

## TABLES DES MATIERES

|   |           |
|---|-----------|
| REMERCIEMENTS.....  | i         |
| TABLES DES MATIERES .....   | ii        |
| LISTES DES FIGURES.....   | iv        |
| LISTE DES TABLEAUX.....   | vii       |
| LISTE DES ABBREVIATIONS .....   | viii      |
| LISTES DES ANNEXES .....  | ix        |
| <b>INTRODUCTION.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>PREMIERE PARTIE : REPERES THEORIQUES SUR L'ELECTRONIQUE EN CLASSE SECONDAIRE .....</b> | <b>4</b>  |
| <b>I. QUELQUES COMPOSANTS ELECTRONIQUES ETUDIES EN CLASSE SECONDAIRE .....</b>            | <b>5</b>  |
| A. Les conducteurs ohmiques .....   | 5         |
| 1. Les résistors .....  | 5         |
| 2. Résistances variables .....  | 8         |
| B. Les condensateurs.....   | 10        |
| C. Les diodes.....  | 15        |
| 1. Les diodes à jonctions .....   | 15        |
| 2. Les diodes zener .....   | 18        |
| 3. Les diodes électroluminescentes (DEL).....   | 20        |
| D. Les transistors.....   | 20        |
| 1. Constitution d'un transistor .....   | 20        |
| 2. Réseaux de caractéristiques du transistor .....  | 22        |
| 3. Modes de fonctionnement d'un transistor .....  | 25        |
| 4. Les applications du transistor .....   | 27        |
| <b>II. LES MULTIVIBRATEURS .....</b>  | <b>32</b> |
| A. Multivibrateur astable à transistors bipolaires .....                                  | 33        |
| B. Multivibrateurs astables à inverseurs logiques : à portes logiques NON.....            | 38        |
| C. Multivibrateurs astable à circuit intégré NE555 .....                                  | 43        |
| D. Multivibrateur à amplificateur opérationnel (AOP).....                                 | 46        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>DEUXIEME PARTIE : CONCEPTION ET ELABORATION DE MATERIELS DIDACTIQUES .....</b>   | <b>53</b> |
| I.Supports pour les conducteurs ohmiques .....  | 53        |
| A. Supports des résistors .....   | 53        |
| B. Support de potentiomètre .....   | 56        |
| II. Supports pour les composants à semi-conducteurs .....   | 58        |
| A. Support de diode à jonction.....   | 58        |
| B. Support de diode zener .....   | 61        |
| C. Supports de DEL .....  | 62        |
| D. Supports des transistors bipolaires .....  | 64        |
| III. Support de condensateurs électrochimiques.....   | 67        |
| IV. Support de pile.....  | 71        |
| V. Support d'interrupteur .....   | 72        |
| VI. Supports de nœuds de dérivation.....  | 74        |
| VII. Support de générateur à tension réglable de 0 à 15 V .....   | 75        |
| VIII. Fils de connexion.....  | 77        |
| <b>TROISIEME PARTIE : ACTIVITES EXPERIMENTALES .....</b>  | <b>80</b> |
| I.Travaux pratiques sur l'étude de la courbe caractéristique intensité-tension d'un résistor.....   | 80        |
| II. Travaux pratiques sur l'étude de la courbe caractéristique intensité-tension d'une diode à jonction.....                                      | 81        |
| III. Travaux pratiques sur l'étude de la courbe caractéristique intensité-tension d'une diode zener.....  | 83        |
| IV. Travaux pratiques sur l'étude de la courbe caractéristique intensité-tension d'une diode électroluminescente (DEL) .....                      | 84        |
| V. Travaux pratiques sur l'étude de la charge et décharge d'un condensateur à travers un résistor : pour les 1 <sup>ère</sup> scientifiques ..... | 85        |
| VI. Travaux pratiques sur l'étude de la courbe caractéristique intensité-tension d'un transistor bipolaire.....                                   | 86        |
| <b>CONCLUSION GENERALE .....</b>  | <b>91</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>   | <b>94</b> |
| <b>ANNEXES .....</b>  | <b>I</b>  |

## LISTES DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure 1: Résistor pour chute .....   | 5  |
| Figure 2: Résistor à 4, 5 et 6 anneaux .....  | 6  |
| Figure 3: 3 Résistors en série .....  | 7  |
| Figure 4: 3 Résistors en parallèle .....  | 8  |
| Figure 5: Symbole du Potentiomètre linéaire, potentiomètre rotatif mono et stéréo ..... | 9  |
| Figure 6: Symbole et schéma d'un rhéostat .....   | 9  |
| Figure 7: Symbole et schéma d'une photorésistances ou LDR .....                         | 9  |
| Figure 8: Symbole et schéma d'une thermistance ou CTN .....                             | 9  |
| Figure 9: Condensateur chargée .....  | 11 |
| Figure 10: 2 condensateurs en série .....   | 12 |
| Figure 11: 2 condensateurs en dérivation .....  | 13 |
| Figure 12: Montage pour étude de la charge et décharge d'un condensateur .....          | 13 |
| Figure 13: Courbe de la charge d'un condensateur .....                                  | 14 |
| Figure 14: Courbe de la décharge d'un condensateur à travers une résistance .....       | 14 |
| Figure 15: Symbole et constitution d'une diode, schéma .....                            | 15 |
| Figure 16: Polarisation directe de la diode .....                                       | 16 |
| Figure 17: Polarisation inverse de la diode .....                                       | 16 |
| Figure 18: Courbe caractéristique $I_D=f(U_D)$ d'une diode à jonction .....             | 17 |
| Figure 19: Caractéristique d'une diode supposée parfaite .....                          | 17 |
| Figure 20: Symbole d'une diode zener .....  | 18 |
| Figure 21: Polarisation directe de la diode zener (positif à l'anode) .....             | 19 |
| Figure 22: Polarisation inverse de la diode zener (positif à la cathode) .....          | 19 |
| Figure 23: Courbe caractéristique $I=f(U)$ d'une diode zener .....                      | 19 |
| Figure 24: Symbol et Schémas d'une DEL .....  | 20 |
| Figure 25: Montage pour l'étude du réseau de caractéristiques d'un transistor .....     | 23 |
| Figure 26: Courbe du réseau de caractéristique d'un transistor .....                    | 24 |
| Figure 27: Polarisation rudimentaire et polarisation en pont de base .....              | 26 |
| Figure 28: Courbe d'un transistor saturé .....  | 27 |
| Figure 29: Courbe d'un transistor bloqué .....  | 27 |
| Figure 30: Multivibrateur astable : Clignotant .....                                    | 28 |
| Figure 31: Transistor pour amplificateur de courant .....                               | 30 |
| Figure 32: Miroir de courant ou Détecteur de température .....                          | 30 |
| Figure 33: Détecteur de lumière .....   | 30 |
| Figure 34: Détecteur de niveau de liquide .....   | 31 |
| Figure 35: Trigger de Schmitt et évolution des tensions d'entrée et sortie .....        | 31 |
| Figure 36: Symboles d'un transistor à effet de champ .....                              | 32 |
| Figure 37: Clignotant .....   | 34 |
| Figure 38: Evolution des potentiels de bases et collecteurs de $T_1$ et $T_2$ .....     | 35 |
| Figure 39: Symboles d'une porte logique européenne et américaine .....                  | 38 |
| Figure 40: Caractéristique de transfert d'une porte NON .....                           | 39 |
| Figure 41: Multivibrateur astable à portes NON .....                                    | 39 |
| Figure 42: Evolution des potentiels aux différents points du circuit .....              | 42 |
| Figure 43: Schéma du CI NE555 .....   | 43 |
| Figure 44: Symbole schématique de NE555 .....   | 44 |

|   |    |
|---|----|
| Figure 45: Schéma synoptique (ou fonctionnel) du CI NE555 .....                           | 44 |
| Figure 46: Multivibrateur astable à NE555 .....   | 45 |
| Figure 47: Evolution des potentiels à la sortie ( $V_s$ ) et celui de C ( $V_C$ ) .....   | 46 |
| Figure 48: Comparateur simple .....   | 47 |
| Figure 49: Comparateur inverseur et comparateur non inverseur .....                       | 47 |
| Figure 50: Symboles de l'AOP modèle européen et américain .....                           | 48 |
| Figure 51: Astable à ALI .....  | 48 |
| Figure 52: Evolution des potentiels de sortie $V_s$ et celui de l'entrée - ( $V$ ) .....  | 50 |
| Figure 53: Support de résistor .....  | 53 |
| Figure 54: Sciage du modèle $C_1$ .....   | 54 |
| Figure 55: Sciage du modèle $P_1$ .....   | 54 |
| Figure 56: Assemblage du modèle $C_1$ et $P_1$ du support de résistor .....               | 54 |
| Figure 57: Lissage du support de résistor .....   | 54 |
| Figure 58: Peinturage du support de résistor .....  | 55 |
| Figure 59: Traçage du symbole de résistor et perçage .....                                | 55 |
| Figure 60: Montage des 2 douilles du support de résistor .....                            | 55 |
| Figure 61: Implantations du terminal baffle et des 2 douilles .....                       | 55 |
| Figure 62: Les 4 supports de résistor élaborés .....                                      | 56 |
| Figure 63: Support de potentiomètre .....   | 56 |
| Figure 64: Traçage du symbole de potentiomètre et perçage .....                           | 57 |
| Figure 65: Montage des 3 douilles du support de potentiomètre .....                       | 57 |
| Figure 66: Implantations du potentiomètre .....   | 58 |
| Figure 67 : Support de diode à jonction .....   | 58 |
| Figure 68: Sciage du modèle $C_1$ pour le support de diode .....                          | 59 |
| Figure 69: Assemblage du modèle $C_1$ et modèle $P_1$ pour le support de diode .....      | 59 |
| Figure 70: Lissage du support de diode .....  | 59 |
| Figure 71: Peinturage du support de diode .....   | 59 |
| Figure 72: Traçage du symbole de diode et perçage .....                                   | 60 |
| Figure 73: Montage des 2 douilles du support de diode .....                               | 60 |
| Figure 74: Implantations de la diode .....  | 60 |
| Figure 75: Diode zener avec son support .....   | 61 |
| Figure 76: Traçage du symbole de diode zener et perçage .....                             | 62 |
| Figure 77: Implantations de la diode zener .....  | 62 |
| Figure 78: DEL avec son support .....   | 63 |
| Figure 79: Traçage du symbole de DEL et perçage .....                                     | 63 |
| Figure 80: Implantations de la DEL .....  | 64 |
| Figure 81: Les 2 supports de DEL élaborés .....   | 64 |
| Figure 82: Support de transistor .....  | 65 |
| Figure 83: Sciage du modèle $C_1$ pour le support de transistors .....                    | 65 |
| Figure 84: Assemblage du modèle $C_1$ et modèle $P_1$ pour le support de transistor ..... | 65 |
| Figure 85: Lissage du support de transistor .....   | 66 |
| Figure 86: Peinturage du support de transistor .....                                      | 66 |
| Figure 87: Traçage du symbole de transistor et perçage .....                              | 66 |
| Figure 88: Montage des 3 douilles du support de transistor .....                          | 66 |
| Figure 89: Implantations du transistor .....  | 67 |
| Figure 90: Les 3 modèles de supports de transistors bipolaires .....                      | 67 |

|  |    |
|--|----|
| Figure 91: Support de condensateur .....   | 68 |
| Figure 92: Sciage du modèle C <sub>1</sub> pour le support de condensateur .....                           | 68 |
| Figure 93: Sciage du modèle P <sub>1</sub> pour le support de condensateur .....                           | 68 |
| Figure 94: Assemblage du modèle C <sub>1</sub> et 2 modèles P <sub>1</sub> pour le support de condensateur | 69 |
| Figure 95: Lissage du support de condensateur .....  | 69 |
| Figure 96: Peinturage du support de condensateur .....   | 69 |
| Figure 97: Traçage du symbole de condensateur et perçage .....   | 69 |
| Figure 98: Montage des 2 douilles du support de condensateur .....   | 70 |
| Figure 99: Implantations du condensateur .....   | 70 |
| Figure 100: Les 2 supports de condensateur .....   | 70 |
| Figure 101: Support de pile 9 V .....  | 71 |
| Figure 102: Montage des 2 douilles et implantation de port de pile 9 V .....                               | 72 |
| Figure 103: Support d'interrupteur .....   | 72 |
| Figure 104: Montage des 2 douilles et implantation de l'interrupteur .....                                 | 73 |
| Figure 105: Support de nœud de dérivation.....   | 74 |
| Figure 106: Montages des 4 douilles et câblage du support de nœuds de dérivation .....                     | 75 |
| Figure 107: Les 2 supports de nœuds de dérivation .....  | 75 |
| Figure 108: Schéma du générateur réglable.....   | 75 |
| Figure 109: Circuit imprimé du générateur réglable.....  | 76 |
| Figure 110: Support de générateur à tension réglable de 0 à 15 V .....                                     | 76 |
| Figure 111: Traçage du symbole et perçage, montage des douilles .....                                      | 77 |
| Figure 112: Implantation du circuit imprimé et fermeture de la boîte .....                                 | 77 |
| Figure 113: Fils de connexions .....   | 78 |
| Figure 114: Fils électriques de 30 cm de long .....  | 78 |
| Figure 115: Fiches bananes mâles .....   | 78 |
| Figure 116: Tubes à vide.....  | V  |
| Figure 117: Transistor à contact.....  | V  |
| Figure 118: Transistron.....   | V  |
| Figure 119: Diviseur de tension.....   | IX |
| Figure 120: Diviseur de courant.....   | IX |

## **LISTE DES TABLEAUX**

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Code des couleurs .....  | 6  |
| Tableau 2: Les types de condensateurs .....  | 10 |
| Tableau 3: Structures, symboles des transistors et schémas .....                     | 21 |
| Tableau 4: Les 3 montages possibles des transistors NPN et PNP .....                 | 23 |
| Tableau 5: Propriétés d'une porte NON .....  | 38 |
| Tableau 6: Table de vérité d'une porte NON.....                                      | 39 |
| Tableau 7: Coût d'élaboration des supports de résistors .....                        | 56 |
| Tableau 8: Coût d'élaboration d'un support de potentiomètre .....                    | 58 |
| Tableau 9: Coût d'élaboration d'un support de diode.....                             | 61 |
| Tableau 10: Coût d'élaboration d'un support de diode zener .....                     | 62 |
| Tableau 11 : Coût d'élaboration des 2 supports de DEL .....                          | 64 |
| Tableau 12: Coût d'élaboration des 3 supports de transistors .....                   | 67 |
| Tableau 13: Coût d'élaboration des 2 supports de condensateur .....                  | 70 |
| Tableau 14: Coût d'élaboration d'un support de pile 9 V .....                        | 72 |
| Tableau 15: Coût approximatif de l'élaboration d'un support d'interrupteur .....     | 73 |
| Tableau 16: Coût d'élaboration des 2 supports de nœuds de dérivation .....           | 75 |
| Tableau 17: Coût d'élaboration d'un support de générateur réglable de 0 à 15 V ..... | 77 |
| Tableau 18: Coût d'élaboration des fils électriques .....                            | 78 |

## LISTE DES ABBREVIATIONS

LC : inductance-conductance  
RC : résistance-conductance  
RL : résistance-inductance  
RLC : résistance-inductance-conductance  
D.E.L. : diode électroluminescente  
N.P.N. : négative positive négative  
 $U_S$  : tension de seuil de la diode à jonction et de la diode zener  
 $U_Z$  : tension zener  
P.N.P. : positive négative positive  
 $U_{BC}$  : tension de la jonction base-collecteur  
 $U_{BE}$  : tension de la jonction base-émetteur  
 $U_{CE}$  : tension de la jonction collecteur-émetteur  
T.E.C. : transistor à effet de champ  
 $V_{CC}$  : tension de l'alimentation  
T.O.R. : Tout Ou Rien  
 $U_T$  : tension de basculement  
C.I. : circuit intégré  
G.B.F. : générateur à basse fréquence  
A.O.P. : amplificateur opérationnel  
A.L.I. : amplificateur linéaire intégré  
T.T.L. : transistor transistor logique  
C.M.O.S. : complementary metal oxide semiconductor

## **LISTES DES ANNEXES**

**Annexe 1 :** Programme d'électricité en classe de seconde

**Annexe 2 :** Historique de la technologie et des transistors

**Annexe 3 :** Fiche technique des transistors NPN : BC547A, BC547B, BC547C

**Annexe 4 :** Les dipôles électriques

**Annexe 5 :** Diviseur de tension et diviseur de courant

**Annexe 6 :** Calcul de la période, fréquence et rapport cyclique d'un multivibrateur astable à NE555

# INTRODUCTION

## INTRODUCTION

Les sciences physiques font partie des sciences expérimentales, leur enseignement devrait donc être basé sur des expériences. De même, l'électronique fait partie des sciences physiques, alors l'enseignement/apprentissage de l'électronique doit s'appuyer aussi et surtout se baser sur l'observation et l'expérimentation. C'est en classe de seconde que les élèves vont préparer leur avenir, c'est une classe de détermination qui permet de préparer le choix d'une série en première. C'est dans ce niveau que développent l'esprit d'analyse et de synthèse des élèves. Ce sont l'observation et l'expérimentation qui fournissent à ces élèves les bases de tout raisonnement qui leur permet de mieux comprendre les choses. Ainsi, on laisse aux enseignants la responsabilité de procéder à élaborer des cours-travaux pratiques que des cours purement théoriques ou voir même des cours magistraux. Les enseignants doivent ainsi sensibiliser les élèves à s'intéresser aux phénomènes physiques dans la vie courante.

Comme nous avons dit que l'expérience joue un rôle prépondérant dans l'enseignement des sciences physiques, plus particulièrement l'électronique alors si nous allons faire apprendre aux élèves le fonctionnement en commutation des transistors bipolaires, il est mieux de faire des travaux pratiques avec les montages multivibrateurs à transistors bipolaires. Un montage multivibrateur est beaucoup utilisé dans les onduleurs et les microprocesseurs et mémoires des ordinateurs, dans les hacheurs, dans certains stroboscopes électroniques, dans les sonneries de porte et la plupart des sirènes, dans les indicateurs de remplissage, dans les calculatrices, dans divers appareils électroniques et produits technologiques qui ont besoin de minuterie et temporisation. Nous pouvons concevoir aussi des convertisseurs continu/ alternatif (DC/AC) à multivibrateur qui servent comme matériels didactiques des enseignants qui travailleront à la campagne, ou concevoir des générateurs à basse fréquence ou GBF qui servent comme outils didactiques des enseignants pour l'enseignement/apprentissage des oscillateurs électriques en classe terminale scientifique : circuits LC, RC, RL et RLC. Mais avec ce montage multivibrateur nous pouvons aussi réaliser un feu clignotant qui est, sans doute, un phénomène de la vie courante qu'on ne doit pas ignorer. Mais est-ce qu'on sait le fonctionnement d'un clignotant ?

Face aux problèmes de manque de matériels didactiques dans certains lycées à Madagascar, l'enseignement de l'électronique n'est pas bien développé par les enseignants en classe de seconde. D'où pour remédier à ce problème notre travail intitulé « **Conception, élaboration et exploitation des matériels didactiques pour l'étude des transistors en commutation : les multivibrateurs à transistors bipolaires** » entre dans le cadre de l'enseignement/apprentissage des transistors bipolaires en classe de seconde. Mais est-ce-que les transistors bipolaires utilisés dans ces montages multivibrateurs fonctionnent en commutation ? La réponse à cette question pourrait permettre de mieux comprendre les montages multivibrateurs à transistors bipolaires et le fonctionnement en commutation de ces composants électroniques dans ces montages.

La conception, l'élaboration et l'exploitation des matériels didactiques des montages multivibrateurs facilitent la compréhension du fonctionnement en commutation des transistors bipolaires de l'élève en classe de seconde.

C'est bien évident que le fonctionnement en commutation des transistors bipolaires est déjà abordé par des étudiants du Centre d'Etude et de Recherche en Physique Chimie (C.E.R.P.C.). Parmi ces étudiants, RAZANAVAHY (2002) a traité le même domaine que le nôtre mais il s'est intéressé sur le fonctionnement en commutation des transistors bipolaires dans son mémoire intitulé « **Conception, élaboration et exploitation des matériels didactiques pour l'enseignement des diodes et transistors en classe de seconde** » mais il n'a pas exploité ce fonctionnement en commutation dans les montages multivibrateurs. Ce travail est ainsi différent du présent mémoire. Quant à RAMANATSOA (2012), il a bien traité les multivibrateurs à transistors bipolaires mais sous forme ExAO (Expérience Assisté par Ordinateur) dans son mémoire intitulé « **Elaboration d'un didacticiel pour l'étude et la caractérisation des transistors bipolaires** ». Il a exploité alors la Technologie de l'Information et la Communication associé pour l'Enseignement (T.I.C.E.) de ces montages multivibrateurs dans son mémoire, ce qui n'est pas le cas dans le nôtre. Des recherches webographiques ont aussi révélé qu'on peut bien exploiter en travaux pratiques (T.P.) ces montages multivibrateurs en variant divers paramètres de ces montages pour comprendre le fonctionnement en commutation des transistors bipolaires.

Ainsi, la méthodologie adoptée consiste en premier lieu, après des études bibliographiques, à effectuer préalablement la conception et l'élaboration des matériels didactiques tels que les supports de transistors, résistors, diodes électroluminescentes, condensateurs, potentiomètre et générateurs afin de résoudre le problème de manque des matériels didactiques dans les Lycées à Madagascar et d'encourager les enseignants issus de l'Ecole Normale Supérieure (E.N.S.) qu'ils puissent élaborer eux-mêmes leur matériels didactiques. Ces matériels sont faits à partir des matériaux locaux (composants électroniques à acheter au magasin National Behoririka, supports à élaborer à Isotry et chez soi,.....) qui ne sont pas trop chers. En second lieu, nous avons exploité ces matériels didactiques en travaux pratiques en élaborant des fiches de travaux pratiques (T.P.) pour résoudre les problèmes des cours purement théoriques et aussi afin de bien comprendre l'utilisation des transistors bipolaires. Ces fiches seront exploitées en T.P. par les enseignants aux lycées.

Ainsi notre travail se divise en trois parties, la première consiste aux repères théoriques relatifs aux composants électroniques étudiés en classe secondaires et les lois physiques appliquées en électronique, surtout dans les montages multivibrateurs. La deuxième partie est consacrée à la conception et à l'élaboration des matériels didactiques (supports de composants). Et la troisième partie concerne l'exploitation de ces matériels didactiques en travaux pratiques.

**PREMIERE PARTIE :**  
**REPERES THEORIQUES**  
**SUR L'ELECTRONIQUE**  
**EN CLASSE**  
**SECONDAIRE**

## PREMIERE PARTIE : REPERES THEORIQUES SUR L'ELECTRONIQUE EN CLASSE SECONDAIRE

### I. QUELQUES COMPOSANTS ELECTRONIQUES ETUDIES EN CLASSE SECONDAIRE

#### A. Les conducteurs ohmiques

##### 1. Les résistors

###### 1.1. Définitions

Un résistor est un composant électronique cylindrique, formé par différents types de matériaux. Un résistor est caractérisé par sa résistance (grandeur). On peut aussi appelé, par abus de langage, « résistance » le composant résistor. C'est le composant passif le plus utilisé en électronique.

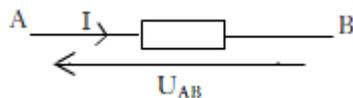
La résistance électrique d'un matériau est sa faculté d'empêcher le passage du courant. Cette valeur est indépendante du circuit dans lequel se trouve ce matériau. La résistance se note R et elle se mesure en Ohm (symbole  $\Omega$ ) avec un ohmmètre.

Tous les composants pour lesquels R est une constante sont des conducteurs ohmiques. C'est le cas des fils conducteurs. [1] [5][11][14]

###### 1.2. Rôles du résistor

Le résistor joue un rôle très important dans un montage électronique :

- Il limite l'intensité du courant qui traverse un composant, on parle d'une **résistance de protection** ;
- Il crée une chute de tension



**Figure 1: Résistor pour chute de tension**

Pour  $I=10\text{mA}$ ,  $R=330\Omega$ ,  $V_A=6\text{V}$

On a :  $U_{AB}= V_A-V_B=R.I$

Donc :  $V_B=V_A-R.I$

$$V_B=6-330.10.10^{-3}$$

$$V_B=2,7\text{V}$$

D'où : on a une chute de 6V à 2,7V

- Il est utilisé en diviseur de tension et de courant
- Il est utilisé aussi dans des montages pour polariser certains composants comme les transistors.

### 1.3. Le code des couleurs

Un conducteur ohmique est caractérisé par sa résistance qu'on peut mesurer directement aux bornes de ce composant avec un ohmmètre ou bien connue à partir du code couleur.

La valeur d'un composant n'est pas toujours indiquée en marquage clair la résistance se caractérise souvent avec des anneaux colorés. L'industrie a utilisé donc le code des couleurs pour identifier la valeur ohmique de la résistance. Pour déterminer la valeur d'une résistance, il faut d'abord compter le nombre d'anneaux de couleurs que porte cette résistance et de repérer le 1<sup>er</sup> anneau (il est toujours le plus proche du bord). On peut avoir 4, 5 ou 6 anneaux colorés dont, selon le nombre d'anneau, les deux ou trois premiers anneaux sont les chiffres significatifs (valeurs), l'anneau suivant est le multiplicateur (nombre de zéros à placer après les valeurs) et le dernier est la tolérance (anneau le plus large).



**Figure 2: Résistor à 4, 5 et 6 anneaux**

Ainsi après avoir identifié les couleurs présentes sur la résistance, on associe au code universel des couleurs afin de connaître la valeur ohmique de cette résistance. Le code de désignation de couleurs (norme internationale CEI 60757 en 1983) est apposé sur les résistances, les condensateurs (et d'autres composants). Le tableau qui suit résume le code de couleurs. [17][22]

| Chiffres significatifs | Multiplicateur           | Tolérance     | Coeff. de température |
|------------------------|--------------------------|---------------|-----------------------|
| Noir : 0               | x 1 $\Omega$             |               | $\pm 200$             |
| Marron : 1             | x 10 $\Omega$            | $\pm 1 \%$    | $\pm 100$             |
| Rouge : 2              | x 100 $\Omega$           | $\pm 2 \%$    | $\pm 50$              |
| Orange : 3             | 1 k $\Omega$             |               | $\pm 15$              |
| Jaune : 4              | 10 k $\Omega$            |               | $\pm 15$              |
| Vert : 5               | 100 k $\Omega$           | $\pm 0,5 \%$  |                       |
| Bleu : 6               | 1 M $\Omega$             | $\pm 0,25 \%$ |                       |
| Violet : 7             | 10 M $\Omega$            | $\pm 0,1 \%$  |                       |
| Gris : 8               |                          |               |                       |
| Blanc : 9              |                          |               |                       |
|                        | Argent : x 0,01 $\Omega$ | $\pm 10 \%$   |                       |
|                        | Or : x 0,1 $\Omega$      | $\pm 5 \%$    |                       |

**Tableau 1 : Code des couleurs**

Exemple : jaune-violet-rouge-or (résistor à 4 anneau) :  $47 \times 10^2 \Omega = 4,7 \text{ k}\Omega$  à 5% près.

