on est en ville ou à la campagne.

Nos matériels sont loin d'être parfaits ou complets. Nous pouvons toujours les améliorer.

Enfin, par ce mémoire, nous pensons apporter notre contribution à l'amélioration de l'enseignement de l'électronique et l'élaboration des matériels.

BIBLIOGRAPHIE

1. Mathieu. H. (1996). « Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques ». Paris : Masson.
2. Mathieu. H. (2004). « Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques ». Dunod.
3. Philippe. L et Gérard Rey.(1978). « Physique des composants actifs à semi-conducteurs ».Dunod.
4. Chatelain.J.D (1979). « Dispositifs à semi-conducteurs ». Dunod.

WEBOGRAPHIE

- 5 .<http://etronics.free.fr/dossiers/init/init09.html> consulté le 22/10/2012
- 6 .[Electronique>Théorie> Diode](#) consulté le 22/10/2012
- 7 .<http://philippe.roux.7.perso.neuf.fr> Philippe Roux, consulté le 22/10/2012
- 8.<http://subaru2.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/cours2.html> consulté le 10/01/2013
- 9.<http://claude.lahache.free.fr/mapage1/ampli-differentiel.pdf>
Jean-Jacques ROUSSEAU consulté le 10/01/2013
- 10.<http://www-esbs.u-strasbg.fr/notesdecours/1ere-annee/electronique/Ampliop.pdf> consulté le 10/01/2013
- 11.<http://www-esbs.u-strasbg.fr/notesdecours/1ere-annee/electronique/rappel.pdf> consulté le 10/01/2013
- 12.<http://www.montefiore.ulg.ac.be/~vdh/supports-elen0075-1/chap1-semiconducteurs-2pp.pdf>
Montefiore consulté le 23/03/2013
- 13.<http://www.iutacy.univsavoie.fr/fileadmin/DUT MPH/fichiers/semestre2/Electronique-1.pdf>
Bailon JP et Dorlot JM/ Ed : Montréal,consulté le 23/03/2013
- 14.http://tpelec.phelma.grenoble-inp.fr/doc/enonce_bipolaire.pdf consulté le 23/03/2013
- 15.<http://robert.cireddu.free.fr/SIN/Les%20transistors.pdf> consulté le 23/03/2013
- 16.http://gilles.berthome.free.fr/02Syntheses/ATraitement_signaux_analogiques/Synthese_diode.pdf
consulté le 02/08/2013

17.http://gilles.berthome.free.fr/02Syntheses/ATraitement_signaux_analogiques/Synthese_diode_zeuner.pdf consulté le 02/08/2013

18. http://gilles.berthome.free.fr/02Syntheses/ATraitements_signaux_analogiques/09Synthese_caracteristiques_ALI.pdf consulté le 02/08/2013

19. http://gilles.berthome.free.fr/02Syntheses/ATraitements_signaux_analogiques/Synthese_transistors_bipolaires.pdf consulté le 02/08/2013

20. <http://www.epsic.ch/cours/electronique/techn99/elnthcomp/CMPTHDIOD.html> consulté le 12/11/2013

21.<http://www.electronique.fr/cours/AOP/aop-cours.php> consulté le 12/11/2013

22. http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/cours_elec/aop.pdf consulté le 12/11/2013

23. <http://users.polytech.unice.fr> consulté le 12/03/2014

24. <http://www.creea.u-bordeaux.fr> consulté le 12/03/2014

25. <http://rouxphi3.perso.cegetel.net> Philippe Roux, consulté le 22/10/2012

26. [Transistor - Wikipedia, the free encyclopedia](#) consulté le 12/03/2014

27. Wikipedia - Amplificateur opérationnel consulté le 12/03/2014

28. <http://dduk.free.fr/Repository/Articles/SemiCond.pdf> consulté le 13/09/2014

29. [Electronique](#) > [Théorie](#) > Amplificateur opérationnel (AOP) consulté le 13/09/2014

30.<http://www.chireux.fr/mp/cours/Cours%20diodes.pdf> consulté le 12/03/2014

ANNEXE

ANNEXE I

TABLEAU DES VALEURS :

Montage à potentiomètre :

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| U(V) | 0 | 1 | 3 | 4 | 5 | 7,8 | 8,5 | 9,4 | 9,8 | 10 | 11 | 13,5 | 15 |
| I(mA) | 0 | 0,12 | 0,28 | 0,33 | 0,38 | 0,49 | 0,52 | 0,55 | 0,56 | 0,58 | 0,59 | 0,61 | 0,62 |

Montage comparateur :