### ➤ Mnémotechnique

On peut retenir la phrase suivante pour se souvenir de la table du code des couleurs des résistors, l'initiale de chaque mot correspond à l'initiale d'une couleur : "Ne Mangez Rien Ou Je Vous Battrai violemment Grand Bête."

#### 1.4. Associations de résistors [1]

On peut regrouper les résistances électroniques en série (linéaire ou bout à bout) ou en dérivation (parallèle). Lorsqu'elles sont montées en série ou en dérivation, on peut simplifier ces résistances par une seule valeur. Cette dernière est appelée résistance équivalente.

##### a. Regroupement en série

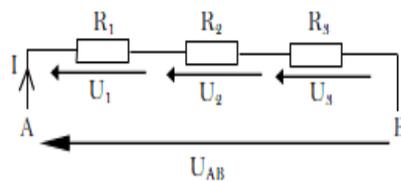


Figure 3: 3 Résistors en série

Puisque les résistors montés en série sont traversés par le même courant  $I$  alors  $U_{AB} = U_1 + U_2 + U_3$  (loi d'additivité des tensions).

Or la loi d'Ohm appliquée à chacune des résistors s'écrit :  $U_1 = R_1 * I$ ,  $U_2 = R_2 * I$  et  $U_3 = R_3 * I$ . De même  $U_{AB} = R * I$  où  $R$  est la résistance équivalente à l'association en série de ces 3 résistors.

D'où, en simplifiant membre à membre par  $I$  :

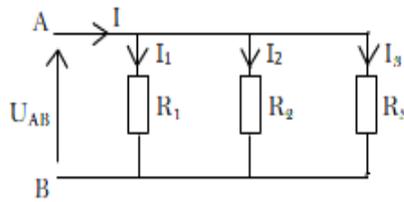
$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

La valeur ohmique de la résistance équivalente  $R$  pour un montage en série est donc égale à la somme de toutes les valeurs des résistances des résistors regroupés en série (ici 3 résistors).

Généralement, pour le cas de  $N$  résistors en série on a comme résistance équivalente :

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$$

## b. Association en dérivation



**Figure 4: 3 Résistors en parallèle**

Puisque les résistors branchés en parallèle sont soumis à la même tension  $U_{AB}$  alors d'après la loi des nœuds  $I = I_1 + I_2 + I_3$ .

Or la loi d'Ohm appliquée à chacune des résistors s'écrit :  $U_1 = R_1 * I$ ,  $U_2 = R_2 * I$  et  $U_3 = R_3 * I$ . De même  $U_{AB} = R * I$  où R est la résistance équivalente à l'association en parallèle de ces 3 résistors.

Ce qui donne chacune:  $I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1}$ ,  $I_2 = \frac{U_{AB}}{R_2}$ ,  $I_3 = \frac{U_{AB}}{R_3}$  et  $I = \frac{U_{AB}}{R}$ .

D'où, en simplifiant membre à membre par  $U_{AB}$  :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

La valeur ohmique de la résistance équivalente R pour un montage en dérivation est donc :

$$R = \frac{R_1 * R_2 * R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Généralement, pour le cas de N résistors en parallèle on a comme résistance équivalente :

$$R = \frac{R_1 * R_2 * R_3 * \dots * R_N}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N}$$

## 2. Résistances variables

### 2.1. Potentiomètre

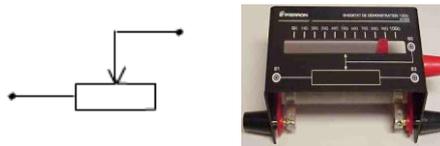
Un potentiomètre est un type de résistance variable qui présente 3 bornes : 2 d'entre elles sont les bornes de la piste résistive (résistance fixe entre ces deux bornes) et 1 borne pour le curseur (résistance variable entre cette borne et n'importe laquelle des deux autres). On cite des potentiomètres linéaires (dans les tables de mixage par exemple) et des potentiomètres circulaires (commandés par un curseur rotatif).[14][16]



**Figure 5: Symbole du Potentiomètre linéaire, potentiomètre rotatif mono et stéréo**

## 2.2. Rhéostat

Un rhéostat est aussi un type de résistance variable qui présente 2 bornes, un bobinage de fil électrique qui garantit son rôle de faire varier l'intensité du courant qui le traverse en se servant d'un curseur mobile. [22]



**Figure 6: Symbole et schéma d'un rhéostat**

## 2.3. Photorésistances ou LDR

Le LDR (Light Dependent Resistor) est un composant qui s'oppose au passage du courant, la valeur ohmique de sa résistance dépend de la lumière. Plus il y a de lumière, moins il y a de résistance :  $8 \text{ k}\Omega$  dans l'obscurité,  $670 \Omega$  à la lumière du jour et de  $240 \Omega$  à la lumière intense. Autrement dit, la résistance de la LDR diminue en fonction de l'intensité de la luminosité de la lumière.



**Figure 7: Symbole et schéma d'une photorésistances ou LDR**

## 2.4. Thermistance ou CTN (Coefficient de Température Négatif)

Ce type de résistances est sensible à la température. Dans leur domaine d'utilisation, une thermistance présente une résistance qui diminue lorsque sa température augmente ou bien sa résistance augmente quand la température environnante diminue. [14]



**Figure 8: Symbole et schéma d'une thermistance ou CTN**

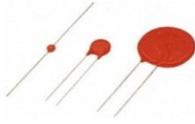
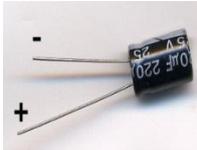
## B. Les condensateurs

### 1. Définition

Un condensateur est un composant électronique ayant le pouvoir de stocker de l'énergie lorsqu'il est soumis à une tension (différence de potentiel). C'est un ensemble de deux conducteurs séparés par un isolant. Les deux conducteurs sont appelés « armatures » et l'isolant le « diélectrique ». [16][22]

### 2. Types de condensateurs

Selon la nature des plaques conductrices et de l'isolant (papier, air, paraffine, céramique, mica,...), on peut citer plusieurs types de conducteurs. [10]

|          | Condensateur non polarisé  | Condensateur polarisé  | Condensateur variable  |
|----------|--|--|--|
| Schéma   |   |  |   |
| Symboles |  |  |  |

**Tableau 2: Les types de condensateurs**

Les condensateurs chimiques ou électrolytiques (de forte capacité) sont généralement polarisés donc ils possèdent une borne positive et une borne négative (marquée par un signe -).[1]

### 3. Capacité d'un condensateur [1][21]

Le rapport entre la quantité d'électricité  $q$  reçue et la tension  $u = V_A - V_B$  aux bornes est une grandeur caractéristique du condensateur, appelée, capacité du condensateur notée  $C$ . On a donc  $C = \frac{q}{u}$

La capacité mesure l'aptitude du condensateur d'emmagasiner (stocker) des charges électriques sur ses armatures.

Or la quantité d'électricité reçue par le condensateur est  $q = i * t$ .

$$\text{Ainsi : } q = C * u = C * (V_A - V_B)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} q \text{ en Coulombs (C)} \\ C \text{ en farads (F)} \\ u \text{ en volts (V)} \end{array} \right.$$

Dans le domaine de l'électronique, l'ordre de grandeur et sous multiples du Farad sont :

-le picofarad :  $pF = 10^{-12} F$

-le nanofarad :  $nF = 10^{-9} F$

-le microfarad :  $\mu F = 10^{-6} F$

Mais cette capacité de condensateur dépend de la surface des armatures, de l'épaisseur du diélectrique ainsi que de la nature du diélectrique ou sa permittivité.

Ainsi :  $C = \varepsilon \frac{S}{e}$

$$\left\{ \begin{array}{l} S : \text{surfaces des armatures (en m}^2\text{)} \\ e : \text{distance entre les armatures (en m)} \\ \varepsilon : \text{Permittivité absolue} \end{array} \right.$$

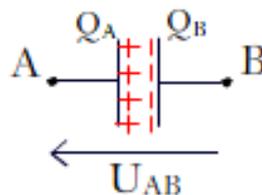
➤ **Relation entre courant et tension**

De façon générale, un courant  $i$  transporte, pendant une durée  $dt$ , une quantité d'électricité  $dq = i * dt$ . La tension aux bornes du condensateur subit une variation telle

que :  $i = \frac{dq}{dt} = \frac{Cdu}{dt}$

**4. Charges portées par les armatures du condensateur [1]**

Pendant une durée  $\Delta t$ , un courant d'intensité  $I$  entraîne une accumulation ou condensation de charge électrique  $Q_A = I * \Delta t$  sur la surface de l'armature A. Celles-ci attirent sur l'armature B une charge  $Q_B$  équivalente mais de signe contraire. Par conséquent :  $Q_A = -Q_B = C(V_A - V_B) = C * U_{AB}$



**Figure 9: Condensateur chargée**

La charge d'un condensateur est  $Q = |Q_A| = |Q_B| = C(V_A - V_B)$

**5. Energie stockée par un condensateur**

L'énergie  $W$  dans un condensateur ne dépend pas de la façon dont il a été chargé mais de la charge  $Q$  accumulée et par conséquent de sa tension  $U$  aux bornes.

$$W = \frac{1}{2} Q * U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C * U^2$$

- W exprimé en joules (J)
- C en farad (F)
- U en volts (V)
- Q en coulomb (C)

### 6. Associations de condensateurs

On peut regrouper les condensateurs, comme les résistances électroniques, en série (linéaire ou bout à bout) ou en dérivation (parallèle). Le condensateur équivalent à une association, en série ou en parallèle, est tel qu'il accumule la même quantité d'électricité lorsqu'il est soumis à la même tension. [1]

#### a. Regroupement en série

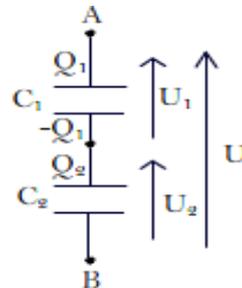


Figure 10: 2 condensateurs en série

On a :  $U = U_1 + U_2 \longrightarrow \frac{Q}{C_{total}} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}$

Or : la somme des charges sur les deux armatures en contact électrique est nulle :

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

Alors :  $Q = Q_1 = Q_2$

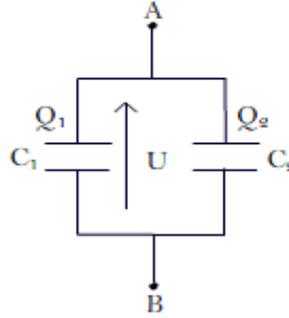
$$\text{D'où : } \frac{1}{C_{total}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Lorsque deux ou plusieurs condensateurs sont montés en série l'inverse de la capacité équivalente est égal à la somme des inverses des capacités en série. [1] [21]

On peut simplifier de la manière suivante le cas de 2 condensateurs en série :

$$C_{total} = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2}$$

## 7. Regroupement des condensateur en parallèle



**Figure 11: 2 condensateurs en dérivation**

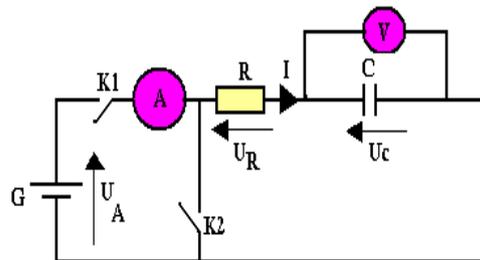
On a :  $Q = Q_1 + Q_2 \longrightarrow C_{totale} * U = C_1 * U + C_2 * U$

Alors :  $C_{total} = C_1 + C_2$

L'association en parallèle de condensateurs permet d'augmenter la capacité du condensateur équivalent. Autrement dit, la capacité totale équivalente est égale à la somme des capacités en parallèle :  $C_{total} = C_1 + C_2$  [1]

## 8. Charge et décharge d'un condensateur

L'étude expérimentale de la charge et décharge d'un condensateur consiste à le placé dans un circuit comprenant un commutateur (interrupteur double) pour que si on est dans une position, on aura la charge et dès que le condensateur soit chargé, on passe dans la deuxième position pour avoir la décharge. Mais on peut faire tout simplement l'étude avec un montage comportant 2 interrupteurs. [1][2]

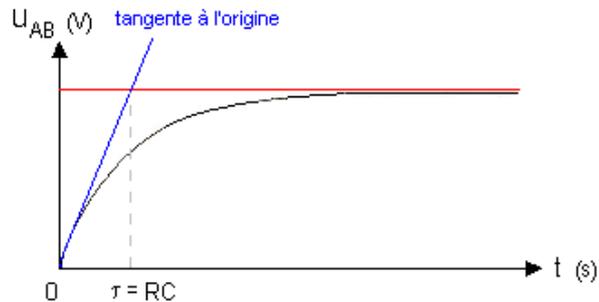


**Figure 12: Montage pour étude de la charge et décharge d'un condensateur**

- **Etude expérimentale de la charge sous tension constante d'un condensateur à travers un résistor**

On ferme l'interrupteur  $K_1$  pour pouvoir charger le condensateur. Le générateur délivre une tension constante égale à  $E$ . La charge d'un condensateur à travers une résistance sous tension constante est caractérisée par deux phases successives :

- ✓ Une phase transitoire : la tension  $u_C = u_{AB}$  aux bornes du condensateur s'établit progressivement sans discontinuité. Autrement dit, elle croît selon une fonction exponentielle :  $u_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$
- ✓ Un régime forcé (ou régime permanent) : la tension  $u_C = u_{AB} = E$  est atteinte et l'intensité du courant est nulle.

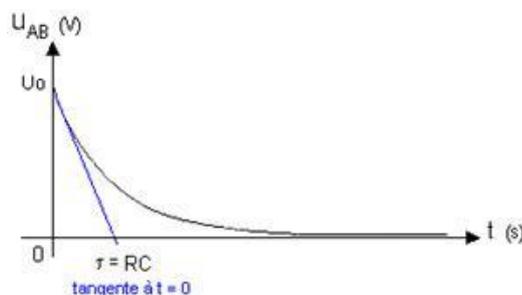


**Figure 13: Courbe de la charge d'un condensateur**

$\tau = RC$  est la **constante de temps** du dipôle RC étudié. C'est le temps pour lequel la tangente à l'origine coupe l'asymptote horizontale. Elle caractérise la rapidité de la charge.

- **Etude expérimentale de la décharge d'un condensateur à travers une résistance R.**

Lorsqu'on ferme maintenant l'interrupteur  $K_2$  en même temps qu'on ouvre  $K_1$ , le condensateur, initialement chargé, se **décharge** à travers la résistance R en fonction du temps. Pendant le **régime transitoire**, la tension  $u_C = u_{AB}$  décroît. Quand le **régime permanent** est atteint, la tension  $u_C$  devient constante (nulle) et l'intensité du courant est nulle.



**Figure 14: Courbe de la décharge d'un condensateur à travers une résistance**

$\tau = RC$  est la **constante de temps** du dipôle RC. Ce n'est autre que le temps pour lequel la tangente à la date  $t = 0$  coupe l'asymptote  $U_{AB} = 0$ . Elle caractérise la rapidité de la **décharge**. [3][9]

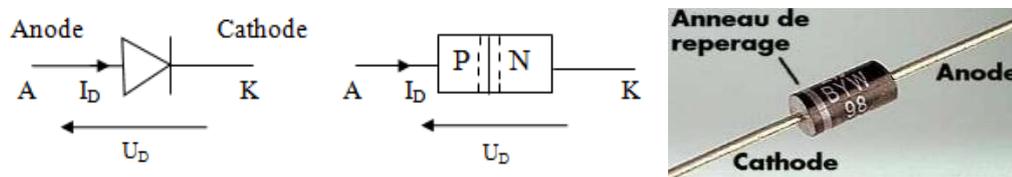
## C. Les diodes

Les diodes font parties des composants électroniques très utilisés en électronique. Ce sont des composants actifs (par opposition aux composants passifs que représentent les résistors, les bobines et les condensateurs). C'est beaucoup très rare de trouver un montage ne comportant aucune diode. Les diodes sont fabriquées à partir des semi-conducteurs (matériaux qui ne sont ni conducteurs ni isolants): germanium, silicium, ... On peut citer ainsi plusieurs types de diode : diode à jonction, diode zener, diode électroluminescente (DEL). [1]

### 1. Les diodes à jonctions

#### 1.1. Présentation

Une diode à jonction, également appelé diode de redressement, est un composant électronique réalisé à partir d'un cristal semi-conducteur comportant des atomes tétravalent (silicium). On obtient une diode à jonction en juxtaposant deux semi-conducteurs de type P et N. Ce type de diode a deux électrodes : une anode (A) et une cathode (K). La cathode est localisée par un anneau de repérage le plus près du bord de la diode. Ainsi, une diode à jonction peut se représenter comme ci-après avec les conventions de signe adoptées pour le courant  $I_D$  et la tension  $U_D$ . [1]



**Figure 15: Symbole et constitution d'une diode, schéma**

La région P est formée, en très faible portion, des atomes d'impuretés trivalents (aluminium, gallium, indium), tandis que la région N par des atomes pentavalents (phosphore, arsénique, antimoine) en très faible portion aussi. La région séparatrice est ce que l'on appelle **jonction**, elle sépare les deux régions internes.

#### 1.2. Fonctionnement de la diode [1]

Les diodes sont des composants électroniques qui ne laissent passer le courant que dans un sens. Ainsi, on a le comportement suivant :

- ✓ la diode se comporte comme un interrupteur fermé lorsque le courant est dans le sens Anode-Cathode.
- ✓ lorsque le courant est dans le sens Cathode-Anode, la diode se comporte comme un interrupteur ouvert.

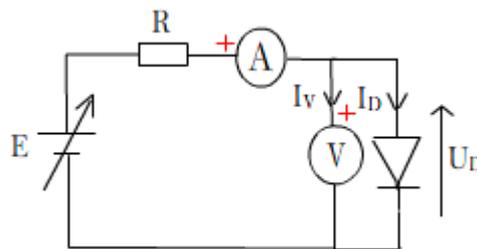
Autrement dit on a deux états de fonctionnement pour la diode :

- **Etat passant : fonctionnement direct**

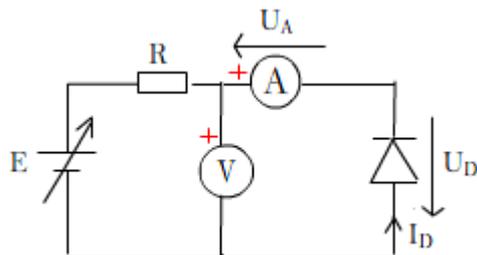
La diode devient passante ou conductrice quand le circuit dans lequel il se trouve tend à faire circuler le courant dans le sens direct (de A vers K, **polarisation directe** (figure 16). La valeur du courant  $I_D$  est imposée par le circuit ( $I_D > 0$ ) et la tension aux bornes de la diode ont chacune une valeur positive faible ( $U_D \approx 0.7V$  pour la diode à silicium).

- **Etat bloqué : fonctionnement en inverse**

Quand les régions P et N respectivement aux pôles - et + d'un générateur de courant continu, aucun courant ne traverse la jonction dans le sens NP. On parle de **polarisation inverse** de la diode (figure 17). La diode est dite bloquée : elle se comporte comme une résistance très grande. La diode est donc bloquée parce qu'une tension négative, présente entre ses bornes, tend à faire passer le courant dans le sens inverse :  $U_D < 0$  et  $I_D = 0$ .



**Figure 16: Polarisation directe de la diode**

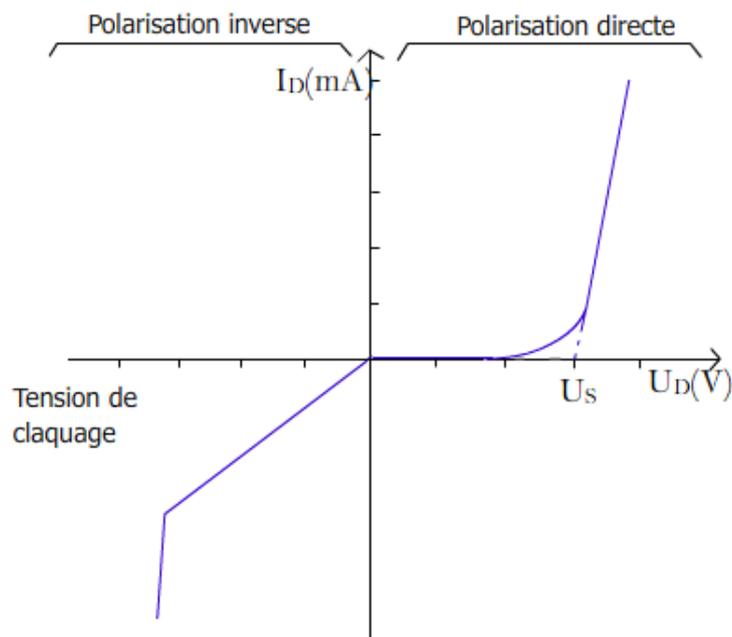


**Figure 17: Polarisation inverse de la diode**

### 1.3. Caractéristique courant-tension de la diode à jonction: $I_D = f(U_D)$

Pour que la diode soit passante, dans sa polarisation directe, il faut que le potentiel de l'anode  $U_A$  soit supérieur à celui de la cathode  $U_K$  d'une valeur correspondante au type de la diode, c'est la **tension de seuil**  $U_S$  (tension à partir de laquelle la diode conduit le courant) :  $U_A > U_K + U_S$ . Cette tension de seuil est de 0,6 V pour les diodes au silicium tandis que 0,25 V pour celles des diodes au germanium.

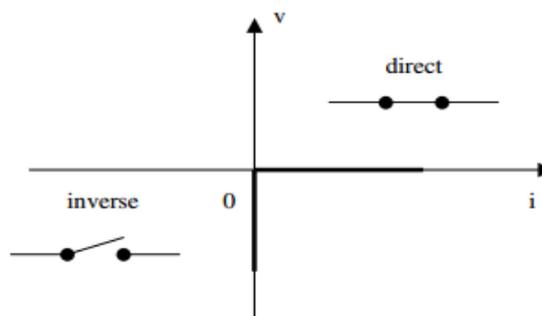
Dans la polarisation inverse de la diode, elle ne bloque pas parfaitement le courant puisque elle possède un léger défaut que l'on appelle **courant de fuite** (quelques nano ampère  $nA$ ). Mais il y a une tension que la diode ne supporte plus dans sa polarisation inverse, c'est la **tension de claquage**, elle varie entre 10 et 1000 V selon le type de diode choisie. Quand on dépasse cette tension, la diode « claque ou grille » parce que le courant de fuite y augmente très rapidement. [1]



**Figure 18: Courbe caractéristique  $I_D=f(U_D)$  d'une diode à jonction**

➤ **Caractéristique simplifiée de la diode**

On va supposer que la diode est parfaite, c'est-à-dire que la chute de la tension directe et courant inverse sont nuls. La diode se comporte comme un interrupteur parfait, fermé ou ouvert suivant que le courant passe dans le sens direct ou dans le sens inverse.



**Figure 19: Caractéristique d'une diode supposée parfaite.**

#### 1.4. Utilisation des diodes [8] [18]

Suivant sa caractéristique non linéaire, dans les circuits, une diode est utilisée selon trois groupes de fonction différents:

- ✓ Les circuits de redressement : qui permettent la conversion d'une tension alternative en une tension continue (diodes redresseurs).
- ✓ Les circuits d'écrêtage, ou circuits de limitation : qui permettent d'empêcher un signal de dépasser une valeur (amplitude) choisie.
- ✓ Les circuits de commutation : qui permettent la commande ou le changement de normes, ou encore pour circuits logiques.

#### 2. Les diodes zener

La diode zener est une diode à jonction pour laquelle la tension d'avalanche est contrôlée. Autrement dit, elle supporte sans dommage un courant inverse relativement important, sous une tension inverse un peu supérieure à la valeur de claquage de la diode. Ainsi, elle est généralement utilisée en inverse, c'est pourquoi la convention suivante :

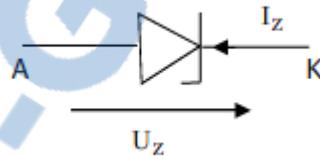


Figure 20:Symbole d'une diode zener

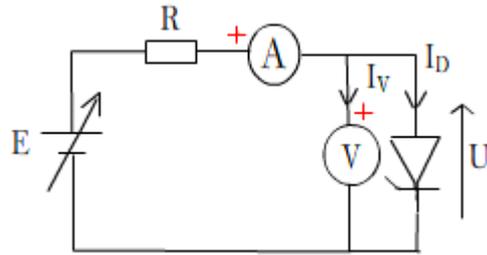
##### 2.1. Principale fonction ou utilisation d'une diode zener

Le rôle principal d'une diode zener est de maintenir une tension constante à ses bornes (en régime continu), c'est pourquoi on l'appelle diode stabilisatrice de tension (ou diode régulatrice de tension). Mais de plus, elle peut limiter les surtensions aussi bien en continu qu'en alternatif. [1] [11]

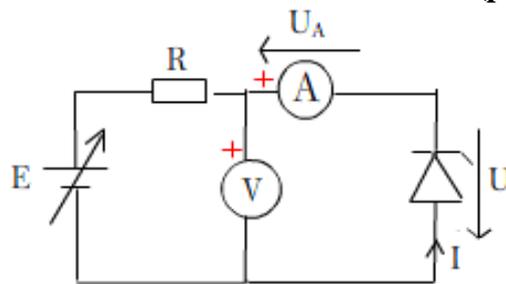
##### 2.2. Caractéristique tension-courant $I=f(U)$ dans le sens inverse

Une diode Zener présente généralement beaucoup d'intérêt lorsqu'elle est utilisée en **polarisation inverse** (figure 22) parce que dans son utilisation en **polarisation directe** (figure 21) elle se comporte comme une diode normale. Cette caractéristique inverse est utilisée principalement pour la régulation de tension. Dans une diode Zener en polarisation inverse, l'anode doit être à un potentiel inférieur à celui de la cathode. Et dès que la tension inverse aux bornes de la diode zener est plus élevée que sa « **tension Zener  $U_z$**  » ou « **tension de claquage** » (différence de potentiel (d.d.p.) minimale pour que la diode soit passante dans son sens inverse) elle devient passante.

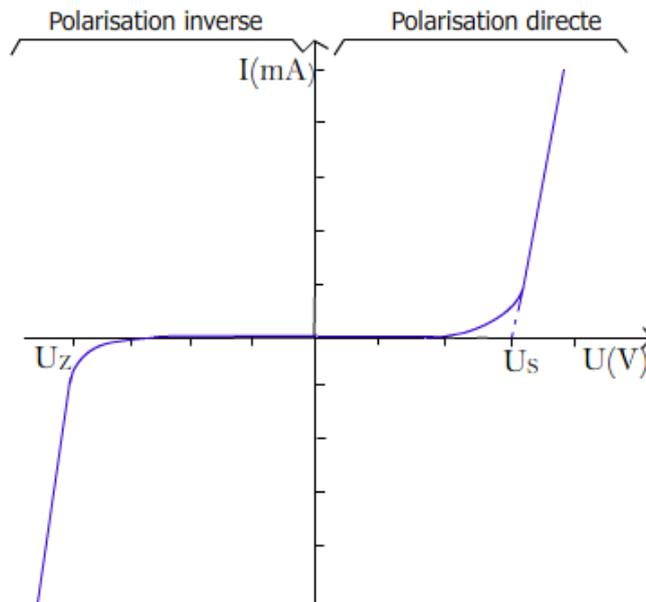
Dans la polarisation directe, la diode zener ne devient passante que lorsque la tension appliquée à ses bornes dépasse sa « **tension de seuil  $U_S$**  » (tension minimale de fonctionnement). Et dans la polarisation inverse, cette tension de seuil inverse n'est autre que la tension zener de la diode zener.



**Figure 21: Polarisation directe de la diode zener (positif à l'anode)**



**Figure 22: Polarisation inverse de la diode zener (positif à la cathode)**



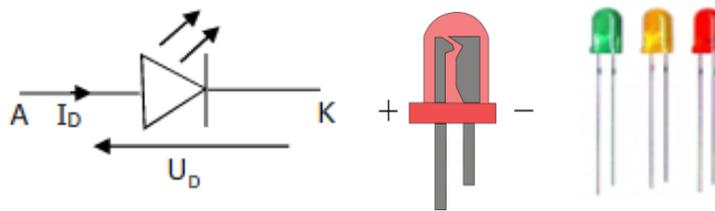
**Figure 23: Courbe caractéristique  $I=f(U)$  d'une diode zener**

### 3. Les diodes électroluminescentes (DEL)

Une DEL ou LED (Light-Emitting Diode) est un composant électronique possédant des électrodes (anode et cathode). Ce composant émet de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique ; ce qui prouve qu'il est passant. [7][8]

#### 3.1. Schéma et sens de courant

Une DEL est un composant passif, elle est de la famille des semi-conducteurs. Le courant ne peut traverser ce composant que dans un seul sens (par un seul côté). Ce sens est déterminé grâce aux deux parties qui composent ce composant : l'Anode (A) et la Cathode (K). Pour que la DEL s'allume, le courant  $I_D$  doit donc la parcourir de l'Anode vers la Cathode : une DEL permet de réaliser des témoins lumineux. Une DEL peut être composée d'arséniure de gallium ou de phosphore de gallium alors selon le matériau employé, on peut obtenir une émission verte, jaune ou rouge. [11] [19]



**Figure 24:Symbol et Schémas d'une DEL**

Anode : patte la plus longue, c'est le pôle positif

Cathode : pôle négatif représenté par la patte la plus courte

Une DEL ne s'allume donc que pour un sens de branchement bien déterminé.

#### 3.2. Caractéristique de la DEL

La tension de seuil  $U_S$  dépend essentiellement de la « couleur » de la lumière émise par la DEL. Par exemple  $U_S$  vaut 1,6 V à 1,8 V pour la couleur rouge, de 2,2 à 2,4 V pour le vert et de 1,2 à 1,4 V pour l'infrarouge.

Les DEL sont utilisés avec un courant direct d'environ 10 à 20 mA et la tension de coude de ces composants est comprise entre 1,2 et 3,8 d'environ (plus élevée que celles des diodes ordinaires).[10][19]

### D. Les transistors

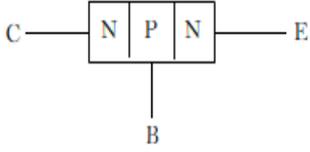
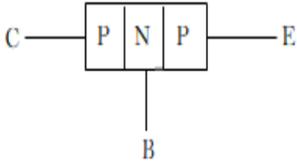
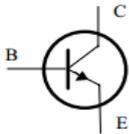
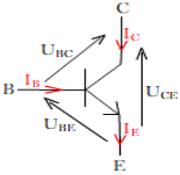
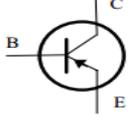
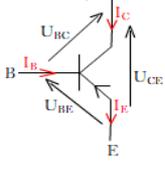
#### 1. Constitution d'un transistor

Un transistor bipolaire est constitué d'un monocristal de semi-conducteur (germanium ou silicium) dopé dans lequel ont été réalisées deux jonctions PN (diodes) distantes d'environ 5/100 de millimètre. Autrement dit, un transistor à jonction comprend deux jonctions PN très voisines, disposées en série et de sens opposé (en opposition). Il comprend ainsi trois parties distinctes :

- ✓ la base (B) : faiblement dopé, zone intermédiaire entre les deux jonctions
- ✓ le collecteur (C) : faiblement dopé
- ✓ l'émetteur (E) : fortement dopé.

La base peut être un semi-conducteur du type N ou P et le collecteur et l'émetteur un semi-conducteur du type P ou N. On peut avoir ainsi deux types de transistors PNP ou NPN.

- transistor NPN : une mince couche de type P (base) comprise entre deux zones de type N (collecteur et émetteur) ;
- transistor PNP : la base est une mince couche de type N comprise entre deux zones de type P (collecteur et émetteur). [1][4]

| Types  | Transistor NPN  | Transistor PNP  |
|--|---|---|
| S<br>T<br>R<br>U<br>C<br>T<br>U<br>R<br>E<br>S |   |    |
| S<br>Y<br>M<br>B<br>O<br>L<br>E<br>S           |  <p style="text-align: center;">ou</p>  |  <p style="text-align: center;">ou</p>  |
| S<br>C<br>H<br>E<br>M<br>A<br>S                |   |   |

**Tableau 3: Structures, symboles des transistors et schémas**

- $I_B$  : courant de base                       $U_{BC}$  : tension de la jonction base-collecteur  
 $I_C$  : courant du collecteur               $U_{BE}$  : tension de la jonction base-émetteur  
 $I_E$  : courant de l'émetteur               $U_{CE}$  : tension de la jonction collecteur-émetteur

➤ **Expressions de  $I_E$  et  $V_{CE}$**

Conservation du courant :  $I_E = I_B + I_C$

Loi de branche :  $U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$

➤ **Relation entre  $I_C$  et  $I_B$**

L'expression du courant de collecteur est telle que  $I_C = \beta * I_B$  où  $\beta$  est l'amplification en courant du transistor ou  $h_{FE}$  ( $20 < \beta < \text{quelques centaines}$ )

Or :  $I_B = I_E - I_C$

Donc :  $I_C = \beta * I_E - \beta * I_C$

D'où :  $I_C = \frac{\beta}{\beta + 1} * I_E$

## 2. Réseaux de caractéristiques du transistor

Pour mieux caractériser de façon complète le fonctionnement d'un transistor, il nous faut déterminer 6 grandeurs :  $I_C$ ,  $I_B$ ,  $I_E$ ,  $U_{CE}$ ,  $U_{BE}$ ,  $U_{BC}$ . Mais compte tenu des relations  $I_E = I_B + I_C$  et  $U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$ , on n'a que quatre grandeurs indépendantes. D'où, le réseau de caractéristiques d'un transistor est un ensemble de courbes traduisant les relations entre  $I_C$ ,  $I_B$ ,  $U_{CE}$ ,  $U_{BE}$ . [8][10]

### 2.1. Les montages possibles d'un transistor

Un transistor est toujours placé entre un **circuit d'entrée** (ou circuit de base ou circuit de commande) et un **circuit de sortie** (ou circuit de collecteur ou circuit commandé) parce qu'il a trois électrodes. Ainsi, chacune de ces trois électrodes peut être commune au circuit d'entrée et au circuit de sortie. De ce fait on peut distinguer trois montages possibles :

- montage à base commune (BC), généralement utilisé en haute fréquence. La patte commune aux circuits d'entrée et de sortie est donc la base ; le circuit d'entrée est branché entre la base et l'émetteur et la sortie se trouve entre la base et le collecteur. La jonction BC est polarisée en inverse et BE en directe.
- montage à collecteur commun (CC), utilisé en adaptation d'impédance. Le collecteur est commun aux circuits d'entrée et de sortie : l'entrée se trouve entre le collecteur et la base et le circuit de sortie se trouve entre l'émetteur et le collecteur. La jonction BE est polarisée dans le sens direct et BC dans le sens inverse.

- montage à émetteur commun (EC), utilisé en amplification est le plus commun. L'émetteur est un point commun à deux circuits tels que : le circuit d'entrée se trouve entre la base et l'émetteur et la sortie est branchée entre l'émetteur et le collecteur. La jonction BE est polarisée en direct et BC en sens inverse. [6][7]

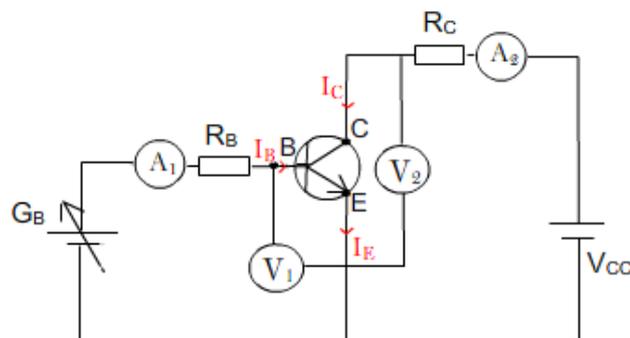
|             | Montage BC | Montage CC | Montage EC |
|-------------|------------|------------|------------|
| N<br>P<br>N |            |            |            |
| P<br>N<br>P |            |            |            |

**Tableau 4: Les 3 montages possibles des transistors NPN et PNP**

Pour un transistor NPN, l'émetteur est toujours relié à la borne négative du générateur tandis que ce d'un transistor PNP, il est toujours connecté à la borne positive du générateur. [1]

### 2.2. Montage pour l'étude du réseau de caractéristiques [16][23][24]

Le plus utilisé en électronique pratique est le montage EC donc on va étudier le cas d'un transistor bipolaire monté en EC.

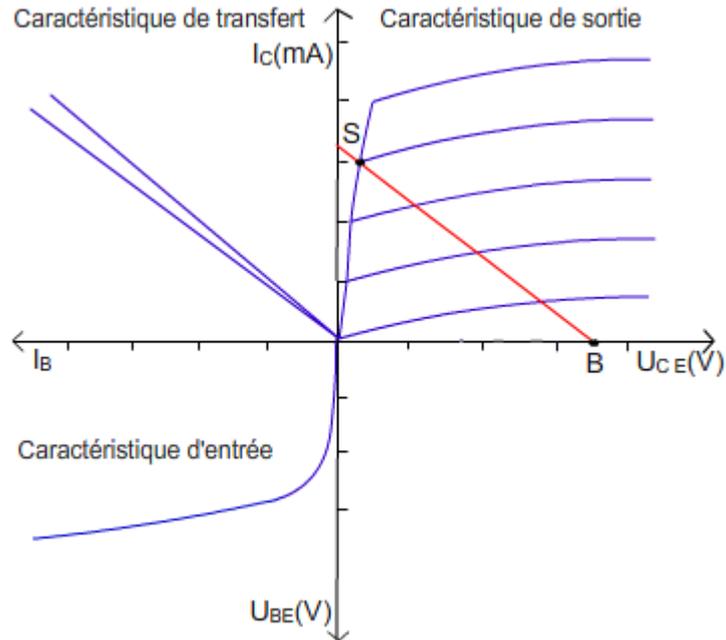


**Figure 25: Montage pour l'étude du réseau de caractéristiques d'un transistor**

$G_B$  : alimentation du circuit de commande

$V_{CC}=E$  est la tension d'alimentation du circuit commandé

L'ensemble des caractéristiques d'un transistor bipolaire étudié dans un montage comme ci-dessus est comme le montre le graphe suivant :



**Figure 26: Courbe du réseau de caractéristique d'un transistor**

- $I_C=f(I_B)$  est ce qu'on appelle **caractéristique de transfert** en courant. Pour  $U_{CE}>1V$ , elle est pratiquement linéaire et admet pour équation  $I_C = \beta * I_B$
- $I_B=f(U_{BE})$  est la **caractéristique d'entrée** qui est identique à celle d'une diode lorsque  $U_{CE}>1V$ . Et dans la zone linéaire  $U_{BE}=0,7$  à  $1V$
- Les **caractéristiques de sortie**  $I_C=f(U_{CE})$  sont sensiblement horizontales pour  $U_{CE}>1V$  et  $I_C = \beta * I_B$  quelle que soit  $U_{CE}>1V$
- $U_{BE}=f(U_{CE})$  est appelée le réseau de transfert en tension, il ne présente pas d'intérêt pratique

On a aussi, d'après la maille de sortie, l'égalité  $E = R_C * I_C + U_{CE}$  à laquelle on en

déduit  $I_C = \frac{E}{R_C} - \frac{U_{CE}}{R_C}$  l'équation de la **droite de charge**. Cette droite passe donc par les

points  $I_C = \frac{E}{R_C}$  pour  $U_{CE} = 0V$  et  $U_{CE} = E$  pour  $I_C = 0A$ . De plus, la loi de maille

appliquée au circuit d'entrée donne  $E = R_B * I_B + U_{BE}$ , ce que l'on en déduit l'équation

de la **droite d'attaque**  $U_{BE} = E - R_B * I_B$ . Cette droite passe par  $I_B = \frac{E}{R_B}$  pour

$U_{BE} = 0V$  et  $U_{BE} = E$  pour  $I_B = 0A$

### 3. Modes de fonctionnement d'un transistor

Le transistor est l'élément clef de l'électronique. C'est un composant électronique contrôlable qui permet deux types de fonctionnement :

- fonctionnement en **régime linéaire** (amplificateur de courant)
- fonctionnement en **régime de commutation** (bloqué/saturé).

Il peut amplifier un signal (amplificateur de tension, de courant, de puissance,...). Il peut être utilisé comme source de courant. De plus un transistor peut agir comme un interrupteur commandé, on parle dans ce cas d'un mémoire binaire (essentiel pour l'électronique numérique). [11] [15]

C'est grâce aux caractéristiques de sortie et à la droite de charge qu'on arrive à distinguer ces deux modes de fonctionnement du transistor bipolaire. Ainsi, le fonctionnement du transistor se déplace sur la droite de charge entre les points B et S.

#### 3.1. Fonctionnement en régime linéaire (en amplificateur)

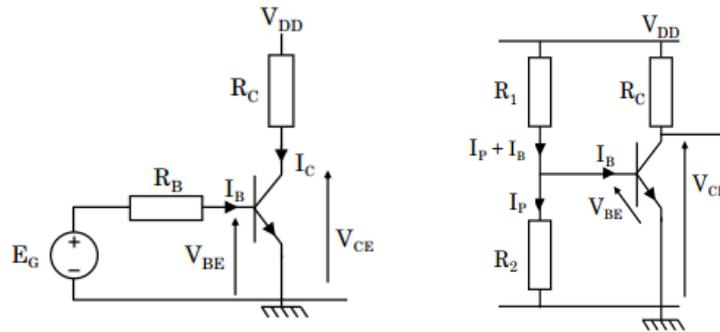
En régime linéaire, le courant du collecteur  $I_C$  est proportionnel au courant de base  $I_B$  ; Le transistor réalise une amplification du courant d'entrée  $I_B$  :  $I_C = \beta * I_B$

$\beta$  ou  $h_{FE}$  est l'amplification en courant du transistor

On le trouvera dans les circuits de commande, cela correspond à un courant de base faible.  $I_C$  varie proportionnellement à  $I_B$  mais seulement jusqu'à la limite de

saturation définie par  $I_{Csat} = \frac{U_{CC}}{R_C}$

Pour assurer le fonctionnement en ce régime linéaire, on polarise le transistor. Autrement dit on fixe les valeurs de  $I_B$ ,  $U_{BE}$ ,  $I_C$  et  $U_{CE}$  à l'aide des éléments extérieurs : alimentation et résistances. Ces valeurs sont appelées grandeurs de repos. On peut avoir différentes manières pour polariser un transistor mais prenons par exemple la polarisation « **rudimentaire** », **polarisation en pont de base**.



**Figure 27: Polarisation rudimentaire et polarisation en pont de base**

$R_B$  sert à limiter le courant de base à la valeur prescrite :  $R_B = \frac{V_{CC} - U_{chute}}{I_C} * \beta$

$I_C$  : courant souhaité dans le circuit à commander pour une saturation au minimum et  $U_{chute} = 0,6 V$  pour les transistors NPN.

### 3.2. Fonctionnement en commutation

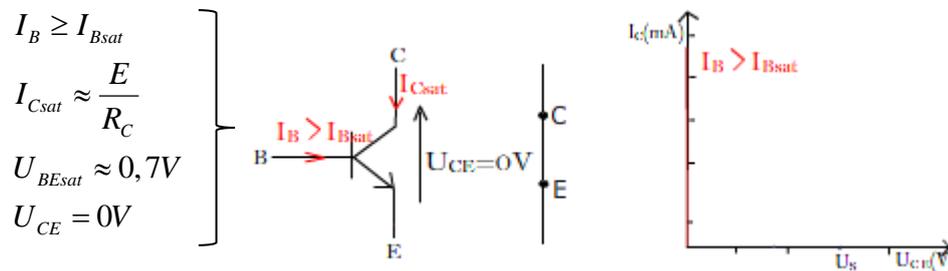
La commutation, c'est l'alternance entre l'état saturé (les deux jonctions polarisées en direct) et l'état bloqué (les deux jonctions polarisées en inverse) et inversement. En ce régime de commutation, le transistor ne peut donc être que bloqué ou saturé. Il se comporte comme un interrupteur (entre C et E) commandé par la base. Quand le transistor se comporte comme un **interrupteur ouvert**, on a l'état "bloqué" et quand il se comporte comme **interrupteur fermé**, on a l'état "passant" ou "saturé". En régime de saturation ( $I_B > I_{Bsat}$ ), il est utilisé en interrupteur commandé en courant au blocage et à l'amorçage. On le trouve dans les hacheurs et les onduleurs.

Dans un transistor utilisé comme commutateur (par exemple clignotant), la section émetteur-collecteur est utilisée comme contact et la section base-émetteur représente le circuit de commande. Le circuit de commande et le circuit de commutation ne sont pas galvaniquement séparés. Le transistor en conduction correspond au commutateur fermé, le transistor bloqué au commutateur ouvert.

#### ✓ Transistor saturé (point S de la figure 26)

Dès qu'on applique à la jonction BE une tension directe supérieure à la tension de seuil, un courant de base noté  $I_B$  va donc traverser cette jonction. Et on a aussi le passage du courant de collecteur noté  $I_C$  entre le collecteur et l'émetteur. Ce courant  $I_C$  circule entre l'émetteur et le collecteur alors qu'entre la jonction collecteur-émetteur il y a toujours une polarisation dans le sens inverse. On parle de ce fait de l'**effet transistor**.

C'est dans la partie verticale des caractéristiques de sortie qu'on choisit le point de fonctionnement. Le transistor est équivalent à un interrupteur fermé entre le collecteur et l'émetteur.

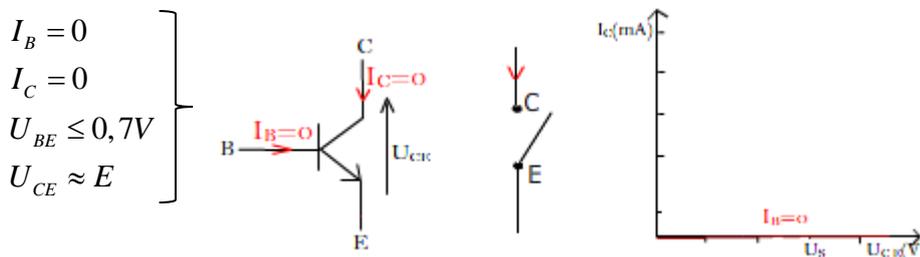


**Figure 28: Courbe d'un transistor saturé**

✓ **Transistor bloqué** (point B de la figure 26)

Aucun courant ne peut traverser entre son collecteur et son émetteur. La diode (jonction PN) base-émetteur (BE) est bloquée. Ce blocage de la jonction BE peut être causé :

- soit parce qu'elle est soumise à une tension inverse
- soit parce que cette jonction est une tension inférieure au seuil
- soit parce que la base n'est reliée à aucune source : on a une base en air.



**Figure 29: Courbe d'un transistor bloqué**

- **Le temps de commutation** : C'est le temps de passage d'un état saturé à l'état bloqué et vice versa.

**4. Les applications du transistor**

**4.1. Commutation : fonctionnement du transistor en « tout ou rien »**

Le fonctionnement en « **tout ou rien** ou **TOR** » ou bien fonctionnement en interrupteur (ou commutateur) commandé dans un montage émetteur commun consiste à « activer » la base du transistor, pour qu'elle permette au courant présent dans le collecteur, de s'écouler jusqu'à l'émetteur. Lorsque le courant de base est nul ( $I_B=0$ ), le dipôle CE (collecteur-émetteur) se comporte approximativement comme un interrupteur ouvert ( $I_C \approx 0$ ). En établissant un courant de base de valeur suffisante (mais qui reste

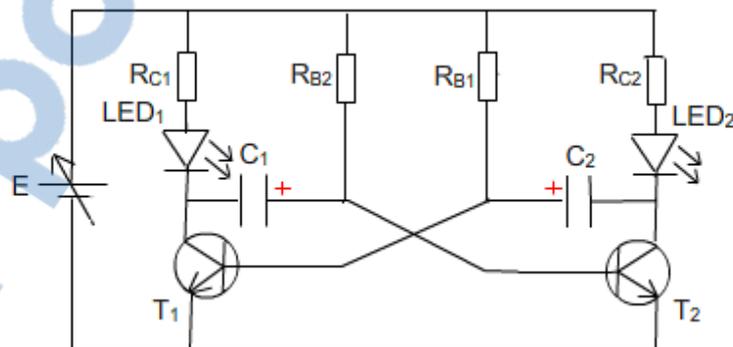
faible), nous pouvons obtenir un courant de collecteur important : le dipôle CE se comporte comme interrupteur fermé. Par analogie, si l'on compare le transistor à un robinet entier, le collecteur est l'arrivée d'eau murale, la base est la molette du robinet et l'émetteur la sortie du robinet. Ainsi, le transistor présente deux états de fonctionnements particulièrement intéressants : **bloqué** ou **saturé**. On dit qu'il fonctionne en tout ou rien. A chacun de ces états, on peut faire correspondre le chiffre 0 ou 1 : plusieurs transistors peuvent donc représenter un nombre exprimé en numérotation binaire (à base 2).

Il est donc possible de réaliser des circuits à transistors capable de faire des opérations logiques (multivibrateurs, par exemple). En raison de ces propriétés, le transistor est utilisé pour construire des machines capables de faire rapidement des opérations parfois très complexes : les calculatrices, les ordinateurs,.....

### ➤ Multivibrateurs

Un multivibrateur est un des montages logiques le plus particulier qui se divise en trois types caractérisés par la stabilité de leurs 2 états logiques de sorti :

- ❖ Multivibrateur bistable ; ce circuit possède deux états stables
- ❖ Multivibrateur monostable ; circuit à 1 état stable et 1 autre métastable (quasi-stable)
- ❖ Multivibrateur astable ; circuit logique à 2 états métastables entre lesquels la sortie oscille continuellement.



**Figure 30: Multivibrateur astable : Clignotant**

Les 2 lampes LED clignotent automatiquement parce que les transistors  $T_1$  et  $T_2$  fonctionnent en commutation et se comportent comme deux interrupteurs qui s'ouvrent et qui se ferment périodiquement sans être commandé par un opérateur. Quand  $T_1$  **saturé**, il se comporte comme un interrupteur fermé et **la LED 1 s'allume**, parallèlement,  $T_2$  **bloqué** se comporte comme un interrupteur ouvert donc **la LED 2 est**

**éteinte**. Après le système bascule, autrement dit  $T_1$  devient **bloqué** donc la **LED 1 est éteinte** et  $T_2$  **saturé** implique **LED 2 allumée**. Le cycle recommence jusqu'à ce que l'on coupe l'alimentation.

La vitesse de ce clignotement dépend des temps de charges (durée de saturation des 2 transistors) et décharges (durée de blocage des 2 transistors) des 2 condensateurs  $C_1$  et  $C_2$  à travers les résistors de base  $R_{B1}$  et  $R_{B2}$ . Ainsi, on peut augmenter la vitesse de clignotement en diminuant les valeurs des résistances (sans modifier  $C_1$  et  $C_2$ ) ou diminuant celles des condensateurs (sans modifier  $R_{B1}$  et  $R_{B2}$ ). Et inversement, on peut diminuer cette vitesse de clignotement en augmentant indépendamment ces différentes valeurs.

On a un état logique stable quand le circuit reste indéfiniment dans cet état tant que l'on ne coupe pas l'alimentation et que l'on active sur une entrée particulière appelée « **déclenchement** » ou « **trigger** » destinée à provoquer le passage dans un autre état. Tandis qu'un système est dans son état logique métastable ou quasi-stable lorsque le circuit ne reste pas dans cet état que temporairement mais passe spontanément dans son autre état.