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|------|---|----|------|-----|---|----|------|------|----|----|----|
| V ₁ (V) | 0 | 1 | 3 | 6 | 5,5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 10,5 | 12 | 13 | 14 |
| V ₂ (V) | 1 | 0,5 | 4 | 5 | 5 | 7 | 9 | 8 | 9,9 | 11 | 13 | 12 | 14 |
| V _d =V ₂ -V ₁ | 1 | -0,5 | 1 | -1 | -0,5 | 0 | 1 | -1 | -0,1 | 0,5 | 1 | -1 | 0 |
| V _S (V) | 1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0,2 | 9 | 0 | 0 | 11 | 13 | 0 | 0 |

Montage suiveur :

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|----|------|----|----|
| V _e (V) | 0,5 | 1 | 1,5 | 3 | 4,4 | 7 | 8,5 | 11 | 12,3 | 13 | 15 |
| V _S (V) | 0,5 | 1 | 1,5 | 3 | 4,4 | 7 | 8,5 | 11 | 12,3 | 13 | 15 |

Montage non inverseur :

R₁= 250 Ω et R₂=100 Ω

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------|-----|------|---|-------|-------|-------|------|------|------|----|
| V _e (V) | 0,5 | 1 | 3,5 | 5 | 7,8 | 9 | 11 | 12,5 | 13 | 14,5 | 15 |
| V _S (V) | 0,71 | 1,4 | 4,92 | 7 | 10,92 | 12,59 | 15,38 | 17,5 | 18,2 | 20,3 | 21 |

R₁=100 Ω et R₂= 250 Ω

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------|-----|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| V _e (V) | 0,5 | 1 | 3,5 | 5 | 7,8 | 9 | 11 | 12,5 | 13 | 14,5 | 15 |
| V _S (V) | 1,75 | 3,5 | 12,27 | 17,49 | 27,31 | 31,5 | 38,5 | 43,74 | 45,55 | 50,73 | 52,49 |

Montage inverseur :

R₁=50 KΩ et R₂= 100KΩ

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|----|-----|-------|--------|--------|------|-----|-------|------|-------|
| V _e (V) | 0,5 | 2 | 3,5 | 5 | 7,5 | 10 | 11,5 | 12 | 13,5 | 14,5 | 15 |
| V _S (V) | -1,02 | -4 | -7 | -10,1 | -14.95 | -20,04 | -23 | -24 | -26,9 | -29 | -30,2 |

$R_1=100 \text{ K}\Omega$ et $R_2=50\text{K}\Omega$

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|----|-------|------|-------|----|-------|------|-------|-------|------|
| V_e (V) | 0,5 | 2 | 3,5 | 5 | 7,5 | 10 | 11,5 | 12 | 13,5 | 14,5 | 15 |
| V_s (V) | -0,26 | -1 | -1,73 | -2,5 | -3,77 | -5 | -5,75 | -6,3 | -6,72 | -7,25 | -7,5 |

Montage sommateur inverseur :

$R=100\Omega$ et $R_1=50\text{K}\Omega$ $R_2=1 \text{ K}\Omega$ et $R_3=250\Omega$

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|------|-------|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V_1 (V) | 1 | 3 | 6 | 8,5 | 10 | 11 | 11,5 | 12 | 12,5 | 13 | 15 |
| V_2 (V) | 13 | 15 | 5 | 6 | 2,5 | 4 | 9 | 11 | 7 | 1 | 5,5 |
| V_3 (V) | 12 | 6 | 11 | 9 | 2 | 5 | 15 | 10 | 1 | 3 | 7 |
| V_s (V) | -6,10 | -3,9 | -4,91 | 4,21 | -1 | -2,42 | -6,93 | -5,10 | -1,12 | -1,33 | -3,38 |

Montage amplificateur de différence :

$R_1=50 \text{ K}\Omega$ et $R_2=100\text{K}\Omega$

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|----|------|------|------|
| V_1 (V) | 1 | 1,5 | 3 | 5,5 | 7 | 8,5 | 10 | 12 | 13 | 13,5 | 15 |
| V_2 (V) | 2 | 3,5 | 5 | 7 | 9,5 | 10 | 11,5 | 13 | 14 | 14 | 14,5 |
| V_s (V) | 2,2 | 4 | 3,8 | 4,92 | 5 | 3 | 0,9 | 2 | 2,02 | 0,8 | 1 |

$R_1=100 \Omega$ et $R_2=250 \Omega$

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|---|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| V_1 (V) | 1 | 1,5 | 3 | 5,5 | 7 | 8,5 | 10 | 12 | 13 | 13,5 | 15 |
| V_2 (V) | 2 | 3,5 | 5 | 7 | 9,5 | 10 | 11,5 | 13 | 14 | 14 | 14,5 |
| V_s (V) | 2,5 | 5,2 | 5 | 3,73 | 6,25 | 3,75 | 1,2 | 2,5 | 2,47 | 1,3 | 1,2 |

ANNEXE II

Programme d'électricité de la classe de Seconde

Objectifs généraux : l'élève doit être capable de (d') :