#### **4.2. Amplification**

Lorsque le gain en courant est  $\beta$ , une variation du courant de base d'une petite quantité ( $\Delta I_B$ ) produit une variation du courant de collecteur ( $\Delta I_C = \beta \cdot \Delta I_B$ ) beaucoup plus grande. On dit qu'elle est amplifiée. Mais il y a des conditions sur le fonctionnement d'un transistor en amplificateur :

- ✓ La jonction base-émetteur doit être polarisée en directe et la tension  $U_{BE}$  doit être faible ( $0,2 < U_{BE} < 0,8$  V)
- ✓ La jonction base-collecteur doit être polarisée en inverse
- ✓ On doit stabiliser un transistor afin de fixer son point de fonctionnement, c'est-à-dire, faire en sorte que  $I_B$ ,  $I_E$ ,  $I_C$  ne varient pas lors du fonctionnement du transistor
- ✓ Les résistances fixent le point de fonctionnement
- **Petit amplificateur Basse fréquence (BF)**

Le faible courant électrique qui passe à travers notre doigt (via SENS) va être amplifié par le transistor et la lampe LED ou DEL s'allumera.

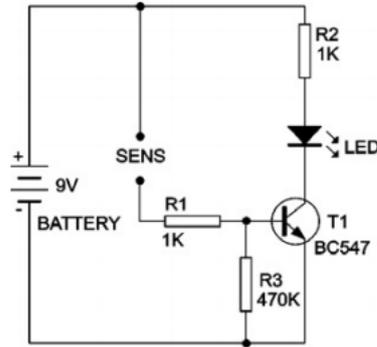


Figure 31: Transistor pour amplificateur de courant

#### 4.3. Systèmes d'automatismes

##### ➤ Capteur de température

Quand on touche avec le doigt le capteur de température, les variations de température sont démontrées par la luminosité des lampes LED. Le courant qui traverse la résistance de  $1k\Omega$  est répliqué dans les deux transistors et réapparaît avec la valeur pratiquement identique sous forme de courant de collecteur. On a un miroir de courant.

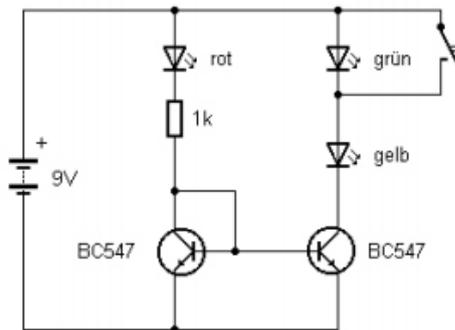


Figure 32: Miroir de courant ou Détecteur de température

##### ➤ Détecteur de lumière

Tant que suffisamment de lumière touche la photorésistance LDR, la lampe LED s'illumine. Et dans l'obscurité, donc, la LED est éteinte parce que la LDR aura une résistance élevée qui ne permet pas au transistor de commuter. Ce type de montage est utilisé dans les commandes automatiques de l'éclairage public.

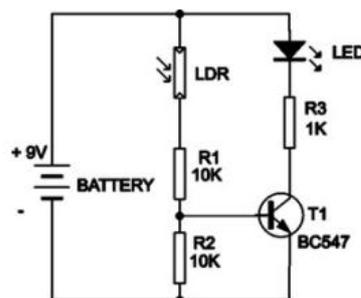
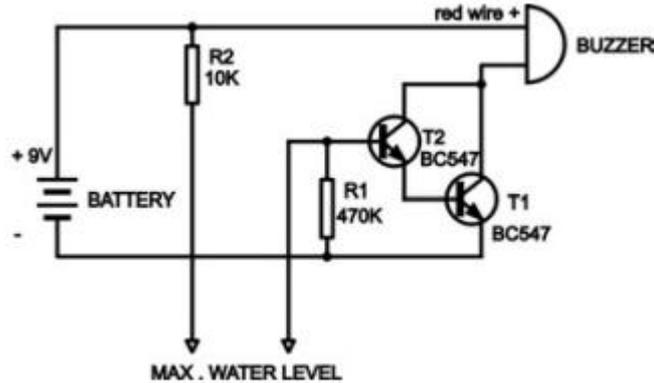


Figure 33: Détecteur de lumière



➤ **Détecteur de niveau de liquide conducteur**

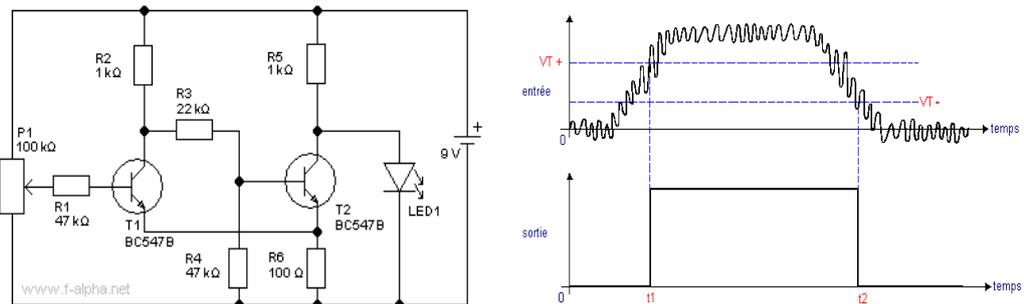
Tant que le niveau de liquide n'atteint pas encore les électrodes (sur max. water level), l'interrupteur est ouvert. Donc l'arrivée du liquide au niveau des électrodes ferme le circuit et le buzzer (petit haut-parleur) sonne.



**Figure 34: Détecteur de niveau de liquide**

➤ **Comparateur à hystérésis ou Trigger de Schmitt**

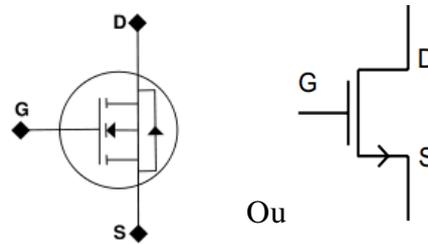
Le Trigger de Schmitt est un montage qu'on appelle aussi **bascule à seuils**, il permet la mise en forme des signaux électriques mais ne les génère pas. En effet, sans le trigger de Schmitt, si on a une fluctuation de tension d'entrée (due aux parasites ou aux bruits) il y a basculement d'un système d'un certain nombre de fois avant de se figer dans un état voulu. Mais avec un comparateur à hystérésis ou trigger de Schmitt, le système n'oscille pas si l'écart entre les seuils est supérieur à l'amplitude des fluctuations du signal d'entrée. On peut dire que la sortie du trigger ne peut avoir que deux états possibles et elle passe de l'un à l'autre pour deux niveaux de la tension d'entrée selon que la variation de tension est croissante ou décroissante.



**Figure 35: Trigger de Schmitt et évolution des tensions d'entrée et sortie**

A part les transistors bipolaires, on rencontre également des transistors à effet de champ (TEC, ou FET pour Field Effect Transistor), possédant trois électrodes comme les transistors bipolaires : la grille "G" ou porte, le drain "D" correspondant au

collecteur et la source "S" à l'émetteur. Les transistors à effet de champ présentent une fragilité aux champs électrostatiques plus grands que les transistors bipolaires.



**Figure 36: Symboles d'un transistor à effet de champ**

G : grille ou porte

D : drain, comme collecteur

S : source

## II. LES MULTIVIBRATEURS

[2] [4] [6] [15] [16] [20]

Un multivibrateur est un générateur de signaux périodiques non sinusoïdaux. Le bon fonctionnement des systèmes numériques nécessite le plus souvent de ces multivibrateurs dits de **références temporelles**. Un montage multivibrateur est ainsi un circuit électronique permettant de générer des impulsions uniques (multivibrateur monostable ou **temporisateur** ou « **timer** ») ou des suites d'impulsions (multivibrateur astable ou **oscillateur** ou « **signal d'horloge** »). Tout multivibrateur comporte obligatoirement les organes suivants: un élément actif (le transistor, l'amplificateur opérationnel, les portes logiques etc...), un organe qui accumule de l'énergie (le condensateur) et un organe qui dissipe de l'énergie (résistance). En fonction de l'élément actif, on distingue les multivibrateurs à transistors bipolaires, les multivibrateurs à porte logiques (TTL, Transistor Transistor Logique ou CMOS, Complementary Metal Oxyde Semiconductor de types trigger de Schmitt), les multivibrateurs à amplificateurs opérationnels et enfin les multivibrateurs à circuit intégré (NE555, LM555, 74121,...).

Les transistors bipolaires peuvent être ainsi utilisés dans les multivibrateurs. Les multivibrateurs sont généralement utilisés dans le domaine de l'informatique pour la production des signaux électriques (signaux d'horloge, compteurs,...). Ce sont des montages qui permettent de générer en sortie une tension rectangulaire donc les niveaux hauts et bas sont plus ou moins stables. En fonction de cette stabilité, on distingue les

multivibrateurs astables, les multivibrateurs monostables et les multivibrateurs bistables. Les multivibrateurs astables sont des **autos-oscillateurs** ; ils engendrent les vibrations de lui-même sans être déclenché par des commandes extérieures. Autrement dit, ils ne reçoivent aucune impulsion de l'extérieur. Tandis que les monostables et les bistables sont les **oscillateurs de déclenchement**. Ainsi, pour que notre étude théorique soit bel et bien convenable à notre exploitation en travaux pratiques en classe secondaire, on va cerner sur l'étude des multivibrateurs astables. [1] [13] [23]

### A. Multivibrateur astable à transistors bipolaires

Le multivibrateur astable est un oscillateur, il délivre deux signaux carrés en opposition de phase sur les collecteurs des transistors. Le montage multivibrateur astable pourra être utilisé dans de nombreuses applications comme « **signal d'horloge** » qui sert à cadencer le fonctionnement d'un microprocesseur et d'un onduleur, comme sonnerie de porte et sirènes, indicateur de remplissage, calculatrices ou comme **feu clignotant** (à faire clignoter une diode électroluminescente),...Ce feu clignotant est l'objet de nos études puisque, sans doute, tout le monde a déjà vu un clignotant de voiture.

#### 1.Rôle et constitution

La tension de sortie  $u_s(t)$  du multivibrateur est une tension en créneaux de période  $T$  réglable par modification de  $R$  ou  $C$ . Cette période varie légèrement avec les paramètres extérieurs (température,...) mais peut être considérée comme constante avec une bonne approximation. L'appareil constitue donc une **horloge électronique**.

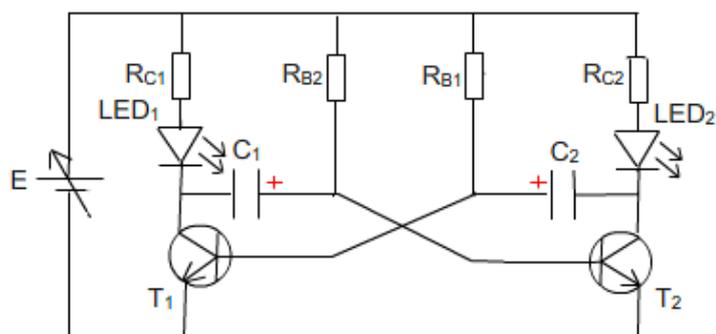
#### 2.Principe et fonctionnement

Dans un multivibrateur astable, deux transistors  $T_1$  et  $T_2$  sont couplés par l'intermédiaire de deux condensateurs  $C_1$  et  $C_2$ , chacun étant branché entre la base d'un transistor et le collecteur de l'autre (figure 37). Autrement dit le circuit de sortie de  $T_2$  est relié au circuit d'entrée de  $T_1$  par une liaison capacitive  $C_2$  et réciproquement le circuit de sortie de  $T_1$  est relié au circuit d'entrée de  $T_2$  par un condensateur  $C_1$ . Les résistances des collecteurs  $R_{C1}$  et  $R_{C2}$  sont beaucoup plus faibles que les résistances des bases  $R_{B1}$  et  $R_{B2}$ .

A la mise sous tension, un des deux transistors se sature le premier, supposons que c'est  $T_1$  qui se sature le premier.  $T_1$  saturé (ou le signal est dans son **état bas**), donc le potentiel  $V_{B1}$  de sa base devient légèrement positif et le potentiel  $V_{C1}$  de son collecteur diminue brutalement de  $U$  (ou  $V_{cc}$  tension de l'alimentation) à  $0$  V. Une impulsion de tension négative est donc générée sur ce collecteur de  $T_1$ . Tandis que pour

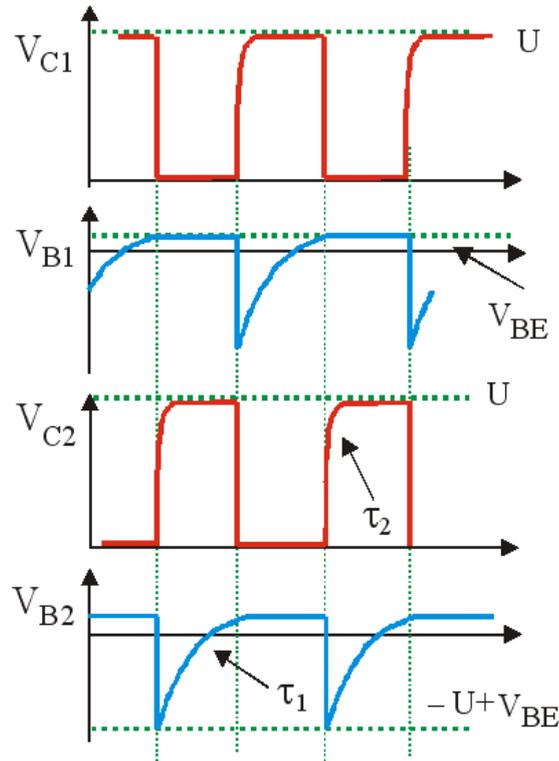
$T_2$ , le potentiel  $V_{B2}$  de sa base passe de  $0,7\text{ V}$  à  $(0,7\text{ V} - U)$  car la charge du condensateur  $C_1$  n'a pas le temps de varier pendant la durée de la transition (figure 38). Dans ce cas, ce potentiel de sa base devenant négatif bloque  $T_2$  (le signal est dans son **état haut**) et le potentiel  $V_{C2}$  de son collecteur tend vers  $U$  car le condensateur  $C_2$  se charge rapidement avec la constante de temps  $\tau_2 = R_{C2} * C_2$  à travers la charge de  $T_2$  ( $R_{C2}$ ) et la jonction base-émetteur de  $T_1$  (qui est encore, en ce temps, saturé parce que le potentiel de la base de  $T_1$  légèrement positif maintient sa saturation). Après le blocage de  $T_2$ , le potentiel de sa base  $V_{B2}$  croît de  $(0,7\text{ V} - U)$  à  $0,7\text{ V}$  avec une constante de temps  $\tau_1 = R_{B2} * C_1$  puisque le condensateur  $C_1$  se charge à travers  $R_{B2}$  et la jonction collecteur-émetteur de  $T_1$  qui est saturé. LED 1 allumée et LED 2 éteinte. Et dès que  $V_{B2}$  atteint le seuil de conduction de la jonction base-émetteur (ou tension de seuil,  $V_{BE} \approx 0,7\text{V}$ ), le système **bascule** vers son autre état :  $T_1$  bloqué (signal dans son **état haut**) et  $T_2$  saturé (signal dans son **état bas**). Autrement dit, la diminution du potentiel  $V_{C2}$  de collecteur de  $T_2$  induit (via  $C_2$ ) une tension négative sur la base de  $T_1$  qui se bloque donc LED 1 éteinte et LED 2 allumée. Le cycle recommence et on dit que le circuit multivibrateur astable oscille entre ces deux états de transistor  $T_1$  et  $T_2$ .

En résumé, quand un transistor est bloqué le potentiel de sa base  $V_B$  devient positif mais reste toujours  $V_B \leq 0,7$  et la tension de sortie ou tension de la jonction collecteur-émetteur est  $U_{CE} = U$  (**état haut**). Tandis que pour un transistor saturé :  $V_B = 0,7\text{ V}$  et  $U_{CE} = 0$  (**état bas**).



**Figure 37: Clignotant**

La saturation des transistors est très rapide tandis que le blocage est progressif à cause de la durée de charge des condensateurs à travers les résistances de collecteurs.



**Figure 38: Evolution des potentiels de bases et collecteurs de T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub>**

### 3. Période T du multivibrateur astable et fréquence d'oscillation f du signal

On prend comme origine de temps l'instant à lequel T<sub>1</sub> est dans son **état haut** (**saturé**) et on suppose que la tension de seuil V<sub>BE</sub> de conduction de la jonction base-émetteur et la tension de saturation des transistors sont nulles.

Lorsque t=0, T<sub>1</sub> vient de se saturer, donc le potentiel de son collecteur est devenu proche de 0 (chute de U). En conséquent, en même temps, le potentiel de l'armature de C<sub>1</sub> chute de U à 0-U=-U.

#### 3.1. Equation de charge de C<sub>1</sub>

On sait que C<sub>1</sub> se charge à travers R<sub>B2</sub>, donc son équation de charge est :

$$R_{B2} * i(t) + u(t) = U \quad \text{Avec : } i(t) = \frac{dQ}{dt} = C_1 \frac{du(t)}{dt}$$

$$\text{Donc : } R_{B2} * C_1 \frac{du(t)}{dt} + u(t) = U \quad \text{ou } R_{B2} * C_1 \frac{du(t)}{dt} + u(t) - U = 0 \quad (1)$$

$$\text{Posons : } x = u - U \quad \text{et à } t=0 : u(0) = -U \quad \text{Donc : } x = -2U$$

$$(1) \text{ Devient : } R_{B2} * C_1 \frac{dx}{dt} + x = 0$$

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{x}{R_{B2} * C_1} \quad (\text{Intégrons membre à membre})$$

$$\ln x = -\frac{t}{R_{B2} * C_1} + cste$$

$$x = A * e^{-\frac{t}{R_{B2} * C_1}}$$

A  $t=0$  :  $x = -2U$  Donc :  $A = -2U$

Ainsi :  $x = -2U * e^{-\frac{t}{R_{B2} * C_1}}$  et  $u(t) = x + U = U - 2U * e^{-\frac{t}{R_{B2} * C_1}}$

D'où :  $u(t) = U(1 - 2e^{-\frac{t}{R_{B2} * C_1}})$  est l'équation de charge de  $C_1$  (équation (2))

### 3.2. Temps de charge de $C_1$ ou temps de mise en saturation de $T_1$ : $t_1$

$t_1$  est le temps de charge nécessaire au condensateur  $C_1$  pour qu'un changement d'état significatif du transistor  $T_1$  ait lieu (passera dans son **état bas** ou **bloqué**).

Au temps  $t_1$  définie par  $u(t_1) = U_{B2} = 0$ , le système bascule donc dans son autre état ( $T_1$  bloqué et  $T_2$  saturé).

$$(2) \text{ Devient : } u(t_1) = U(1 - 2e^{-\frac{t_1}{R_{B2} * C_1}}) = 0$$

$$1 - 2e^{-\frac{t_1}{R_{B2} * C_1}} = 0$$

$$e^{-\frac{t_1}{R_{B2} * C_1}} = \frac{1}{2}$$

$$-\frac{t}{R_{B2} * C_1} = \ln \frac{1}{2}$$

$$t_1 = R_{B2} * C_1 * \ln 2 \text{ Car } \ln\left(\frac{1}{a}\right) = \ln(a^{-1}) = -\ln a$$

D'où : le temps de mise en saturation de  $T_1$  ou temps mis par l'armature du condensateur  $C_1$  pour atteindre 0,7 V s'écrit :  $t_1 = \ln 2 * R_{B2} * C_1$

Sachant qu'il y a 2 changements d'état dans chaque cycle de période  $T$ . Autrement dit, pour avoir la période  $T$  du multivibrateur, on doit considérer aussi l'**état bas** du transistor  $T_1$  ou l'**état haut** du transistor  $T_2$ . De ce fait la période  $T$  est définie par  $T = t_1 + t_2$  où  $t_2$  est le temps de mise en saturation du transistor  $T_2$  ou temps mis par l'armature du condensateur  $C_2$  pour atteindre 0,7 V.

Pendant  $T_2$  saturé, le condensateur  $C_2$  se charge à travers  $R_{B1}$ , donc on part de  $R_{B1} * i(t) + u(t) = U$  pour trouver son équation de charge (avec  $i(t) = C_2 \frac{du(t)}{dt}$ )

Ainsi les calculs seront les mêmes que précédemment afin de trouver les solutions de cette équation différentielle.

D'où :  $u(t) = U(1 - 2e^{-\frac{t}{R_{B1} * C_2}})$  est l'équation de charge de  $C_2$

Et :  $t_2 = \ln 2 * R_{B1} * C_2$  est le temps de mise en saturation de  $T_2$  ou temps mis par l'armature du condensateur  $C_2$  pour atteindre 0,7 V.

D'où la période d'oscillation de notre multivibrateur astable est :

$$T = t_1 + t_2 = \ln 2 * R_{B2} * C_1 + \ln 2 * R_{B1} * C_2$$

Dans la pratique, en supposant que  $R_{B1} = R_{B2} = R$  et  $C_1 = C_2 = C$ , donc la période  $T$  devient  $T = 2R * C * \ln 2$  et la fréquence d'oscillation  $f$  du signal obtenu définie par

$$f = \frac{1}{T} \text{ est : } f = \frac{1}{2R * C * \ln 2}$$

#### 4. Résultats et interprétation

Sur chaque collecteur de transistors  $T_1$  et  $T_2$ , on obtient aussi un signal de sortie rectangulaire en opposition de phase sur l'écran d'un oscilloscope (figure 38). On dit qu'on dit que les 2 transistors de ce multivibrateur astable génèrent en sortie des signaux TOR (**tout ou rien**) : signaux périodiques non sinusoïdaux en l'**absence de source périodique**. Ce multivibrateur joue donc le même rôle qu'un générateur à basse fréquence (GBF), c'est le **cœur des GBF**.

Les lampes LED ou DEL clignotent parce que les transistors  $T_1$  et  $T_2$  fonctionnent en commutation et se comportent comme deux interrupteurs qui s'ouvrent et qui se ferment périodiquement sans être commandé par un opérateur. Le clignotant est un multivibrateur astable. En effet quand  $T_1$  est **saturé** le signal de sortie  $U_{CE1}$  ou  $V_{C1}$  est dans son **état bas** (figure 38) ;  $T_1$  se comporte comme un interrupteur fermé donc **la LED 1 s'allume**, parallèlement,  $T_2$  **bloqué** est prouvé par le signal de sortie  $U_{CE2}$  ou  $V_{C2}$  dans son **état haut** (figure 38) ;  $T_2$  se comporte comme un interrupteur ouvert donc **la LED 2 est éteinte**. Après le système bascule, autrement dit  $T_1$  devient **bloqué** donc **la LED 1 est éteinte** et  $T_2$  **saturé** implique **LED 2 allumée**. Le cycle

recommence entre ces 2 états des transistors jusqu'à ce que l'on coupe l'alimentation, on dit que le multivibrateur oscille.

## B. Multivibrateurs astables à inverseurs logiques : à portes logiques NON

### 1. Porte logique NON

Une porte logique est un dispositif électronique qui donne à sa sortie un signal électrique dont l'état (haut ou bas), dépend du signal d'entrée. On distingue plusieurs portes logiques mais la plus simple entre elles est la « **fonction logique NON** ».

Une porte logique NON ne comporte qu'une seule borne d'entrée  $e$  et une seule borne de sortie  $s$ . La tension de sortie  $u_s$  est commandée par la tension  $u_e$  appliquée à l'entrée  $e$ .



Figure 39: Symboles d'une porte logique européenne et américaine

#### 1.1. Fonctionnement d'une porte NON

##### ➤ Caractéristique de transfert

La caractéristique de transfert est la représentation graphique de l'évolution de la tension de sortie  $u_s$  en fonction de la tension d'entrée  $u_e$ . La porte NON est caractérisée par:

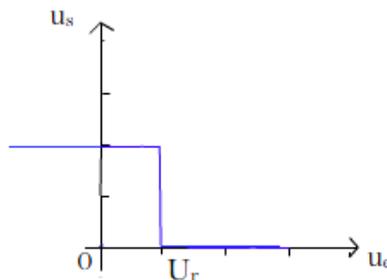
- une tension d'entrée  $u_e$  inférieure à une tension  $U_r$  dite « de basculement » qui commande une tension de sortie  $u_s$  égale à la tension d'alimentation :  $u_s = E$ .
- une tension d'entrée  $u_e$  supérieure à la « tension de basculement »  $U_r$  qui commande une tension de sortie  $u_s$  nulle :  $u_s = 0$ .

Ces propriétés sont résumées dans le tableau suivant :

| $u_e$   | $u_s$ |
|---------|-------|
| $< U_r$ | $E$   |
| $> U_r$ | $0$   |

Tableau 5: Propriétés d'une porte NON

La tension de basculement  $U_r$  est voisine de  $\frac{E}{2}$ .



## Figure 40: Caractéristique de transfert d'une porte NON

### 1.2. Etats logiques d'une porte NON

Une tension d'entrée supérieure à  $U_r$  est dite à l'état haut, qui se représente par un « état logique 1 ». Tandis qu'une tension d'entrée inférieure à  $U_r$  est dite à l'état bas, qui se représente par un « état logique 0 ». Et quant à la tension de sortie, elle ne peut être qu'égal à 0 ou E, c'est-à-dire en état logique 0 ou 1. Les états logiques d'une porte NON sont ainsi données par le tableau suivant, appelé aussi table de vérité :

| e | s |
|---|---|
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |

Tableau 6: Table de vérité d'une porte NON

### 2. Multivibrateur astable à portes NON

Si l'entrée est à l'état bas, la sortie est à l'état haut et inversement. En d'autres termes, une tension d'entrée haute donne une tension de sortie NON haute et une tension d'entrée basse donne une tension de sortie NON basse. Cela justifie la dénomination de porte NON. Le système est dit inverseur.

Soit le montage représenté par la figure 41, les notations utilisées y sont indiquées.

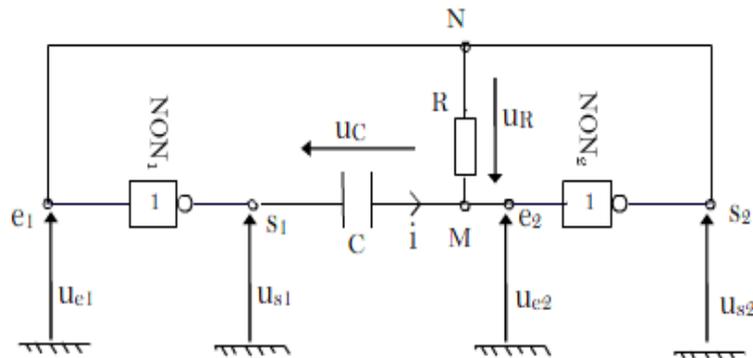


Figure 41: Multivibrateur astable à portes NON

#### 2.1. Principe de fonctionnement du montage

Sachant d'abord que toutes les tensions évaluées à partir du fil de masse sont numériquement égales aux potentiels des points considérés. Et que lorsque la sortie d'une porte NON est dans l'état haut, son potentiel est égal à E (tension de l'alimentation qui n'est pas représentée, en général) et lorsqu'elle est dans l'état bas, son potentiel est nul. On dit que les 2 portes NON sont montées en **inverseurs**.

L'entrée  $e_1$  de NON 1 est toujours au même potentiel que la sortie  $s_2$  de NON 2, car elles sont reliées par un simple fil passant par N. Les potentiels de  $e_1$  et  $s_2$  ne peuvent donc être que E ou 0, celui de  $s_1$  étant alors 0 ou E : si  $s_1$  est à l'état haut,  $s_2$  est à l'état bas et inversement.

Le potentiel de l'entrée  $e_2$  est évolutif par suite de la présence du condensateur. En supposant que ce condensateur est initialement non chargé,  $s_1$  à l'état haut (donc  $e_1$  et  $s_2$  à l'état bas) et  $e_2$  à l'état haut, le système évolue ensuite de la façon suivante :

- Courant d'intensité positive, qui charge le condensateur et passe de M vers N à travers le conducteur ohmique (résistor) ;
- Décroissance de ce courant de charge et, par suite, de la tension  $u_R = V_M - V_N = R * i$  ; N est au potentiel 0 comme  $s_2$ . Par suite, le potentiel haut de M diminue.
- Lorsque le potentiel en M atteint en décroissant la tension la tension  $U_r$  la porte NON 2 bascule :  $s_2$  passe à l'état haut (de même  $e_1$ ), et le potentiel de  $s_1$  passe de E à 0.
- La chute de tension en  $s_1$  se répercute immédiatement en M (ou  $e_2$ ), qui passe de  $U_r$  à  $U_r - E$ .
- Le sens du courant s'inverse : le condensateur se décharge, jusqu'à ce qu'un autre basculement se produise : le système est donc **astable**.

## 2.2.Mise en équation

Il s'agit ici d'établir l'équation différentielle à laquelle obéit le dipôle R, C qui environne les deux portes NON. En tenant compte des conventions de notations

indiquées  $u_R = R * i = R \frac{dq}{dt} = R * C \frac{du_C}{dt}$  (1).

Pour la maille (masse- $s_1$ MN $s_2$ -masse) :  $u_{s_1} - u_C - u_R - u_{s_2} = 0$ , ce qui donne  $u_C + u_R = u_{s_1} - u_{s_2}$  (2)

Deux cas sont à envisager :

- La sortie  $s_1$  est dans l'état bas :  $u_{s_1} = 0$ . L'entrée  $e_1$  de la porte NON 1 est donc dans l'état haut, ainsi que la sortie  $s_2$  :  $u_{s_2} = E$ . Dans ce cas,  $u_C + u_R = -E$  d'après (2).

- La sortie  $s_1$  est dans l'état haut :  $u_{s1} = E$ . L'entrée  $e_1$  de la porte NON 1 est donc dans l'état bas, ainsi que la sortie  $s_2$  :  $u_{s2} = 0$ . Et dans ce cas, d'après (2)  $u_C + u_R = E$ .

Alors en remplaçant  $u_R = R * C \frac{du_C}{dt}$  (d'après (1)) dans (2), l'équation différentielle que

nous cherchons est :  $u_C + R * C \frac{du_C}{dt} = \pm E$  (I)

Cette équation est analogue à celle d'un dipôle R,C soumis à une tension en créneaux. Les tensions possibles aux bornes de ce dipôle R,C en multivibrateur astable sont donc E ou -E mais ce qui n'est pas le cas dans un dipôle R,C soumis à une tension en créneaux, elles sont E (pour la charge du condensateur) et 0 (pour la décharge).

La solution générale de cette équation différentielle (I) s'écrit :

$$u_C(t) = u_{Ci} * e^{-\frac{t}{\tau}} + u_{Cf} * (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad \text{(II)}$$

Avec  $\tau = R * C$

### 2.3.Période du multivibrateur astable à porte NON

- **Evolution des potentiels aux différents points du circuit**

Les portes sont alimentées, supposons que la sortie  $s_2$  est dans son **état haut** :  $u_{s2} = u_{e1} = E$  donc  $u_{s1} = 0$  et  $u_{e2} < U_r$  ( $s_1$  à l'état bas). Dans ce cas, pour le circuit RC on a  $u_C + R * C \frac{du_C}{dt} = E$ . Autrement dit, le condensateur se charge sous la tension E :  $u_C = u_{e2}$  et  $u_C$  tend vers E mais passe donc par la valeur de la tension de basculement  $U_r$  qui va provoquer le basculement des deux inverseurs.

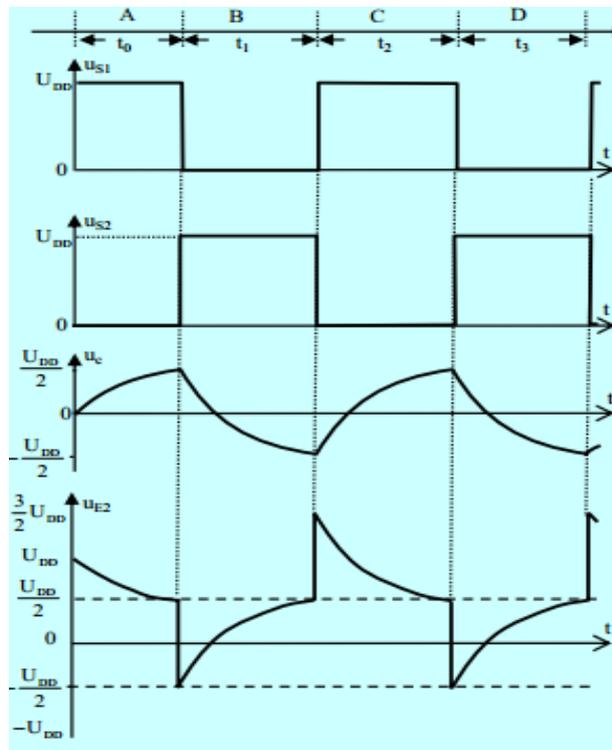
Dès que  $u_{e2} > U_r$  à l'instant  $t_0$  :  $u_{s2} = u_{e1} = 0$  donc  $u_{s1} = E$ . Une nouvelle situation apparaît ainsi en ce moment :  $s_2$  à l'état bas et  $s_1$  à l'état haut (situation (1)). A l'origine de cette nouvelle situation, nous prenons comme son instant zéro le moment

où le condensateur est chargé de  $(u_C)_0 = \frac{E}{2}$  et  $u_{e2} = \frac{E}{2}$ . Après le basculement des

portes, on peut donc écrire :  $u_C + R * C \frac{du_C}{dt} = -E$  avec  $u_{e2} = u_C + E$ . La tension  $u_C$

évolue ainsi exponentiellement de  $\frac{E}{2}$  vers la valeur finale  $-E$ .

Mais dès que  $u_{e2}$  franchit la valeur  $U_r = \frac{E}{2}$  à l'instant  $t_1$ , une deuxième nouvelle situation apparait (situation (2)) dû au basculement de la porte NON 2 qui entraine celui de la porte NON 1. A l'origine de cette situation (2), en  $t_1$ , le condensateur est chargé de  $(u_C)_0 = -\frac{E}{2}$ . Mais juste après, à l'instant  $t_2$  défini par  $u_C = u_{e2}$ , on a  $u_{s2} = u_{e1} = E$  donc  $u_{s1} = E$  et  $u_C + R * C \frac{du_C}{dt} = E$ . Le condensateur se charge ainsi sous la tension  $E$  depuis la valeur  $-\frac{E}{2}$ . Et quand  $u_C = u_{e2}$  franchit la limite  $U_r = \frac{E}{2}$ , on a un nouveau basculement, autrement dit, on revient à la situation (1) et ainsi de suite....



**Figure 42: Evolution des potentiels aux différents points du circuit**

En faisant l'étude dans les différentes phases A (phase transitoire), B, C et D (identique à B) avec  $U_{DD} = E$  la tension d'alimentation et en se vêtir de l'équation  $u_C(t) = u_{Ci} * e^{-\frac{t}{\tau}} + u_{Cf} * (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ , la durée de l'état bas de la sortie  $s_1$  est  $t_1 = RC \ln\left(\frac{2E - U_r}{E - U_r}\right)$  et celui de son état haut est  $t_2 = RC \ln\left(\frac{E + U_r}{U_r}\right)$ . La période de notre multivibrateur est donc  $T$  tel que  $T = t_1 + t_2$  :

$$T = RC \left( \ln \frac{2E - U_r}{E - U_r} + \ln \frac{E + U_r}{U_r} \right)$$

Mais la période de ce type de multivibrateur peut se simplifier, dans le cas où  $U_r = \frac{E}{2}$

$$T = 2RC \ln 3$$

### C. Multivibrateurs astable à circuit intégré NE555

#### 1. Circuit intégré (CI ou IC) NE555

Le NE555 est un circuit intégré à 8 bornes (broches), spécialement conçu pour générer un signal rectangulaire (générateur d'horloge, cas du multivibrateur astable) ou pour réaliser des impulsions à durée précise (générateur d'impulsion, cas du multivibrateur monostable). Autrement dit, le NE555 est fait pour la temporisation ou en mode multivibrateur. Il a été créé en 1970 par Hans R. Camenzind mais n'est commercialisé qu'en 1971 par Signetics.

On peut alimenter le NE555 par une tension d'alimentation  $V_{CC}$  variant de 4,5 à 16 V (donc compatible avec les circuits logiques TTL et CMOS), et le NE555 peut fournir en sortie un courant allant jusqu'à 200 mA.

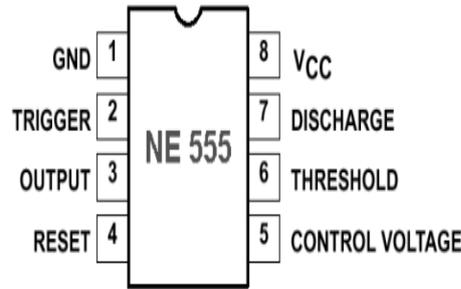


**Figure 43: Schéma du CI NE555**

#### ➤ Brochage de NE555

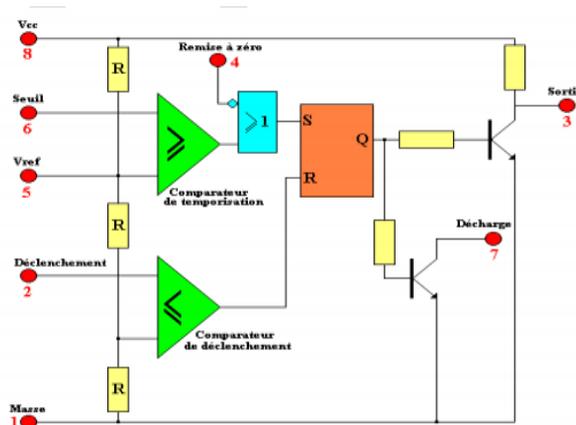
Le NE555 contient 23 transistors, 2 diodes et 16 résistances qui forment 4 éléments :

- ✓ Deux amplificateurs opérationnels (A.O.) de type comparateur
- ✓ Une porte logique de type inverseur
- ✓ Une bascule SET-RESET



**Figure 44: Symbole schématique de NE555**

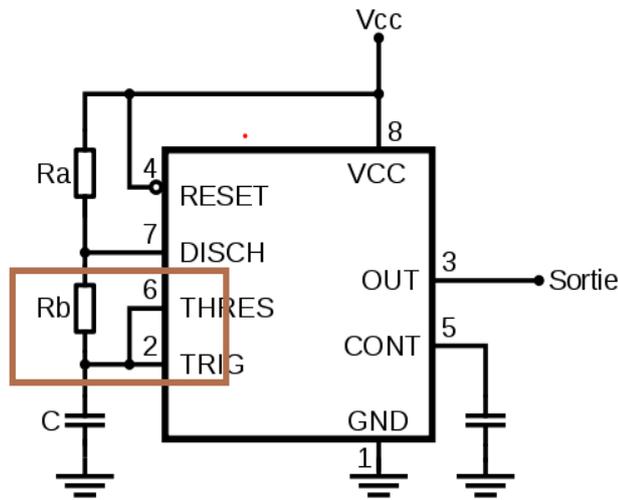
- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> : GND ou masse  | <b>5</b> : CONTROL VOLTAGE ; accès à la       |
| <b>2</b> : TRIGGER ou gâchette, elle   | référence interne ( $2/3$ de $V_{CC}$ )       |
| amorce (déclenche) la temporisation  | <b>6</b> : THRESHOLD ; signale la fin de      |
| et la détecte lorsque la tension est   | temporisation lorsque le signal dépasse $2/3$ |
| inférieure à $1/3$ de $V_{CC}$   | de $V_{CC}$                                   |
| <b>3</b> : OUTPUT ; signal de sortie   | <b>7</b> : DISCHARGE ; borne servant à        |
| <b>4</b> : RESET; remise à zéro, décharger le condensateur de temporisation. | interruption de la temporisation              |
|  | <b>8</b> : $V_{CC}$ ou tension d'alimentation |



**Figure 45: Schéma synoptique (ou fonctionnel) du CI NE555**

## **2. Le circuit intégré NE555 en astable**

Le CI NE555 est branché pour fonctionner en multivibrateur astable dans la figure suivante :



**Figure 46: Multivibrateur astable à NE555**

### 2.1.Fonctionnement du montage

Initialement, le condensateur  $C$  est déchargé :  $V_6=0$  et  $V_2=0$ , et le transistor du NE555 est bloqué. Mais une fois qu'on a mis sous tension le circuit (à  $t_0$ ), la charge du condensateur se fait à travers les deux résistances  $R_a$  et  $R_b$  parce que ces deux dernières sont en série avec  $C$ .  $C$  se charge de 0 à  $1/3$  de  $V_{CC}$  ( $V_{alim}$ ) (de  $t_0$  à  $t_1$ ) et continue jusqu'à  $2/3$  de  $V_{CC}$  (de  $t_1$  à  $t_2$ , figure 120). On est à la première oscillation qui est beaucoup plus longue que les oscillations suivantes, on dit que l'astable oscille dès sa mise sous tension. La sortie est dans ce cas à **l'état haut**. Après ce moment, le transistor conduit et se sature à cause de la chute de tension dans  $R_a$ . Ainsi la décharge de  $C$  s'effectue à travers la résistance  $R_b$  (via la broche 7) de  $2/3$  de  $V_{CC}$  à  $1/3$  de  $V_{CC}$  (de  $t_2$  à  $t_3$ ). Et la sortie est donc dans son **état bas** dans ce cas. Et juste après, on revient dans le cas où le transistor est bloqué et le condensateur se charge de  $1/3$  de  $V_{CC}$  à  $2/3$  de  $V_{CC}$  à travers les deux résistances  $R_a$  et  $R_b$  (de  $t_3$  à  $t_4$ ). Autrement dit, le système est de nouveau dans son état haut. Et juste après  $t_4$ , le système repasse dans son état bas. Et ainsi de suite, le basculement de l'état haut vers l'état bas du système et inversement se répètent jusqu'à ce que l'on coupe l'alimentation, donc le cycle recommence.

Puisque la décharge du condensateur se fait à travers  $R_b$  alors en modifiant  $R_b$ , la fréquence d'oscillations  $f$ , la période et le rapport cyclique peuvent être modifiés.

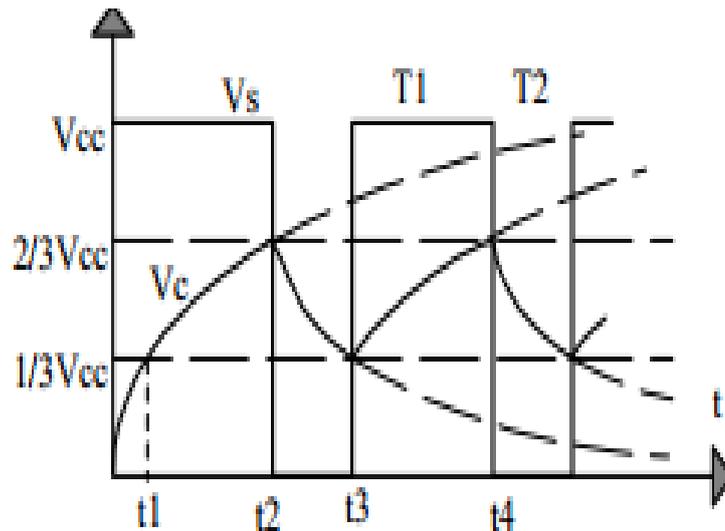


Figure 47: Evolution des potentiels à la sortie ( $V_s$ ) et celui de C ( $V_C$ )

### 2.2. Période et fréquence d'oscillations, rapport cyclique

La période  $T$  du multivibrateur à CI NE555 est :

$$T = (R_a + 2R_b) * C \ln 2$$

Et la fréquence d'oscillations est  $f$  telle que  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{(R_a + 2R_b) * C \ln 2}$  ou en prenant  $\ln 2 \approx 0,7$  :

$$f = \frac{1,44}{(R_a + 2R_b) * C}$$

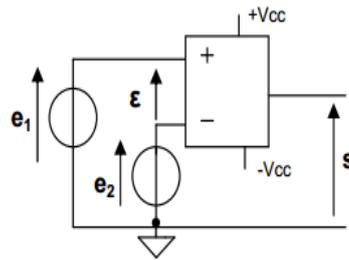
Mais de plus, le rapport cyclique  $\alpha$  définie par le rapport de la durée de l'état haut et la période :  $\alpha = \frac{T_1}{T}$  est

$$\alpha = \frac{R_a + R_b}{R_a + 2R_b}$$

## D. Multivibrateur à amplificateur opérationnel (AOP)

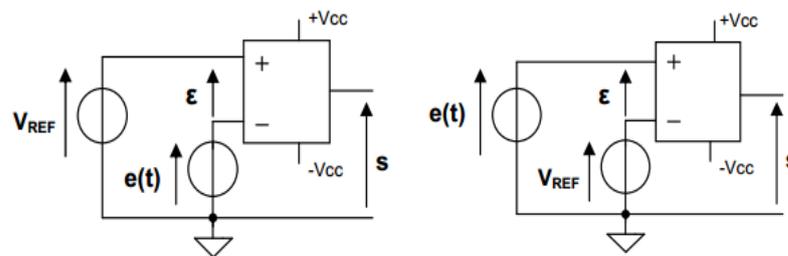
### 1. Comparateur simple

Un comparateur est un circuit comportant deux entrées  $e_1$  et  $e_2$ , il fournit en sortie  $S$  une tension qui ne peut prendre que deux valeurs. On parle ainsi de la logique binaire. Lorsqu'on veut alimenter un comparateur, l'alimentation doit avoir des tensions continues symétriques :  $+V_{CC}$ ,  $-V_{CC}$ .



**Figure 48: Comparateur simple**

Généralement, l'une des entrées  $e_1$  et  $e_2$  est notée  $e(t)$  : le signal qu'on compare et l'autre notée  $V_{ref}$  : la tension fixe que l'on appelle tension de référence ou tension de seuil. C'est pour cela qu'on distingue 2 types de comparateur selon les positions respectives de  $e(t)$  et  $V_{ref}$  sur les entrées du comparateur: comparateur inverseur et comparateur non inverseur (figure 49). La valeur de la tension de sortie dépend du signe de la **tension différentielle**  $\epsilon$ ; la différence de potentiel entrée l'entrée  $V^+$ (ou  $V_{e1}$ ) et l'entrée  $V^-$ (ou  $V_{e2}$ ) :  $\epsilon = V^+ - V^-$



**Figure 49: Comparateur inverseur et comparateur non inverseur**

## 2. Amplificateur opérationnel (AOP)

Un amplificateur opérationnel (ou un ALI : **amplificateur linéaire intégré**) est un circuit intégré qui permet d'amplifier la différence de potentielle  $\epsilon$  entre les 2 tensions d'entrées  $e_1$  et  $e_2$ . Il comporte donc deux entrées : **l'entrée + (entrée non inverseuse) et l'entrée - (entrée inverseuse)** mais une seule sortie  $S$ .

Un amplificateur opérationnel fonctionne en comparateur, la tension de sortie  $V_S$  peut varier entre les deux valeurs  $+V_{sat}$  (ou  $V_{satH}$ ) et  $-V_{sat}$  (ou  $V_{satB}$ ): **tensions de saturation** de l'AOP qui sont généralement inférieures aux tensions d'alimentation.

- $V_S = +V_{sat}$  si  $\epsilon > 0$
- $V_S = -V_{sat}$  si  $\epsilon < 0$

La tension de sortie de l'amplificateur  $V_S$  est proportionnelle à la tension différentielle  $\epsilon = V^+ - V^-$  :  $V_S = A * \epsilon$ .  $A$  est le **gain de l'amplificateur**, il peut être positif ou négatif, on peut avoir donc deux types d'amplificateur en utilisant :

- ✓ L'entrée + avec  $V^- = 0$  V, on a un amplificateur de gain positif :

$$V_S = +A * V^+$$

✓ L'entrée - avec  $V^+ = 0$  V, on a un amplificateur de gain négatif :

$$V_S = -A * V^-$$

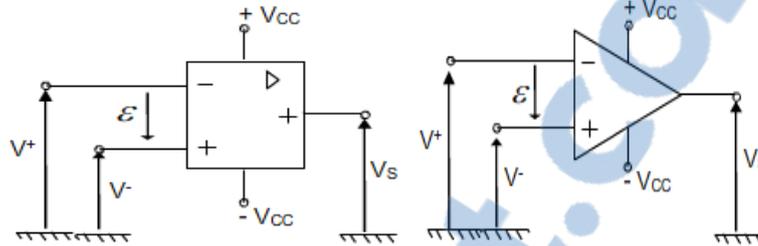


Figure 50: Symboles de l'AOP modèle européen et américain

### 3. Le montage astable à ALI

L'astable à AOP ou ALI représenté par la figure est un oscillateur câblé en comparateur à hystérésis non inverseur ou trigger de Schmitt, connu sous le nom de bascule de Schmitt (trigger : gâchette, détente, déclenchement) que l'on associe avec une cellule RC pour obtenir un générateur de signal carré. L'ALI fonctionne en commutation.

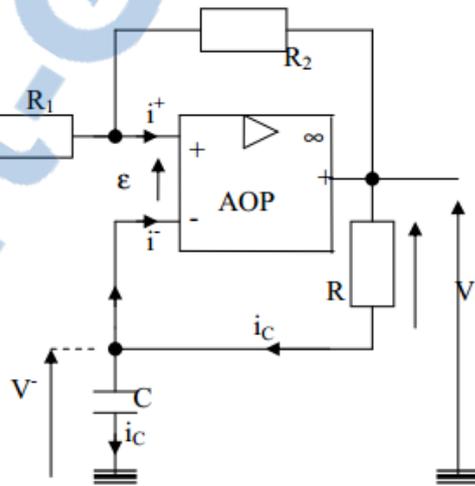


Figure 51: Astable à ALI

#### 3.1. Fonctionnement

A  $t=0$ , on suppose que le condensateur est totalement déchargé ( $V^- = 0$  V) et si  $V^+ > V^-$ , on a  $V_S = +V_{sat}$ , dès la mise sous tension du système. Le système est donc dans son **état haut** et on a  $V^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{sat} = V_H$  (potentiel à l'état haut) puisque  $R_1$  et  $R_2$  forment un pont diviseur. Le condensateur C se charge à travers R et le potentiel à l'entrée - ( $V_{e2}$ ) croît jusqu' à la valeur  $V^- = V_H$ . Puis le montage bascule, ainsi  $V_S = -V_{sat}$ . Le potentiel à l'entrée + ( $V_{e1}$ ) devient donc négatif :  $V^+ < V^-$ . Le système est dans son

**état bas** et on a alors  $V^+ = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{sat} = V_B$  (potentiel à l'état bas). Le condensateur se décharge à travers R,  $V^-$  décroît jusqu'à ce qu'il devient inférieur à  $V^+$  ( $V^+ > V^-$ ) mais aussi jusqu'à ce qu'il atteigne la valeur  $V^- = V_B$ . Le montage bascule donc à nouveau dans son autre état, le système est de nouveau dans son **état haut** puisque  $V^+ > V^-$  et on a de même  $V_S = +V_{sat}$ . On peut dire que le système oscille indéfiniment entre ces deux états stables avec une période T qui est donc fonction des éléments du circuit.

### 3.2. Période du multivibrateur

#### a. Mise en équation du fonctionnement

A  $t=0$  :  $V_S = +V_{sat}$  et  $V^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{sat} = V_H$ , de plus le condensateur est déchargé

donc  $V^- = 0$  ( $V^+ > V^-$ ). La loi des mailles autour de l'ALI donne :

$$R * i_C = V_S - V^- = RC \frac{dV^-}{dt} \quad (1)$$

Donc  $V_S = +V_{sat}$  :  $V^- + RC \frac{dV^-}{dt} - V_{sat} = 0$ , cette équation différentielle admet comme

solution générale  $V^-(t) = A * e^{-\frac{t}{RC}} + V_{sat}$ .

A  $t=0$  :  $V^-(0) = 0 = A + V_{sat}$  donc  $A = -V_{sat}$

Donc  $V^-(t) = V_{sat} (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$  le condensateur se charge donc exponentiellement à travers R pour atteindre  $+V_{sat}$ .

$V^-(t)$  croît jusqu'à ce qu'il atteigne la valeur  $V_H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{sat}$  donc  $V^+ < V^-$ , il y a donc

basculement de  $V_S = +V_{sat}$  à  $V_S = -V_{sat}$  à cet instant que l'on note  $t_1$ .