- interpréter le passage du courant électrique dans un conducteur métallique ;
- définir l'intensité du courant électrique ;
- tracer les caractéristiques de quelques dipôles ;
- déterminer le point de fonctionnement d'un circuit ;
- utiliser une diode électroluminescente (D.E.L), une thermistance, une photorésistance et un transistor.

| Objectifs spécifiques | Contenus | Observations |
|--|--|--|
| <p>L'élève doit être capable de (d') :</p> <ul style="list-style-type: none"> • interpréter l'électrisation par frottement ; • montrer que deux charges de même signe se repoussent et que deux charges de signes contraires s'attirent ; • interpréter le passage du courant dans un métal ; • représenter dans un circuit fermé le sens conventionnel du courant ; • définir et mesurer l'intensité d'un courant électrique ; | <p>➤ Électrisation par frottement. Les deux espèces d'électricité et leur interaction</p> <p>➤ Nature du courant électrique dans un métal. Sens conventionnel du courant</p> <p>➤ Intensité d'un courant électrique,</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A traiter après la leçon sur l'atome. • La loi de Coulomb n'est pas au programme. • Ne traiter que le cas courant continu. • Ce sens est purement conventionnel : il est dirigé, à l'extérieur du générateur, du pôle + vers -. • Définir la quantité d'électricité Q traversant une section d'un conducteur pendant une durée t : |

| | | |
|---|--|---|
| | | $Q = n q_e $ <p>avec q_e la charge d'un électron et n le nombre d'électrons traversant la section pendant la durée t.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Définir l'intensité I du courant : $I = \frac{Q}{t}$ <ul style="list-style-type: none"> • Tenir compte des incertitudes des mesures : $\text{incertitude} = \frac{\text{classe} \times \text{calibre}}{100}$ <p>Un bon choix du calibre s'avère donc nécessaire pour avoir une mesure beaucoup plus précise.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tenir compte des incertitudes des mesures : $\text{incertitude} = \frac{\text{classe} \times \text{calibre}}{100}$ <p>Un bon choix du calibre s'avère donc nécessaire pour avoir une mesure beaucoup plus précise.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vérifier la loi d'additivité des tensions en utilisant les intervalles d'incertitude. On admettra que l'incertitude sur une somme est égale à la somme des incertitudes de ses termes. • Utiliser cette loi pour calculer la résistance équivalente. • Vérifier le résultat ainsi trouvé à l'aide d'un ohmmètre. • Vérifier la loi des noeuds en utilisant les intervalles d'incertitude. |
| <ul style="list-style-type: none"> • mesurer la tension entre deux points d'un circuit électrique ; | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Tension électrique ou d.d.p. entre deux points d'un circuit électrique | <ul style="list-style-type: none"> • Vérifier la loi d'additivité des tensions en utilisant les intervalles d'incertitude. On admettra que l'incertitude sur une somme est égale à la somme des incertitudes de ses termes. • Utiliser cette loi pour calculer la résistance équivalente. • Vérifier le résultat ainsi trouvé à l'aide d'un ohmmètre. • Vérifier la loi des noeuds en utilisant les intervalles d'incertitude. |
| <ul style="list-style-type: none"> • déterminer la résistance d'un conducteur ohmique équivalent à l'ensemble de deux conducteurs ohmiques montés en série ; | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Association en série de deux conducteurs ohmiques | <ul style="list-style-type: none"> • Vérifier la loi d'additivité des tensions en utilisant les intervalles d'incertitude. On admettra que l'incertitude sur une somme est égale à la somme des incertitudes de ses termes. • Utiliser cette loi pour calculer la résistance équivalente. • Vérifier le résultat ainsi trouvé à l'aide d'un ohmmètre. • Vérifier la loi des noeuds en utilisant les intervalles d'incertitude. |
| <ul style="list-style-type: none"> • déterminer la résistance d'un | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Association en dérivation de deux | |