A  $t_1$  :  $V^+ = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{sat} = V_B$  et  $V_S = -V_{sat}$

Dans (1),  $V^- + RC \frac{dV^-}{dt} + V_{sat} = 0$  cette équation différentielle admet comme solution

générale  $V^-(t) = A * e^{-\frac{t}{RC}} - V_{sat}$ .

A  $t=t_1$  :  $V^-(t_1) = V_H = A - V_{sat}$  donc  $A = V_H + V_{sat}$

Donc  $V^-(t) = (V_H + V_{sat}) * e^{-\frac{t-t_1}{RC}} - V_{sat}$  (2) (le condensateur se décharge donc à travers R pour atteindre  $-V_{sat}$

$V^-(t)$  décroît jusqu'à ce qu'il atteigne la valeur  $V_B = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{sat}$  donc  $V^+ > V^-$ , il y a

donc un nouveau basculement de  $V_S = -V_{sat}$  à  $V_S = +V_{sat}$  à cet instant que l'on note  $t_2$ .

A  $t_2$  :  $V^+ = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{sat} = V_H$  et  $V_S = +V_{sat}$  (le condensateur se charge de nouveau à travers R pour atteindre  $+V_{sat}$ )

Dans (1),  $V^- + RC \frac{dV^-}{dt} - V_{sat} = 0$  cette équation différentielle admet comme solution

générale  $V^-(t) = A * e^{-\frac{t}{RC}} + V_{sat}$

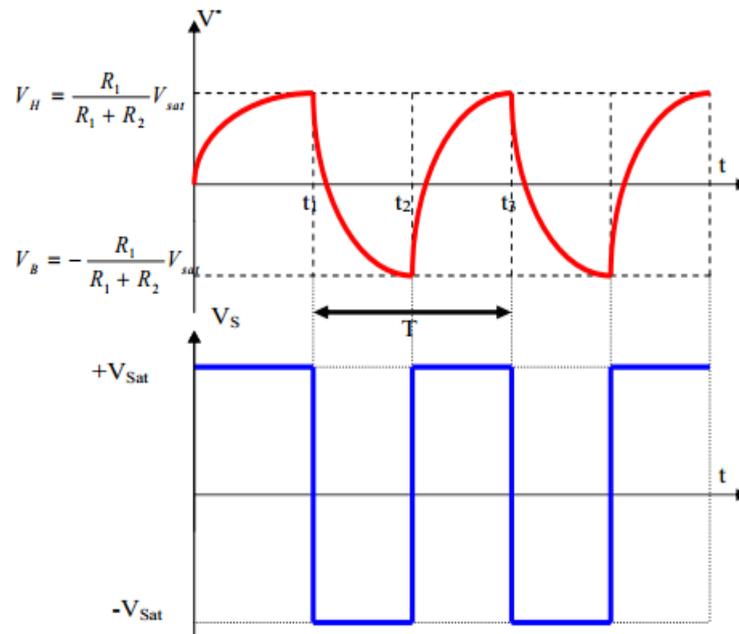
A  $t=t_2$  :  $V^-(t_2) = V_B = A + V_{sat}$  donc  $A = V_B - V_{sat}$

Donc  $V^-(t) = (V_B - V_{sat}) * e^{-\frac{t-t_2}{RC}} + V_{sat}$  (3)

$V(t)$  croit jusqu'à ce qu'il atteigne la valeur  $V_H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{sat}$  donc  $V^+ < V^-$ , il y a donc

basculement de  $V_S = +V_{sat}$  à  $V_S = -V_{sat}$  à cet instant que l'on note  $t_3$ .

Ce cycle se recommence jusqu'à ce que l'on coupe l'alimentation



**Figure 52: Evolution des potentiels de sortie  $V_S$  et celui de l'entrée  $- (V)$**

### b. Calcul de la période T du multivibrateur

Par définition  $T = T_H + T_B$  où  $T_H$  est la durée de l'état haut et  $T_B$  celle de l'état bas.

- **Durée de l'état bas :  $T_B$**

Le système est à l'état bas de  $t_1$  à  $t_2$  avec le potentiel  $V_B$  alors dans l'équation (2)

$$V^-(t_2) = (V_H + V_{sat}) * e^{-\frac{t_2-t_1}{RC}} - V_{sat} = V_B$$

$$-\frac{t_2-t_1}{RC} = \ln\left(\frac{V_B + V_{sat}}{V_H + V_{sat}}\right)$$



$$T_B = t_2 - t_1 = RC \ln\left(\frac{V_H + V_{sat}}{V_B + V_{sat}}\right)$$

$$T_B = RC \ln\left(\frac{\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} + V_{sat}}{-\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} + V_{sat}}\right)$$

$$T_B = RC \ln\left(\frac{R_2 + 2R_1}{R_2}\right)$$

$$\text{D'où } T_B = RC \ln\left(R_1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

• **Durée de l'état haut : T<sub>H</sub>**

Le système est à l'état haut de t<sub>2</sub> à t<sub>3</sub> avec le potentiel V<sub>H</sub> alors dans l'équation

$$(3) V^-(t_3) = (V_B - V_{sat}) * e^{-\frac{t_3 - t_2}{RC}} + V_{sat}$$

Même calcul que précédemment,  $T_H = t_3 - t_2 = RC \ln\left(\frac{R_2 + 2R_1}{R_2}\right)$

$$\text{D'où } T_H = RC \ln\left(R_1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) . \text{ Ainsi } T_H = T_B$$

$$\text{D'où : } T = 2RC \ln\left(R_1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

Dans le cas pratique, on prend R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub> donc  $T = 2R_1 C * \ln 3$  et la fréquence d'oscillation du signal à la sortie de ce type de multivibrateur est dans ce cas

$$f = \frac{1}{2R_1 C * \ln 3} . \text{ De plus le rapport cyclique } \alpha \text{ définie par le rapport de la durée de}$$

$$\text{l'état haut } T_H \text{ du signal sur la période } T \text{ est : } \alpha = \frac{1}{2}$$

**DEUXIEME PARTIE :**  
**CONCEPTION ET**  
**ELABORATION DE**  
**MATERIELS**  
**DIDACTIQUES**

## DEUXIEME PARTIE : CONCEPTION ET ELABORATION DES MATERIELS DIDACTIQUES

La présente partie traite la conception et l'élaboration des matériels didactiques qu'on puisse exploiter dans l'enseignement/apprentissage de quelques composants électroniques en classe secondaire surtout en classe de seconde. Tout enseignant peut les reproduire facilement, les étapes de l'élaboration sont décrites et illustrées par des photos prises tout au long de chaque phases d'élaboration.

Au souvenir de notre première année d'étude à l'ENS et à la mémoire de Monsieur RIVO notre enseignant en dispositifs expérimentaux, nous avons choisi la peinture vert pastel pour les matériels didactiques. Et pour faciliter la vision, les symboles des composants sont tracés en noir.

Afin de bien élaborer chaque support de composants (matériels didactiques), nous devons regrouper quelques outils indispensables dont une scie, un papier abrasif, deux marqueur noir et bleu, une règle et un compas, un fer à souder et étain, une perceuse et une mèche pointe 8, un pinceau, un ciseau, une tourne vis et un marteau. Et les matériels nécessaires sont un contre-plaqué, une planche, une boîte de colle blanche (colle bois) et une boîte de peinture vert pastel, des clous pointe vitre, des fiches bananes mâles et femelles (douilles) et des fils électriques.

### I. Supports pour les conducteurs ohmiques

#### A. Supports des résistors

Le modèle élaboré est représenté par la figure ci-dessous :

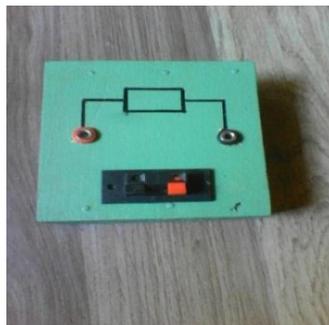


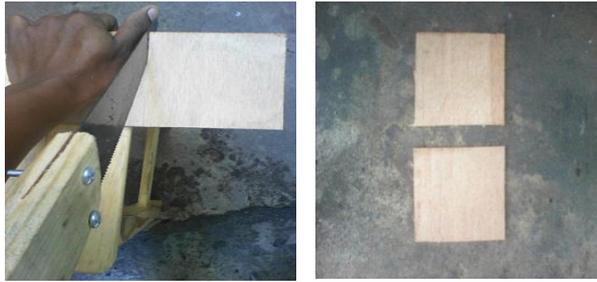
Figure 53: Support de résistor

#### 1. Phases d'élaboration :

Pour ce modèle, les phases d'élaboration sont expliquées et illustrées par des photos :

- **Sciages :**

- ✓ On scie à l'aide d'une scie le contre-plaqué d'épaisseur 0,5 cm afin d'obtenir le **modèle C<sub>1</sub>** : carrée de 11 cm de côté.



**Figure 54: Sciage du modèle C<sub>1</sub>**

- ✓ On scie aussi une planche de 1 cm d'épaisseur pour avoir le **modèle P<sub>1</sub>** : 11 cm x 3,5 cm x 1cm



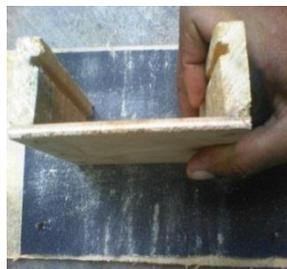
**Figure 55: Sciage du modèle P<sub>1</sub>**

- **Assemblage** : il consiste d'assembler le modèle C<sub>1</sub> avec 2 modèles P<sub>1</sub> à l'aide de 6 clous pointe vitre et du colle bois.



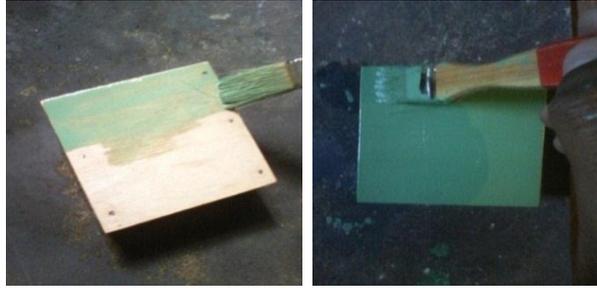
**Figure 56: Assemblage du modèle C<sub>1</sub> et P<sub>1</sub> du support de résistor**

- **Lissage** : on lisse toutes les parties du support obtenu avec du papier abrasif.



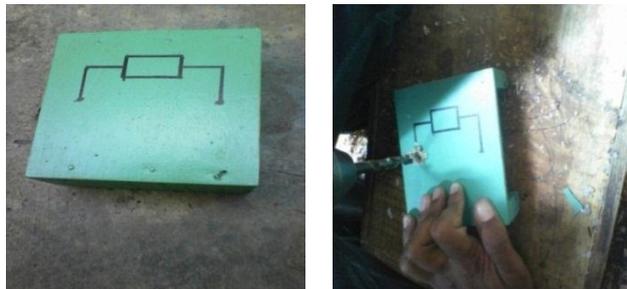
**Figure 57: Lissage du support de résistor**

- **Peinture** : on peint en vert pastel à l'aide d'un pinceau toutes les parties du support. On peint en première couche et passer en deuxième couche après d'environ 30 mn de séchage.



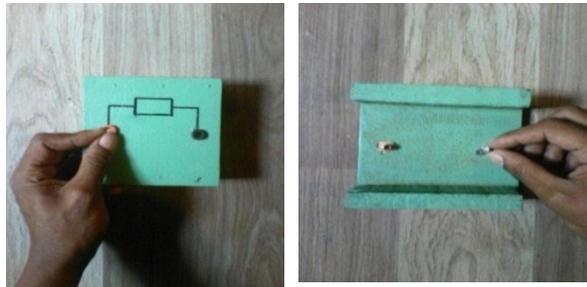
**Figure 58: Peinture du support de résistor**

- **Traçage et perçage:** on trace à l'aide d'un marqueur et d'une règle sur la face du support le symbole d'un résistor et on y perce 2 trous de 8 mm de diamètre avec une perceuse portant une mèche 8 pour placer les 2 fiches bananes femelles.



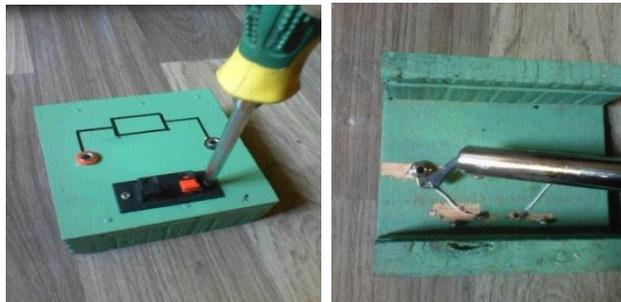
**Figure 59: Traçage du symbole de résistor et perçage**

- **Montages :** on monte les 2 fiches bananes femelles sur les 2 trous du support.



**Figure 60: Montage des 2 douilles du support de résistor**

- **Implantations :** on implante au-dessus du support à l'aide d'une tourne vis le terminal baffle et on le relie avec des fils électriques avec les 2 douilles à l'aide d'un fer à souder et un étain, dans la partie inférieure du support.



**Figure 61: Implantations du terminal baffle et des 2 douilles**

C'est au-dessus du terminal baffle qu'on implante le résistor de notre choix selon le montage électrique à réaliser.

On a élaboré 4 modèles de supports de résistor.



**Figure 62: Les 4 supports de résistor élaborés**

### 2. Coût de l'élaboration

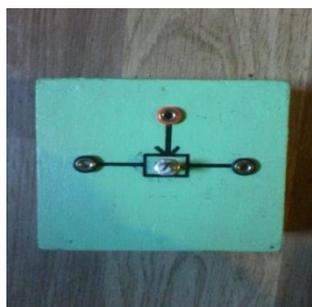
Le coût approximatif de l'élaboration de ces 4 supports (en Ariary) en Mai 2016 est résumé dans le tableau suivant :

| Matériels                     | Nombres | Prix (Ar)     |
|-------------------------------|---------|---------------|
| Contre-plaqué C <sub>1</sub>  | 4       | 400           |
| Planche modèle P <sub>1</sub> | 8       | 800           |
| Fiches bananes femelles       | 8       | 8000          |
| Terminal baffle               | 4       | 4000          |
| Résistors                     | 4       | 1000          |
|                               |         | Total : 14200 |

**Tableau 7: Coût d'élaboration des supports de résistors**

### B. Support de potentiomètre

Le modèle élaboré est représenté par la figure 63.



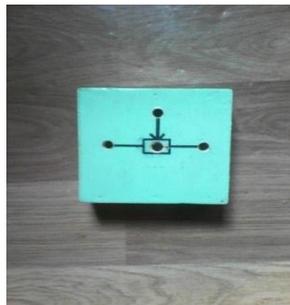
**Figure 63: Support de potentiomètre**

### 1. Phases d'élaboration

Pour ce modèle, les phases d'élaboration sont presque les mêmes que celles du support de résistor. Ainsi, on passe successivement aux (à la):

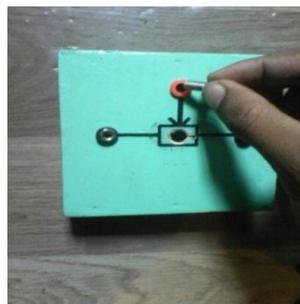
- Sciages :

- ✓ On scie à l'aide d'une scie le contre-plaqué d'épaisseur 0,5 cm afin d'obtenir le modèle C<sub>1</sub> de la figure 54.
- ✓ On scie aussi une planche de 1 cm d'épaisseur pour avoir le modèle P<sub>1</sub>  
De la figure 55: 11 cm x 3,5 cm x 1cm
- **Assemblage** : on assemble le modèle C<sub>1</sub> et 2 modèles P<sub>1</sub> à l'aide des clous pointe vitre et du colle bois
- **Lissage** : on lisse avec du papier abrasif toutes les parties du support obtenu.
- **Peinture** : on peint à l'aide d'un pinceau toutes les parties du support en vert pastel.
- **Traçage et perçage**: on trace le symbole d'un potentiomètre sur la face du support à l'aide d'un marqueur et d'une règle graduée et on y perce 4 trous de 8 mm de diamètre avec une perceuse portant une messe 8 pour placer les 3 fiches bananes femelles et implanter le potentiomètre.



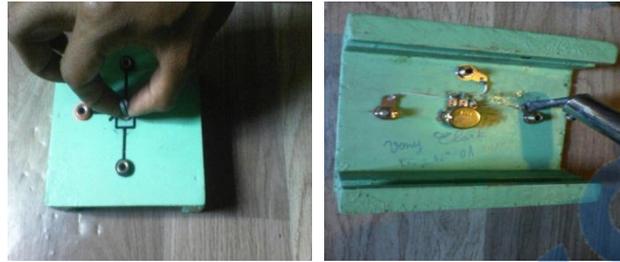
**Figure 64: Traçage du symbole de potentiomètre et perçage**

- **Montages** : on monte les 3 fiches bananes femelles sur les 3 trous du support.



**Figure 65: Montage des 3 douilles du support de potentiomètre**

- **Implantations** : on implante au-dessus du support le potentiomètre et on le relie avec des fils électriques avec les 3 douilles à l'aide d'un fer à souder et un étain, dans la partie inférieure du support.



**Figure 66: Implantations du potentiomètre**

On a élaboré un modèle de support de potentiomètre.

### 2. Coût de l'élaboration

Le coût approximatif de l'élaboration d'un support de potentiomètre (en Ariary) en Mai 2016 est résumé dans le tableau ci-dessous :

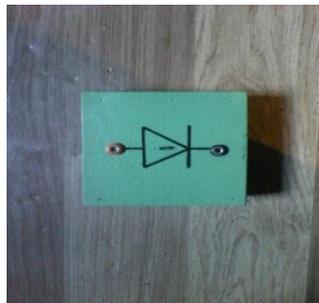
| Matériels                     | Nombres | Prix (Ar)   |
|-------------------------------|---------|-------------|
| Contre-plaqué C <sub>1</sub>  | 1       | 100         |
| Planche modèle P <sub>1</sub> | 2       | 200         |
| Fiches bananes femelles       | 3       | 3000        |
| Potentiomètre stéréo          | 1       | 1000        |
|                               |         | Total :4300 |

**Tableau 8: Coût d'élaboration d'un support de potentiomètre**

## II. Supports pour les composants à semi-conducteurs

### A. Support de diode à jonction

Le modèle élaboré est représenté par la figure ci-dessous.



**Figure 67 : Support de diode à jonction**

#### 1. Phases d'élaboration

Pour ce support de diode, les phases d'élaboration sont successivement expliquées et illustrées par des photos :

- **Sciages :**

- ✓ On scie à l'aide d'une scie le contre-plaqué d'épaisseur 0,5 cm afin d'obtenir le modèle C<sub>1</sub> de la figure 54



**Figure 68: Sciage du modèle C<sub>1</sub> pour le support de diode**

✓ On scie aussi une planche de 1 cm d'épaisseur pour avoir le modèle P<sub>1</sub>:

11 cm x 3,5 cm x 1cm

- **Assemblage** : on assemble le modèle C<sub>1</sub> et 2 modèles P<sub>1</sub> à l'aide des clous pointe vitre et du colle bois.



**Figure 69: Assemblage du modèle C<sub>1</sub> et modèle P<sub>1</sub> pour le support de diode**

- **Lissage** : on lisse avec du papier abrasif toutes les parties du support obtenu.



**Figure 70: Lissage du support de diode**

- **Peinturage** : on peint à l'aide d'un pinceau toutes les parties du support en vert pastel. Puis on laisse quelques minutes de séchage après la première couche de peinture en passant à la deuxième.



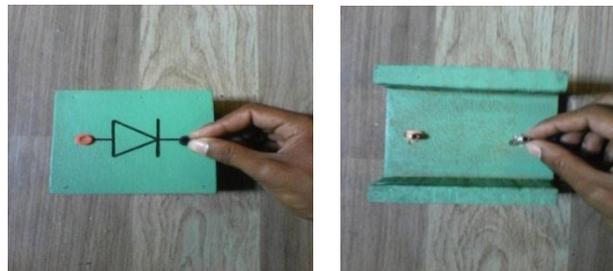
**Figure 71: Peinturage du support de diode**

- **Traçage et perçage :** on trace le symbole d'une diode sur la face du support à l'aide d'un marqueur et d'une règle graduée et on y perce 2 trous de 8 mm de diamètre avec une perceuse portant une mèche 8 pour placer les 2 fiches bananes femelles.



**Figure 72: Traçage du symbole de diode et perçage**

- **Montages :** on monte les 2 fiches bananes femelles sur les 2 trous du support de diode.



**Figure 73: Montage des 2 douilles du support de diode**

- **Implantations :** on implante au-dessus du support la diode (dans le triangle de son symbole) en se servant d'un clou et d'un marteau et on la relie avec des fils électriques avec les 2 douilles à l'aide d'un fer à souder et un étain, dans la partie inférieure du support.



**Figure 74: Implantations de la diode**

On a élaboré un modèle de support de diode.

## 2. Coût approximatif de l'élaboration

Le coût approximatif de l'élaboration de ce support de diode (en Ariary) en Mai 2016 est résumé dans le tableau ci-dessous :

| Matériels                     | Nombres | Prix (Ar)    |
|-------------------------------|---------|--------------|
| Contre-plaqué C <sub>1</sub>  | 1       | 100          |
| Planche modèle P <sub>1</sub> | 2       | 200          |
| Fiches bananes femelles       | 2       | 2000         |
| Diode                         | 1       | 100          |
|                               |         | Total : 2400 |

**Tableau 9: Coût d'élaboration d'un support de diode**

### B. Support de diode zener

Le modèle élaboré est représenté par la figure ci-dessous :

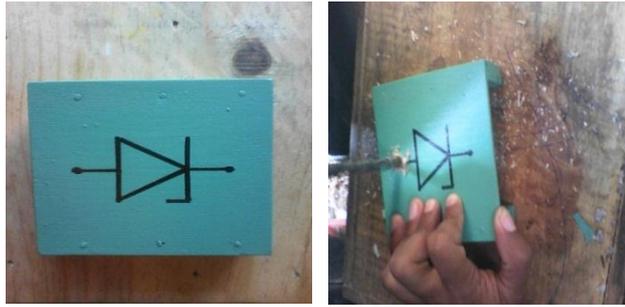


**Figure 75: Diode zener avec son support**

#### 1. Phases d'élaboration du support de diode zener

Pour ce modèle, les phases d'élaboration sont presque les mêmes que celles du support de diode. Ainsi, on passe successivement aux (à la):

- **Sciages :**
  - ✓ On scie à l'aide d'une scie le contre-plaqué d'épaisseur 0,5 cm afin d'obtenir le modèle C<sub>1</sub> de la figure 54.
  - ✓ On scie aussi une planche de 1 cm d'épaisseur pour avoir le modèle P<sub>1</sub> de la figure 55: 11 cm x 3,5 cm x 1cm
- **Assemblage :** on assemble le modèle C<sub>1</sub> et 2 modèles P<sub>1</sub> à l'aide des clous pointe vitre et du colle bois.
- **Lissage :** on lisse avec du papier abrasif toutes les parties du support obtenu.
- **Peinturage :** on peint à l'aide d'un pinceau toutes les parties du support en vert pastel, en séchant après chaque couche de peinture.
- **Traçage et perçage:** on trace le symbole de la diode zener sur la face du support à l'aide d'un marqueur et d'une règle graduée et on y perce 2 trous de 8 mm de diamètre avec une perceuse portant une mèche 8 pour placer les 2 fiches bananes femelles.



**Figure 76: Traçage du symbole de diode zener et perçage**

- **Montage** : on monte les 2 fiches bananes femelles sur les 2 trous du support.
- **Implantations** : on implante la diode zener au-dessus du support en utilisant un marteau et un clou puis on la relie avec des fils électriques avec les 2 douilles à l'aide d'un fer à souder et un étain, dans la partie inférieure du support.



**Figure 77: Implantations de la diode zener**

C'est ainsi qu'on a procédé à élaborer le modèle de support de diode zener.

## 2. Coût de l'élaboration

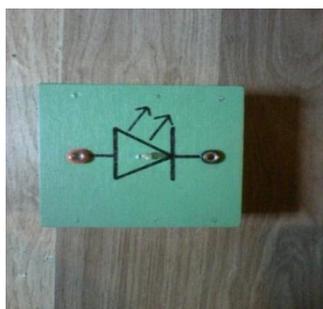
Le coût approximatif de l'élaboration du support de diode zener en (Ariary) en Mai 2016 est représenté par le tableau ci-dessous :

| Matériels                     | Nombres | Prix (Ar)    |
|-------------------------------|---------|--------------|
| Contre-plaqué C <sub>1</sub>  | 1       | 100          |
| Planche modèle P <sub>1</sub> | 2       | 200          |
| Fiches bananes femelles       | 2       | 2000         |
| Diode zener 6V                | 1       | 300          |
|                               |         | Total : 2600 |

**Tableau 10: Coût d'élaboration d'un support de diode zener**

### C. Supports de DEL

Le modèle de support de DEL est représenté par la figure



**Figure 78: DEL avec son support**

### 1. Phases d'élaboration du support de DEL

Pour ce modèle, les phases d'élaboration sont presque les mêmes que celles du support de diode et du support de diode zener. Ainsi, on passe successivement aux :

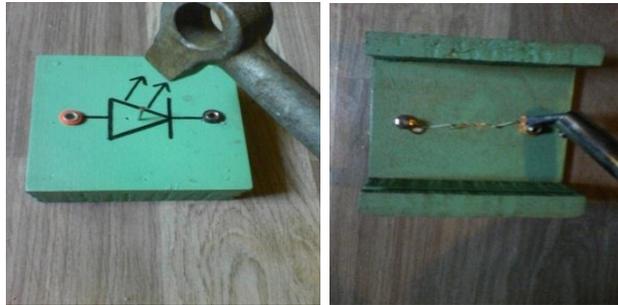
- **Sciages :**
  - ✓ On scie à l'aide d'une scie le contre-plaqué d'épaisseur 0,5 cm afin d'obtenir le modèle C<sub>1</sub> de la figure 54.
  - ✓ On scie aussi une planche de 1 cm d'épaisseur pour avoir le modèle P<sub>1</sub> De la figure 55: 11 cm x 3,5 cm x 1cm
- **Assemblage :** on assemble le modèle C<sub>1</sub> et 2 modèles P<sub>1</sub> à l'aide des clous pointe vitre et du colle bois.
- **Lissage :** on lisse avec du papier abrasif toutes les parties du support obtenu.
- **Peinturage :** on peint à l'aide d'un pinceau toutes les parties du support en vert pastel, en séchant après chaque couche de peinture.
- **Traçage et perçage :** on trace le symbole de la diode zener sur la face du support à l'aide d'un marqueur et d'une règle graduée et on y perce 2 trous de 8 mm de diamètre avec une perceuse portant une mèche 8 pour placer les 2 fiches bananes femelles.



**Figure 79: Traçage du symbole de DEL et perçage**

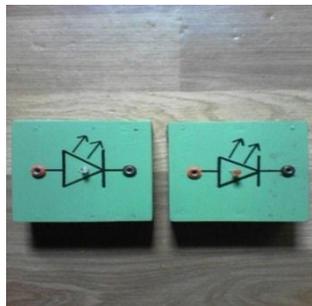
- **Montage :** on monte les 2 fiches bananes femelles sur les 2 trous du support.

- **Implantations :** on implante la DEL au-dessus du support en utilisant un marteau et un clou puis on la relie avec des fils électriques avec les 2 douilles à l'aide d'un fer à souder et un étain, dans la partie inférieure du support.



**Figure 80: Implantations de la DEL**

C'est ainsi qu'on a procédé à élaborer le modèle de support de diode DEL, on a élaboré 2 de ce modèle.



**Figure 81: Les 2 supports de DEL élaborés**

## 2. Coût approximatif

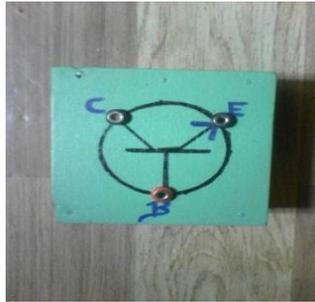
Le coût approximatif de l'élaboration de ces 2 supports (en Ariary) en Mai 2016 est résumé dans le tableau ci-dessous :

| Matériels               | Nombres | Prix (Ar)    |
|-------------------------|---------|--------------|
| Contre-plaqué $C_1$     | 2       | 200          |
| Planche modèle $P_1$    | 4       | 400          |
| Fiches bananes femelles | 4       | 4000         |
| DEL                     | 2       | 400          |
|                         |         | Total : 5000 |

**Tableau 11 : Coût d'élaboration des 2 supports de DEL**

## D. Supports des transistors bipolaires

Le modèle de support de transistor est représenté par la figure 82:



**Figure 82: Support de transistor**

### 1. Phases de l'élaboration des supports de transistors

Pour ce support de transistor représenté par la figure 76, les phases d'élaboration sont successivement expliquées et illustrées par des photos :

- **Sciages :**

- ✓ On scie à l'aide d'une scie le contre-plaqué d'épaisseur 0,5 cm afin d'obtenir le modèle  $C_1$  de la figure 54.



**Figure 83: Sciage du modèle  $C_1$  pour le support de transistors**

- ✓ On scie aussi une planche de 1 cm d'épaisseur pour avoir le modèle  $P_1$ :  
11 cm x 3,5 cm x 1cm

- **Assemblage :** on assemble le modèle  $C_1$  et 2 modèles  $P_1$  à l'aide des clous pointe vitre et du colle bois.



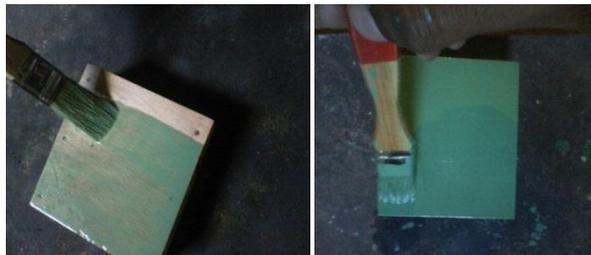
**Figure 84: Assemblage du modèle  $C_1$  et modèle  $P_1$  pour le support de transistor**

- **Lissage :** on lisse avec du papier abrasif toutes les parties du support obtenu.



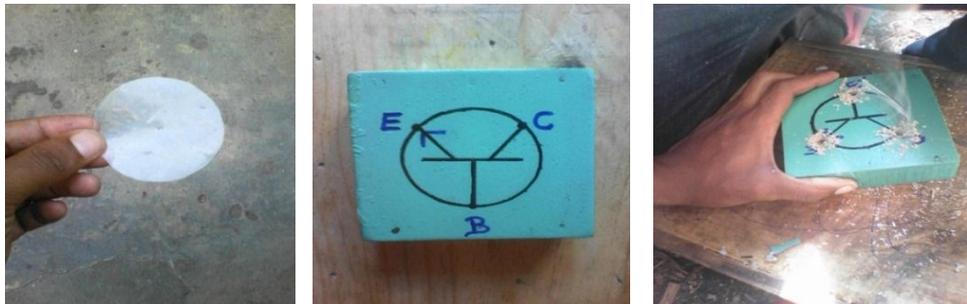
**Figure 85: Lissage du support de transistor**

- **Peinturage :** on peint à l'aide d'un pinceau toutes les parties du support en vert pastel. Puis on laisse quelques minutes de séchage après la première couche de peinture en passant à la deuxième.



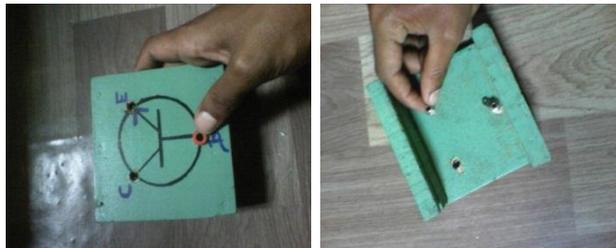
**Figure 86: Peinturage du support de transistor**

- **Traçage et perçage:** on trace le symbole d'un transistor sur la face du support à l'aide d'un cercle (à gauche de la figure), d'un marqueur et d'une règle graduée et on y perce 3 trous de 8 mm de diamètre avec une perceuse portant une mèche 8 pour placer les 3 fiches bananes femelles.



**Figure 87: Traçage du symbole de transistor et perçage**

- **Montages :** on monte les 3 fiches bananes femelles sur les 3 trous du support.



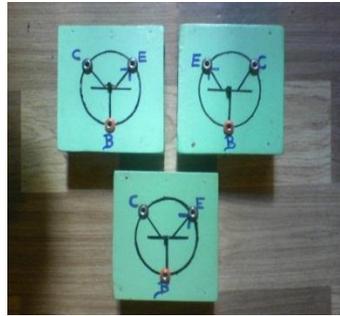
**Figure 88: Montage des 3 douilles du support de transistor**

- **Implantations** : on implante au-dessus du support le transistor en se servant d'un clou et d'un marteau et on la relie avec des fils électriques avec les 3 douilles à l'aide d'un fer à souder et un étain.



**Figure 89: Implantations du transistor**

On a élaboré 3 modèles de supports de transistors.



**Figure 90: Les 3 modèles de supports de transistors bipolaires**

### 2. Coût approximatif

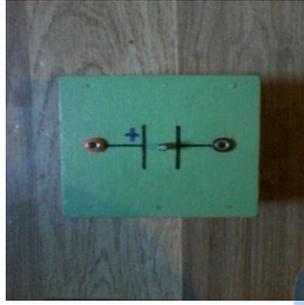
Le coût approximatif de l'élaboration de ces 3 supports de transistor (en Ariary) en Mai 2016 est résumé dans le tableau ci-dessous :

| Matériels                     | Nombres | Prix (Ar)     |
|-------------------------------|---------|---------------|
| Contre-plaqué C <sub>1</sub>  | 2       | 200           |
| Planche modèle P <sub>1</sub> | 6       | 600           |
| Fiches bananes femelles       | 9       | 9000          |
| Transistors NPN               | 3       | 1500          |
|                               |         | Total : 10300 |

**Tableau 12: Coût d'élaboration des 3 supports de transistors**

### III. Support de condensateurs électrochimiques

Le modèle de support de condensateur est représenté par la figure 83.



**Figure 91: Support de condensateur**

**A. Phases d'élaboration**

L'élaboration de ce modèle de support de condensateur passe par plusieurs phases telles que :

- **Sciages :**

- ✓ On scie à l'aide d'une scie le contre-plaqué d'épaisseur 0,5 cm afin d'obtenir le modèle C<sub>1</sub> de la figure 54.



**Figure 92: Sciage du modèle C<sub>1</sub> pour le support de condensateur**

- ✓ On scie aussi une planche de 1 cm d'épaisseur pour avoir le modèle P<sub>1</sub>:

11 cm x 3,5 cm x 1cm



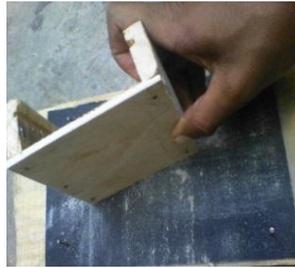
**Figure 93: Sciage du modèle P<sub>1</sub> pour le support de condensateur**

- **Assemblage :** on assemble le modèle C<sub>1</sub> et 2 modèles P<sub>1</sub> à l'aide des clous pointe vitre et du colle bois.



**Figure 94: Assemblage du modèle  $C_1$  et 2 modèles  $P_1$  pour le support de condensateur**

- **Lissage** : on lisse avec du papier abrasif toutes les parties du support obtenu.



**Figure 95: Lissage du support de condensateur**

- **Peinture** : on peint à l'aide d'un pinceau toutes les parties du support en vert pastel. Puis on laisse quelques minutes de séchage après la première couche de peinture en passant à la deuxième.



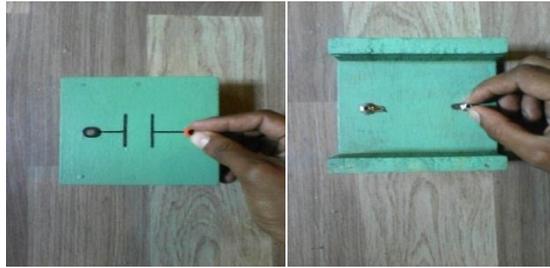
**Figure 96: Peinture du support de condensateur**

- **Traçage et perçage**: on trace le symbole d'un condensateur polarisé sur la face du support à l'aide d'un marqueur et d'une règle graduée et on y perce 2 trous de 8 mm de diamètre avec une perceuse portant une mèche 8 pour placer les 2 fiches bananes femelles.



**Figure 97: Traçage du symbole de condensateur et perçage**

- **Montages** : on monte les 2 fiches bananes femelles sur les 2 trous du support.



**Figure 98: Montage des 2 douilles du support de condensateur**

- **Implantations** : on implante au-dessus du support le condensateur en se servant d'un clou et d'un marteau et on la relie avec des fils électriques avec les 2 douilles à l'aide d'un fer à souder et un étain.



**Figure 99: Implantations du condensateur**

On a élaboré 2 modèles de support de condensateur.



**Figure 100: Les 2 supports de condensateur**

### B.Coût approximatif de l'élaboration

Le coût approximatif de l'élaboration de ces 2 supports (en Ariary) en Mai 2016 est résumé dans le tableau ci-dessous :

| Matériels                     | Nombres | Prix (Ar)    |
|-------------------------------|---------|--------------|
| Contre-plaqué C <sub>1</sub>  | 2       | 200          |
| Planche modèle P <sub>1</sub> | 4       | 400          |
| Fiches bananes femelles       | 4       | 4000         |
| Condensateurs                 | 2       | 1000         |
|                               |         | Total : 6200 |

**Tableau 13: Coût d'élaboration des 2 supports de condensateur**



#### IV. Support de pile

On a élaboré un support de pile qui est représenté par la figure 95:

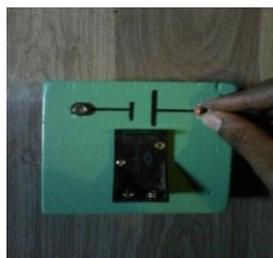


Figure 101: Support de pile 9 V

##### A. Phases d'élaboration

Par analogie de toutes les phases d'élaboration des supports précédemment élaborés, celles de ce support de pile sont :

- **Sciages :**
  - ✓ On scie à l'aide d'une scie le contre-plaqué d'épaisseur 0,5 cm afin d'obtenir le modèle  $C_1$  : carrée de 11 cm de côté.
  - ✓ On scie aussi une planche de 1 cm d'épaisseur pour avoir le modèle  $P_1$  : 11 cm x 3,5 cm x 1cm
- **Assemblage :** il consiste d'assembler le modèle  $C_1$  avec 2 modèles  $P_1$  à l'aide de 6 clous pointe vitre et du colle bois.
- **Lissage :** on lisse toutes les parties du support obtenu avec du papier abrasif.
- **Peinturage :** on peint en vert pastel à l'aide d'un pinceau toutes les parties du support. On peint en première couche et passer en deuxième couche après d'environ 30 mn de séchage.
- **Traçage et perçage :** on trace à l'aide d'un marqueur et d'une règle sur la face du support le symbole d'une pile et on y perce 2 trous de 8 mm de diamètre avec une perceuse portant une messe 8 pour placer les 2 fiches bananes femelles.
- **Montages et implantations :** on monte les 2 fiches bananes femelles sur les 2 trous du support et on implante à l'aide d'une tourne vis le port de pile 9 V.



### Figure 102: Montage des 2 douilles et implantation de port de pile 9 V

C'est au-dessus du port de pile 9 V qu'on implante la pile. C'est ainsi qu'on a élaboré le support de pile.

#### B. Coût de l'élaboration

Le coût approximatif de l'élaboration du support de pile 9 V (en Ariary) en Mai 2016 est résumé dans le tableau suivant :

| Matériels               | Nombres | Prix (Ar)    |
|-------------------------|---------|--------------|
| Contre-plaqué $C_1$     | 1       | 100          |
| Planche modèle $P_1$    | 2       | 200          |
| Fiches bananes femelles | 2       | 2000         |
| Port de pile 9 V        | 1       | 600          |
| Pile 9 V                | 1       | 2000         |
|                         |         | Total : 4900 |

Tableau 14: Coût d'élaboration d'un support de pile 9 V

#### V. Support d'interrupteur

On a élaboré un support d'interrupteur qui est représenté par la figure 107:



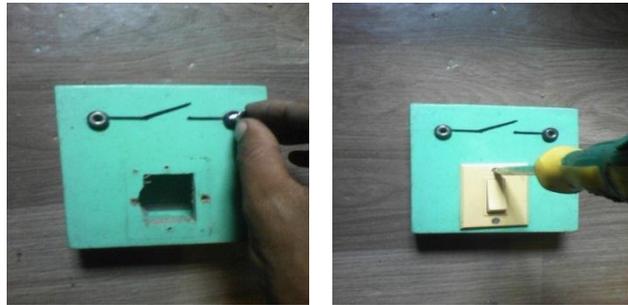
Figure 103: Support d'interrupteur

##### A. Phases d'élaboration

Par analogie de toutes les phases d'élaboration des supports précédemment élaborés, celles d'interrupteur sont:

- **Sciages :**
  - ✓ On scie à l'aide d'une scie le contre-plaqué d'épaisseur 0,5 cm afin d'obtenir le modèle  $C_1$  : carrée de 11 cm de côté.
  - ✓ On scie aussi une planche de 1 cm d'épaisseur pour avoir le modèle  $P_1$  : 11 cm x 3,5 cm x 1cm
- **Assemblage :** il consiste d'assembler le modèle  $C_1$  avec 2 modèles  $P_1$  à l'aide de 6 clous pointe vitre et du colle bois.
- **Lissage :** on lisse toutes les parties du support obtenu avec du papier abrasif.

- **Peinturage :** on peint en vert pastel à l'aide d'un pinceau toutes les parties du support. On peint en première couche et passer en deuxième couche après d'environ 30 mn de séchage.
- **Traçage et perçage:** on trace à l'aide d'un marqueur et d'une règle sur la face du support le symbole d'un interrupteur et on y perce 2 trous de 8 mm de diamètre avec une perceuse portant une mèche 8 pour placer les 2 fiches bananes femelles. Et on creuse un carré de 3 cm de côté pour l'implantation de l'interrupteur.
- **Montages et implantations:** on monte les 2 fiches bananes femelles sur les 2 trous du support et on implante l'interrupteur grâce à une tourne vis puis le relier avec les 2 douilles et des fils électriques à l'aide d'un fer à souder et un étain.



**Figure 104: Montage des 2 douilles et implantation de l'interrupteur**

#### **A.Coût de l'élaboration**

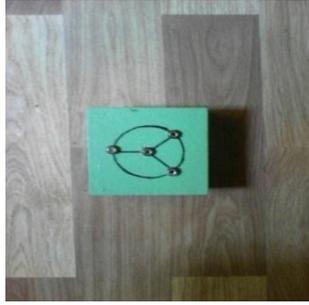
Le coût approximatif de l'élaboration du support d'interrupteur (en Ariary) en Mai2016 est résumé dans le tableau suivant :

| Matériels                     | Nombres | Prix (Ar)    |
|-------------------------------|---------|--------------|
| Contre-plaqué C <sub>1</sub>  | 1       | 100          |
| Planche modèle P <sub>1</sub> | 2       | 200          |
| Fiches bananes femelles       | 2       | 2000         |
| Interrupteur                  | 1       | 800          |
|                               |         | Total : 2300 |

**Tableau 15: Coût approximatif de l'élaboration d'un support d'interrupteur**

## VI. Supports de nœuds de dérivation

Le modèle élaboré est représenté par la figure ci-dessous :

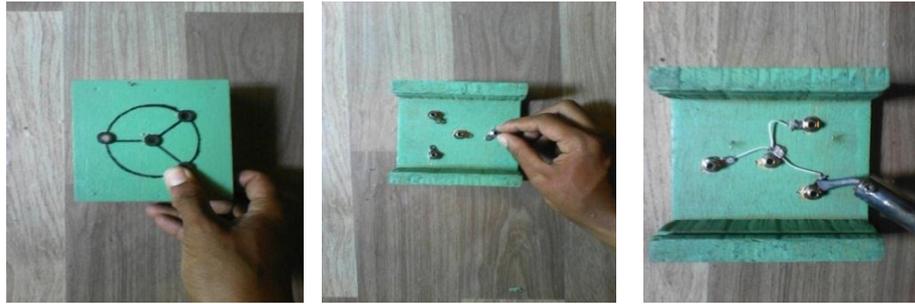


**Figure 105: Support de nœud de dérivation**

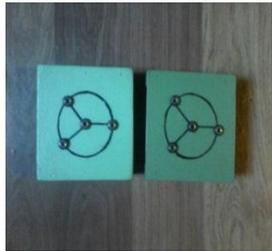
### A. Phases d'élaboration

Par analogie de toutes les phases d'élaboration des supports précédemment élaborés, celles de ce support de nœuds de dérivation sont :

- **Sciages :**
  - ✓ On scie à l'aide d'une scie le contre-plaqué d'épaisseur 0,5 cm afin d'obtenir le modèle  $C_1$  : carrée de 11 cm de côté.
  - ✓ On scie aussi une planche de 1 cm d'épaisseur pour avoir le modèle  $P_1$  : 11 cm x 3,5 cm x 1 cm
- **Assemblage :** il consiste d'assembler le modèle  $C_1$  avec 2 modèles  $P_1$  à l'aide de 6 clous pointe vitre et du colle bois.
- **Lissage :** on lisse toutes les parties du support obtenu avec du papier abrasif.
- **Peinture :** on peint en vert pastel à l'aide d'un pinceau toutes les parties du support. On peint en première couche et passer en deuxième couche après d'environ 30 mn de séchage.
- **Traçage et perçage :** on trace à l'aide d'un marqueur et d'une règle sur la face du support le symbole de nœuds de dérivation et on y perce 4 trous de 8 mm de diamètre avec une perceuse portant une mèche 8 pour placer les 4 fiches bananes.
- **Montages et câblage :** on monte les 4 fiches bananes femelles sur les 4 trous du support et on fait le câblage des fils électriques à l'aide d'un fer à souder et un étain.



**Figure 106: Montages des 4 douilles et câblage du support de nœuds de dérivation**  
On a élaboré 2 modèles de supports de nœuds de dérivation.



**Figure 107: Les 2 supports de nœuds de dérivation**

### B.Coût d'élaboration

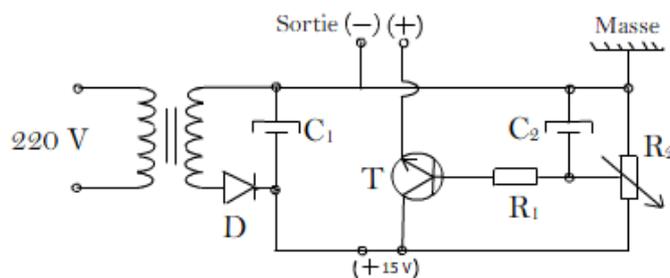
En passant par les différentes phases d'élaboration, le coût approximatif de l'élaboration de ces 2 supports de nœuds de dérivation (en Ariary) en Mai 2016 est résumé dans le tableau 14 :

| Matériels                     | Nombres | Prix (Ar)    |
|-------------------------------|---------|--------------|
| Contre-plaqué C <sub>1</sub>  | 2       | 200          |
| Planche modèle P <sub>1</sub> | 4       | 400          |
| Fiches bananes femelles       | 8       | 8000         |
|                               |         | Total : 8600 |

**Tableau 16: Coût d'élaboration des 2 supports de nœuds de dérivation**

### VII.Support de générateur à tension réglable de 0 à 15 V

Pour alimenter tous les montages, on doit concevoir un générateur réglable à tension continue variant de 0 à 15 V. Le schéma du montage de ce générateur à tension réglable est représenté ci-dessous :

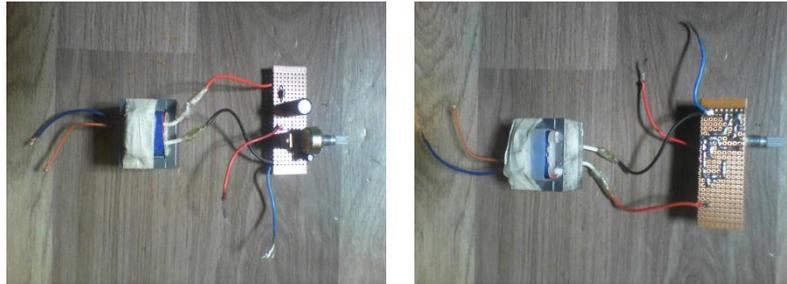


**Figure 108: Schéma du générateur réglable**

|                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| T=TIP 122                        | $C_2=10 \mu\text{F}$    |
| D=1N4007                         | $R_1=82\Omega$          |
| $C_1=1100\mu\text{F}/25\text{V}$ | $R_2=20\text{k} \Omega$ |

### A.Circuit imprimé du générateur réglable

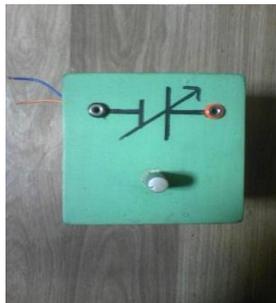
On a réalisé en premier lieu le circuit imprimé du schéma du générateur réglable représenté par la figure 100. C'est grâce à l'initiation en électronique à l'ENS qu'on a pu réaliser un circuit imprimé.



**Figure 109: Circuit imprimé du générateur réglable**

### B.Phases d'élaboration du support

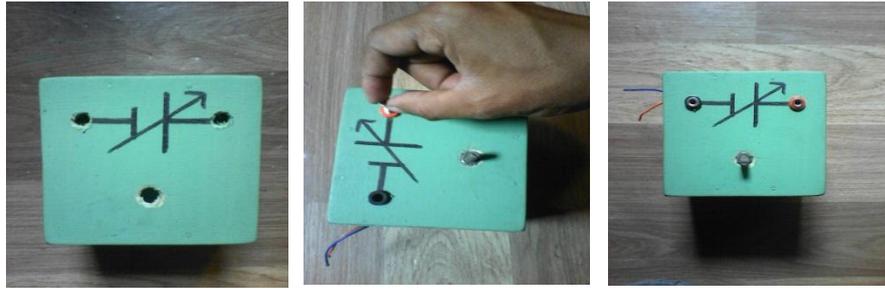
En second lieu, on a élaboré un support (figure 102) pour ce circuit imprimé du générateur réglable. Ce support est une boîte cubique de 11 cm de côté.



**Figure 110: Support de générateur à tension réglable de 0 à 15 V**

#### 1.Phases d'élaboration

Les phases d'élaboration de ce support sont presque les mêmes que celles des supports de composants précédemment élaborés. On passe aux sciages de contre-plaqué et planche, à l'assemblage et lissage, au peinturage, au traçage de symbole du générateur réglable et perçage de trous pour les douilles femelles, au montage des douilles, et enfin à l'implantation du circuit imprimé de ce générateur dans sa boîte en fermant par un couvercle.



**Figure 111: Traçage du symbole et perçage, montage des douilles**



**Figure 112: Implantation du circuit imprimé et fermeture de la boîte**

### **2. Prix approximatif de l'élaboration du support de générateur réglable**

Les coûts d'élaboration du circuit imprimé et son support (en Ariary) en Mai 2016 sont résumés dans le tableau qui suit :

| Matériels                          | Nombres | Prix (Ar)     |
|------------------------------------|---------|---------------|
| Contre-plaqué $C_1$                | 4       | 400           |
| Planche modèle $P_1$               | 2       | 200           |
| Fiches bananes femelles            | 2       | 2000          |
| Transformateur                     | 1       | 4000          |
| Composants pour le circuit imprimé | 7       | 4500          |
|                                    |         | Total : 11100 |

**Tableau 17: Coût d'élaboration d'un support de générateur réglable de 0 à 15 V**

### **VIII. Fils de connexion**

Pour le bon fonctionnement des montages électroniques, on doit préparer des fils de connexion. On utilise des fils de couleurs différentes (noir et rouge) pour faciliter le repérage et le montage électroniques de circuits quand on les construit (réalisent). Généralement et par convention, le fil noir est utilisé pour la mise à la masse (-) et le fil rouge permet de relier des composants aux bornes positives (+).



**Figure 113: Fils de connexions**

Les phases d'élaboration de ces fils de connexions sont :

- ✓ Coupure de fils électriques à l'aide d'un ciseau pour avoir les longueurs voulues : 30 cm (figure 114).