| | | |
|---|--|---|
| <p>conducteur ohmique équivalent à l'ensemble de deux conducteurs ohmiques montés en dérivation ;</p> | <p>conducteurs ohmiques</p> | <ul style="list-style-type: none"> Utiliser cette loi pour calculer la résistance équivalente. Vérifier le résultat ainsi trouvé à l'aide d'un ohmmètre. |
| <ul style="list-style-type: none"> réaliser une tension variable ; | <p>➤ Existence de tensions variables</p> | <ul style="list-style-type: none"> Le va-et-vient d'un barreau aimanté, convenablement orienté, devant les spires d'une bobine connectée à un voltmètre à aiguille et à zéro central permet de montrer l'existence d'une tension variable. |
| <ul style="list-style-type: none"> tracer la caractéristique $U=f(I)$ ou $I=g(U)$ de chacun des dipôles suivants : conducteur ohmique, diode à jonction et diode Zener ; | <p>➤ Dipôles</p> <ul style="list-style-type: none"> étude expérimentale des caractéristiques intensité-tension ou tension-intensité de quelques dipôles passifs : conducteur ohmique, diode à jonction et diode Zener | <ul style="list-style-type: none"> Respecter les limites d'utilisation des composantes électriques que vous considérez. Pour le cas d'un conducteur ohmique, calculer sa résistance $R = \text{pente de la droite } U=f(I)$. Vérifier le résultat trouvé à l'aide d'un ohmmètre. |
| <ul style="list-style-type: none"> tracer la caractéristique $U=f(I)$ d'une pile ; | <ul style="list-style-type: none"> étude expérimentale de la caractéristique intensité-tension d'un dipôle actif (pile) | <ul style="list-style-type: none"> Déterminer graphiquement la f.e.m. E et ma résistance r de la pile sachant que $U = E - r I$. |
| <ul style="list-style-type: none"> déterminer le point de fonctionnement d'un circuit ; | <p>• point de fonctionnement d'un circuit</p> | <ul style="list-style-type: none"> Poser le problème évoquant la nécessité de point de fonctionnement d'un circuit. Résoudre le problème pour les cas suivants : <ul style="list-style-type: none"> - circuit pile-conducteur ohmique ; - circuit pile-diode à jonction dans le sens direct. |

| | | |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • définir et représenter une thermistance ; • définir et représenter une photorésistance ; • définir et représenter une diode électroluminescente ; • décrire et représenter un transistor ; • expliquer les fonctions essentielles assurées par le transistor (interrupteur, amplificateur) | <ul style="list-style-type: none"> • Exemples de dipôles commandés par la température : thermistance - par la lumière photorésistance - par une tension : cas de la diode électroluminescente • transistor | <ul style="list-style-type: none"> • Montrer expérimentalement que la résistance d'une thermistance diminue lorsque la température s'élève. • Montrer expérimentalement que la résistance d'une photorésistance diminue rapidement lorsque l'éclairage auquel il est soumis augmente. • Montrer expérimentalement qu'une diode électroluminescente (D.E.L.) s'illumine lorsqu'elle est soumise, dans le sens direct, à une tension supérieure à sa tension de seuil. • On montrera comment on peut repérer les trois bornes de quelques transistors : un ergot indiquant l'émetteur, une couleur indiquant le collecteur ... • On signalera lors de la schématisation d'un transistor que : <ul style="list-style-type: none"> - pour le transistor de type NPN, le courant entre par le collecteur et sort par l'émetteur ; pour le transistor de type PNP, le courant entre par l'émetteur et sort par le collecteur. • Tout montage sera réalisé avec le type NPN qui couramment utilisé. Toutefois, la théorie de semi- |
|--|--|--|

| | | |
|---|---|--|
| | | <p>conducteurs est hors du programme.</p> <ul style="list-style-type: none"> On effectuera des mesures (de courant d'entrée, de courant de sortie et de tension U_{BE} entre la base et l'émetteur) pour dégager les trois états de fonctionnement d'un transistor : transistor bloqué (interrupteur ouvert), transistor débloqué (amplificateur) et transistor saturé (interrupteur fermé). On étudiera un testeur de conductivité, un détecteur d'échauffement et une commande automatique d'éclairage. On introduira la notion de chaîne électronique à partir de ces trois dispositifs. |
| <ul style="list-style-type: none"> utiliser un transistor, une diode électroluminescente, une photorésistance et une thermistance. | <ul style="list-style-type: none"> exemple de montages utilisant un transistor | |

CONCEPTION ET ELABORATION DES MATERIELS DIDACTIQUES
D'ELECTRONIQUE DE LA CLASSE DE SECONDE

Auteur : RANDRIAMAROSOA Herimaminiaina

Contacts : 033 02 418 41

Nombre de pages : 70

Nombre de figures : 42

Nombre de circuit : 17

RESUME

Ce mémoire développe des notions sur les semi-conducteurs, diodes, transistors et des amplificateurs opérationnels. Pour l'enseignement de ces composants dans la classe de seconde, nous traiterons dans la deuxième partie du travail, la conception et élaboration des matériels didactiques.

Pour chaque matériel nous décrirons d'une manière détaillée les différentes étapes d'élaboration. Une présentation de chaque élément élaboré, est aussi donnée dans ce document.

La dernière partie du travail propose des activités expérimentales sur le générateur de tension variable, transistor et amplificateur opérationnel, basés essentiellement sur l'exploitation des matériels élaborés. Ces activités sont destinées aux élèves de la classe de seconde.

Mots clés : semi-conducteur, transistor, amplificateur opérationnel, électronique, matériels didactiques, travaux pratiques, support.

Directeur de mémoire : ANDRIANARIMANANA Jean Claude Omer, Professeur Titulaire