**Figure 114: Fils électriques de 30 cm de long**

- ✓ On fixe à l'aide d'un tourne vis les fiches bananes (figure 115) mâles et les fils de 30 cm de long afin d'avoir les fils de connexion.



**Figure 115: Fiches bananes mâles**

- **Coût approximatif :**

| Matériels              | Nombre | Prix (Ar)     |
|------------------------|--------|---------------|
| Fil électrique 2 mètre | 1      | 800           |
| Fiches bananes mâles   | 40     | 40000         |
|                        |        | Total : 40800 |

**Tableau 18: Coût d'élaboration des fils électriques**

**TROISIEME PARTIE :**  
**ACTIVITES**  
**EXPERIMENTALES**

## TROISIEME PARTIE : ACTIVITES EXPERIMENTALES

Cette partie est consacrée à la proposition des activités expérimentales, puisque nous savons que dans l'enseignement/apprentissage des sciences physiques, particulièrement l'électronique, l'expérience joue un rôle très important. Nous allons exploiter en travaux pratiques tous les matériels didactiques que nous avons élaborés auparavant. Ainsi, toutes les activités expérimentales concernant les résistors et les diodes sont destinées aux élèves de la classe de seconde. Mais de plus une activité sur le transistor est aussi à leurs dispositions. Une fiche de TP concernant les condensateurs est destinée aux élèves de la classe de première scientifique et une autre concernant les transistors pour les élèves de la classe terminale scientifique.

Pour l'étude de la caractéristique intensité-tension ou tension-intensité de tous les composants, nous devons regrouper les matériels didactiques convenables à chaque expérimentation, suivre les modes opératoires décrits dans chaque cas et mettre toujours en tête les objectifs que nous devons atteindre. Mais en tant qu'enseignant, nous n'oublions surtout pas d'interroger les élèves avec les prérequis appropriés à chaque activité expérimentale.

### I. Travaux pratiques sur l'étude de la courbe caractéristique intensité-tension d'un résistor

**Objectif :** -Tracer la courbe caractéristique intensité-tension d'un conducteur ohmique

**Prérequis :** -Utilisation d'un multimètre en mode voltmètre et en mode ampèremètre.

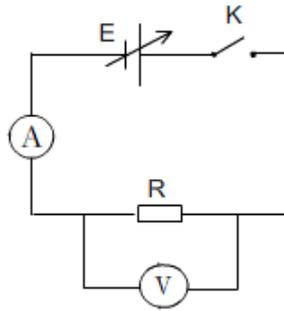
-Définition de dipôle passif, linéaire et symétrique

**Matériels didactiques et composants utilisés :**

- Un générateur de tension continue et réglable E
- Support de résistor avec un résistor  $R= 100 \text{ k}\Omega$
- Un interrupteur K
- Un ampèremètre
- Un voltmètre

**Manipulations :**

- Réaliser le montage suivant et suivez bien le protocole de mode opératoire décrit ci-dessous :



- Brancher en série d'abord le générateur de tension continue et réglable E, un interrupteur, un résistor et un ampèremètre tout en vérifiant que le générateur ne débite encore aucun courant et que l'interrupteur soit ouvert.
  - Monter en dérivation aux bornes du résistor le voltmètre
  - Fermer le circuit avec l'interrupteur K et allumer le générateur E
- Faire varier la tension  $U_{AB}$  aux bornes du résistor en tournant le potentiomètre du générateur de tension continue et réglable. Et compléter le tableau ci-dessous afin d'enregistrer les valeurs affichées sur le voltmètre et de noter les différentes valeurs de l'intensité  $I_{AB}$  indiquées par l'ampèremètre.

|              |   |  |  |  |  |
|--------------|---|--|--|--|--|
| $U_{AB}(V)$  | 0 |  |  |  |  |
| $I_{AB}(mA)$ | 0 |  |  |  |  |

- Tracer la courbe caractéristique  $U_{AB}$  en fonction de  $I_{AB}$ .
- Inverser le sens de branchement du résistor et refaire les mêmes opérations afin de compléter le tableau suivant :

|              |   |  |  |  |  |
|--------------|---|--|--|--|--|
| $U_{BA}(V)$  | 0 |  |  |  |  |
| $I_{BA}(mA)$ | 0 |  |  |  |  |

- Tracer la courbe caractéristique  $U_{BA}$  en fonction de  $I_{BA}$ .
- Interpréter et conclure.

## II. Travaux pratiques sur l'étude de la courbe caractéristique intensité-tension d'une diode à jonction

**Objectifs :** -Tracer la courbe caractéristique intensité-tension d'une diode à jonction  
 -Démontrer le fonctionnement de la diode

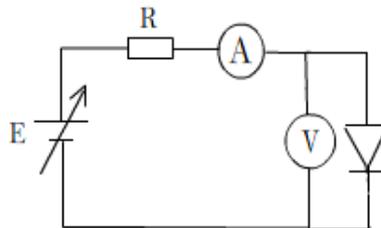
**Prérequis :** -Utilisation d'un multimètre en mode voltmètre et en mode ampèremètre.  
 -Définition de dipôle passif, non linéaire et non symétrique

**Matériels didactiques et composants utilisés :**

- Un générateur de tension continue et réglable E
- Support d'une diode à jonction avec une diode 1N4004
- Support de résistor avec un résistor  $R=220\Omega$
- Un ampèremètre
- Un voltmètre

**Manipulations :**

- Réaliser le montage suivant et suivez bien le protocole de mode opératoire décrit ci-dessous en vérifiant que le générateur n'est pas encore allumé.

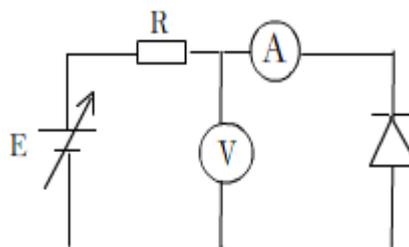


- Brancher en série le générateur de tension continue et réglable E, un résistor, l'ampèremètre et la diode dans son sens passant (sens direct)
  - Monter en dérivation aux bornes de la diode le voltmètre
- Faire varier la tension de l'alimentation E et compléter le tableau ci-dessous

|             |   |  |  |  |  |
|-------------|---|--|--|--|--|
| $U_{AK}(V)$ | 0 |  |  |  |  |
| $I_D(mA)$   | 0 |  |  |  |  |

- Tracer la courbe caractéristique intensité-tension directe de la diode 1N4004  $I_D=f(U_{AK})$

- Inverser le sens de branchement de la diode afin d'obtenir le montage représenté par la figure suivante et refaire les mêmes opérations pour pouvoir compléter le tableau ci-dessous :



|             |   |  |  |  |  |
|-------------|---|--|--|--|--|
| $U_{KA}(V)$ | 0 |  |  |  |  |
| $I_D(mA)$   | 0 |  |  |  |  |

-Tracer la courbe caractéristique intensité-tension inverse de la diode

$$I_D=f(U_{KA})$$

-Conclure en expliquant brièvement le fonctionnement de la diode

### III. Travaux pratiques sur l'étude de la courbe caractéristique intensité-tension d'une diode zener

**Objectifs :** -Tracer la courbe caractéristique intensité-tension d'une diode zener

-Démontrer le fonctionnement de la diode zener

**Prérequis :** -Utilisation d'un multimètre en mode voltmètre et en mode ampèremètre.

-Définition de dipôle passif, non linéaire et non symétrique

**Matériels didactiques et composants utilisés :**

-Un générateur de tension continue et réglable

-Support de diode zener 6 V

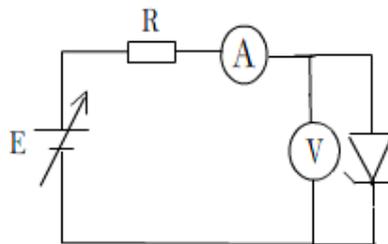
- Support de résistor avec un résistor  $R= 220\Omega$

-Un ampèremètre

-Un voltmètre

**Manipulations :**

- Réaliser le montage suivant et suivez bien le protocole de mode opératoire décrit ci-dessous en vérifiant que le générateur n'est pas encore allumé.



- Brancher en série le générateur de tension continue et réglable E, la diode zener dans son sens passant (sens direct) et l'ampèremètre

- Monter en dérivation aux bornes de la diode zener le voltmètre

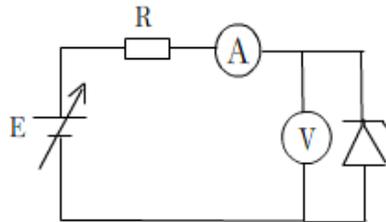
-Faire varier la tension de l'alimentation E et compléter le tableau ci-dessous

|             |   |  |  |  |  |
|-------------|---|--|--|--|--|
| $U_{AK}(V)$ | 0 |  |  |  |  |
| $I_Z(mA)$   | 0 |  |  |  |  |

-Tracer la courbe caractéristique intensité-tension directe de la diode

$$I_Z=f(U_{AK}).$$

-Inverser le sens de branchement de la diode zener afin d'obtenir le montage représenté ci-dessous et refaire les mêmes opérations pour compléter le tableau suivant :



|             |   |  |  |  |  |
|-------------|---|--|--|--|--|
| $U_{KA}(V)$ | 0 |  |  |  |  |
| $I_Z(mA)$   | 0 |  |  |  |  |

-Tracer la courbe caractéristique intensité-tension inverse de la diode zener

$$I_Z=f(U_{KA})$$

-Conclure en expliquant brièvement le fonctionnement de la diode zener.

#### IV. Travaux pratiques sur l'étude de la courbe caractéristique intensité-tension d'une diode électroluminescente (DEL)

**Objectifs :** -Tracer la courbe caractéristique intensité-tension d'une DEL

-Dégager la propriété d'une DEL.

-Démontrer le fonctionnement de la diode DEL

**Prérequis :** -Utilisation d'un multimètre en mode voltmètre et en mode ampèremètre.

-Définition de dipôle passif, linéaire et symétrique

**Matériels didactiques et composants utilisés :**

- Un générateur de tension continue et réglable

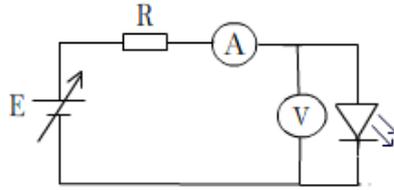
- Support de résistor avec un résistor  $R= 220\Omega$

- Un ampèremètre

- Un voltmètre

**Manipulations :**

- Réaliser le montage suivant et suivez bien le protocole de mode opératoire décrit ci-dessous en vérifiant que le générateur n'est pas encore allumé.



- Brancher en série avec le générateur de tension continue et réglable, l'ampèremètre et la DEL dans son sens passant (sens direct).
- Monter en dérivation aux bornes de la diode LED le voltmètre
- Faire varier la tension de l'alimentation E et mesurer la tension  $U_{AK}$  aux bornes de la DEL
- Compléter le tableau ci-dessous :

|             |   |  |  |  |  |
|-------------|---|--|--|--|--|
| $U_{AK}(V)$ | 0 |  |  |  |  |
| $I_D(mA)$   | 0 |  |  |  |  |

- Tracer la courbe caractéristique intensité-tension directe de la diode DEL  
 $I_D=f(U_{AK})$
- Brancher la DEL dans le sens inverse et noter l'observation
- Conclure en expliquant brièvement le fonctionnement de la diode DEL

### V. Travaux pratiques sur l'étude de la charge et décharge d'un condensateur à travers un résistor : pour les 1<sup>ère</sup> scientifiques

**Objectifs :** - Tracer la courbe  $U_C=f(t)$ .

- Dégager la constante de temps  $\tau$  d'un dipôle RC
- Dégager les propriétés électriques d'un condensateur.

**Prérequis :** - Utilisation d'un multimètre en mode voltmètre et en mode ampèremètre.

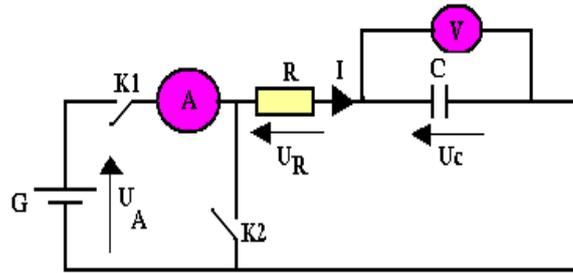
- Propriétés d'un condensateur et d'un résistor
- Traçage d'un segment tangent à une courbe

**Matériels didactiques et composants utilisés :**

- Un générateur de tension continue et réglable G
- Support de résistor avec un résistor  $R=1,5\text{ k}\Omega$
- Support de condensateur avec un condensateur de  $100\mu\text{F}$
- Deux interrupteurs
- Un ampèremètre
- Un voltmètre

## Manipulations :

-Réaliser le montage suivant :



- Ajuster la tension délivrée par le générateur à 6 V.
- Allumer le générateur et fermer l'interrupteur  $K_1$  afin de charger le condensateur C, en gardant ouvert l'interrupteur  $K_2$
- Ouvrir  $K_1$  en même temps qu'on ferme l'interrupteur  $K_2$  afin de décharger le condensateur
- Observer les variations des tensions aux bornes du condensateur en complétant le tableau ci-dessous :

| Temps $t$ (s) | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
|---------------|---|---|---|---|---|----|
| $U_C$ (V)     |   |   |   |   |   |    |

- Tracer la courbe  $U_C=f(t)$ . Donner sa nature
- Déduire de la courbe la constante de temps  $\tau$  du dipôle RC étudié.

## VI. Travaux pratiques sur l'étude de la courbe caractéristique intensité-tension d'un transistor bipolaire

### A.T.P.1 sur le Transistor : pour 2<sup>nd</sup>

**Objectifs :** -Identifier les deux régimes de fonctionnement du transistor : linéaire et saturé

- Tracer la courbe caractéristique de sortie du transistor :  $I_C=f(U_{CE})$ .
- Tracer la courbe caractéristique d'entrée du transistor :  $I_B=f(U_{BE})$
- Démontrer le rôle du transistor dans un montage

**Prérequis :** -Utilisation d'un multimètre en mode voltmètre et en mode ampèremètre.

- Montage EC (émetteur commun)
- Brochage d'un transistor
- Condition de fonctionnement d'un transistor
- Distinction du circuit d'entrée (circuit de base ou de commande) et du circuit de sortie (circuit commandé)

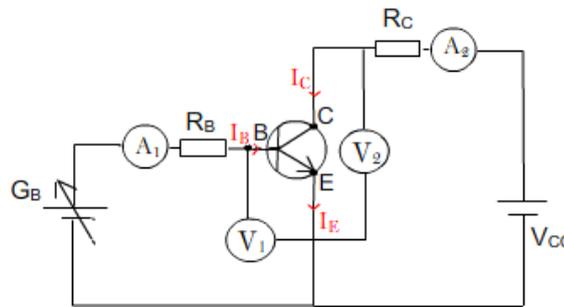
-Loi d'Ohm et lois de Kirchhoff

**Matériels didactiques et composants utilisés :**

- Un générateur de tension continue et réglable  $G_B$
- Un support de pile 9 V avec la pile pour se servir du générateur  $G_C$
- Support de transistor avec un transistor NPN BC547
- Support de deux résistors avec deux résistors  $R_B=220 \Omega$  et  $R_C= 1,5 k\Omega$
- Deux ampèremètres
- Deux voltmètres

**Manipulations :**

- Réaliser le montage ci-après en vérifiant que le générateur  $G_B$  n'est pas encore mis sous tension et que son curseur est au niveau inférieur:



- Allumer  $G_B$  et faire varier maintenant la tension  $U_{BE}$  en tournant pas à pas le curseur du générateur  $G_B$ .
- Observer les variations des tensions et intensités sur les multimètres à chaque valeur de  $U_{BE}$  puis compléter le tableau suivant :

|             |  |  |  |  |
|-------------|--|--|--|--|
| $U_{BE}(V)$ |  |  |  |  |
| $I_B(mA)$   |  |  |  |  |
| $U_{CE}(V)$ |  |  |  |  |
| $I_C(mA)$   |  |  |  |  |

- Tracer la courbe caractéristique d'entrée du transistor  $I_B=f(U_{BE})$  et celle de la sortie  $I_C=f(U_{CE})$ .
- Déterminer graphiquement les points de fonctionnement du transistor BC547
- Conclure en expliquant brièvement le fonctionnement d'un transistor

## B.T.P.2 : TP sur les multivibrateurs : Clignotant, pour 2<sup>nd</sup> et Terminales scientifiques

- Objectifs :**
- Tracer la courbe caractéristique intensité-tension du dipôle collecteur-émetteur : caractéristique de sortie d'un multivibrateur
  - Démontrer la commutation des transistors dans un montage multivibrateur
  - Démontrer la précision de la valeur des résistances des résistors et de la capacité des condensateurs

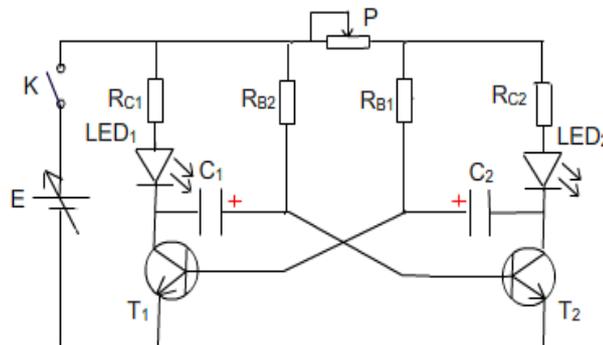
- Prérequis :**
- Utilisation d'un multimètre en mode voltmètre et en mode ampèremètre.
  - Montage EC (émetteur commun)
  - Brochage d'un transistor
  - Condition de fonctionnement d'un transistor
  - Distinction du circuit d'entrée (circuit de base ou de commande) et du circuit de sortie (circuit commandé)
  - Définitions d'une oscillation, de la période et de la fréquence

### Matériels didactiques et composants utilisés :

- Un générateur de tension continue et réglable E
- Support de deux transistors avec deux transistors BC547
- 4 supports de résistors avec résistors  $R_{B1}=R_{B2}=100k\Omega$  et  $R_{C1}=R_{C2}=1,5k\Omega$
- 2 Supports de lampes LED verte et rouge
- Support de deux condensateurs avec deux condensateurs  $C_1=C_2=100\mu F$
- Un interrupteur
- Un ampèremètre
- Un voltmètre

### Manipulations :

- Réaliser le montage suivant :



- Ajuster la tension d'alimentation E à 6 V à l'aide d'un voltmètre en tournant doucement le potentiomètre du générateur réglable. Gardant l'interrupteur K ouvert.
- Alimenter le circuit en allumant le générateur et en fermant l'interrupteur K puis régler le potentiomètre P pour avoir un clignotement assez lent (visible et que l'on peut compter) des 2 lampes LED.
- Insérer dans le circuit les multimètres pour pouvoir mesurer les tensions de sorties et les courants de collecteurs de chaque transistor
- Observer les variations des intensités et des tensions, et relever les signaux sur les collecteurs des 2 transistors afin de compléter le tableau suivant :

|                      |                  |   |  |  |  |  |
|----------------------|------------------|---|--|--|--|--|
| <b>T<sub>1</sub></b> | I <sub>C1</sub>  | 0 |  |  |  |  |
|                      | U <sub>CE1</sub> |   |  |  |  |  |
| <b>T<sub>2</sub></b> | I <sub>C2</sub>  | 0 |  |  |  |  |
|                      | U <sub>CE2</sub> |   |  |  |  |  |

- Tracer la courbe  $U_{CE} = f(I_C)$  de chaque transistor. Interpréter le fonctionnement des transistors.
- Diminuer la valeur de  $R_{B1}=R_{B2}$  ou celle de  $C_1=C_2$ . Interpréter et conclure le fait que vous observe sur le clignotement des LED.

Pour Terminale scientifique seulement

- Mesurer la fréquence de clignotement des 2 LED avec un chronomètre en chronométrant 10 clignotements d'une des 2 LED. Calculer la période et la fréquence de clignotement de cette LED puis vérifier que ces résultats

coïncident aux résultats théoriques :  $T = 2R * C * \ln 2$  et  $f = \frac{1}{2R * C * \ln 2}$

# CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

Pour terminer, l'enseignement/apprentissage de l'électronique doit s'appuyer et surtout se baser sur l'observation et l'expérimentation puisque l'électronique fait partie des sciences physiques et l'observation permet de mieux comprendre les phénomènes. Ainsi, nous pouvons apprendre l'électronique avec des cours-travaux pratiques en classe secondaire. De plus, pour faire apprendre l'électronique aux élèves l'enseignant doit chercher tous les moyens pour sensibiliser ses élèves à s'intéresser aux phénomènes physiques dans la vie courante, notamment l'évolution technologique qui est le fruit de l'électronique.

Nous avons réalisé ce travail dans le but de sensibiliser les enseignants que pour faire apprendre l'électronique il est mieux de faire des travaux pratiques avec des montages électroniques rencontrés dans la vie courante et les manques de matériels didactiques dans les laboratoires de certains lycées à Madagascar ne sont pas des blocages pour procéder à élaborer des cours-travaux pratiques. En effet, on peut élaborer nous-même nos matériels didactiques pour l'enseignement de l'électronique.

Ce travail qui, sans doute, entre dans le cadre de l'enseignement/apprentissage de l'électronique en classe de seconde comporte trois grandes parties :

La première partie a été consacrée à des études bibliographiques et webographiques sur les composants électroniques rencontrés en classe secondaire ainsi que l'étude proprement dite des montages multivibrateurs qui est notre principal objet d'étude. Nous décrivons d'une manière assez détaillée l'utilisation de quelques composants électroniques et toutes les lois physiques qu'on applique en électronique surtout dans les montages multivibrateurs.

Dans la deuxième partie de ce travail, nous avons détaillé les phases d'élaboration de tous les matériels didactiques que nous avons élaborés ainsi que les coûts approximatifs de l'élaboration de chaque support de composants électroniques.

Nous proposons dans la troisième et dernière partie de ce travail des fiches de travaux pratiques pour les activités expérimentales qu'on puisse faire avec les matériels didactiques que nous avons élaborés. Chaque fiche comporte les objectifs à atteindre à chaque activité ainsi que les prérequis que l'enseignant doit synthétiser lui-même selon le niveau des élèves de sa classe. Nous avons proposés une fiche TP pour l'étude des caractéristiques des résistors, une chacune pour celles des diodes à jonction, DEL et

diode zener qui sont destinées aux élèves de la classe de seconde. De plus une activité sur le transistor est aussi à leurs dispositions. Une fiche de TP concernant les condensateurs est destinée aux élèves de la classe de première scientifique et une autre concernant les transistors pour les élèves de la classe terminale scientifique.

Notre travail est loin d'être parfait, les matériels que nous avons conçus et élaborés présentent des imperfections, le contenu et la forme de notre ouvrage ne sont pas aussi parfaits. Nous souhaitons des conseils et des critiques, pour mieux améliorer notre futur travail, de votre part chers aimables lecteurs. Malgré toutes imperfections, nous pensons que ce mémoire peut être utile pour nos cadets et pour les élèves qui veulent encore continuer l'étude des multivibrateurs que ce soit à transistor bipolaire qu'avec des circuits intégrés 555 ou avec des AOP ou avec les circuits logiques TTL et CMOS ou bien concevoir et réaliser des convertisseurs et des générateurs à basse fréquence ou GBF comme outils didactiques des enseignants aux lycées à Madagascar,...

# BIBLIOGRAPHIE

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Battesti, R., Brisse, G., Delva, J.-M., Leclervo, J., Terrier, G., Trannoy, R., & Martin, P. (Eds) (1994). *Physique Appliquée 1<sup>ère</sup> STI*. Paris : Hachette.
- [2] Fraudet, H., Milsant, F. (1978). *Cours d'électricité tome I*. Paris : Eyrolles.
- [3] Bramand, F., Faye, P., Thomassier, G. (1983). *Physique Terminale D*. Paris : Hachette.
- [4] Chappert, R., Cojean, J., Campa, A. (1969). *L'automatisme par les problèmes, tome I*. Paris : Foucher.
- [5] Charlot, R., Cros, A., Walter, C. (1979). *Fondements de la Physique 2<sup>e</sup> CT*. Paris : Collection A. Cros.
- [6] Heiser, T. (2006). *Cours d'Electronique Analogique*. France : Institut d'Electronique du Solide et des Systèmes (InESS), Campus Cronembourg. Tiré dans <http://www-iness.c-strasbourg.fr/~heiser/EA/> consulté en Juin 2015
- [7] Ratsimbazafy, A. (2005). *Etude d'une alimentation de secours à base d'onduleur autonome monophasé à MLI*. Antananarivo : Ecole Supérieure Polytechnique, Mémoire Génie industriel N°16.
- [8] Razanavahy, A. (2002). *Conception, élaboration et exploitation des matériels didactiques pour l'enseignement des diodes et transistors en classe de seconde*. Antananarivo : Mémoire CAPEN ENS Tana Physique Chimie, N° d'ordre : 191PC.
- [9] Saison, A., Allain, G., Blameau, M., Duboc, J., Herchen, C., Merat, R., Niard, J. (1980). *Physique Terminale D*. Paris : Nathan.
- [10] Agati, P., Chateigner, G., Bouix, D., Boes, M., Vaillant, J. (2006). *Aide-Mémoire Electricité, électronique de commande et de puissance, électrotechnique*. Paris : Dunod.
- [11] Diard, M., Gallois, J.-C., Niard, P., Savel, G., Sybilensky, M. (1985). *Cours d'électricité machines électriques-électronique*. France: Nathan Technique.
- [12] Ramanantsoa, F.-A. (2012). *Elaboration d'un didacticiel pour l'étude et la caractérisation des transistors bipolaires*. Mémoire CAPEN ENS Tana Physique Chimie, N° d'ordre : 313 PC.
- [13] Blumeau, M., Bourdais, J., Duboc, J. (1989). *Physique TC et E*. Paris : Bordas.
- [14] Gaborieau, O., Larran, D., Baby, J.-M., Fillon, P., Carré-Montréjaud, H. (1994). *Physique Chimie 3<sup>e</sup>*. Paris : Nathan.

- [15] Léger, V. (2010). *Physique Appliquée BTS électrotechnique-les bases et l'électronique de puissance*. France : Ellipses.
- [16] Millsant,F.(1993).*Cours d'électronique : Composants électroniques*. Paris : Eyrolles.
- [17] Radolalaina, Z. (2011). *Conception d'un outil didactique multimédia pour l'étude des caractéristiques des dipôles électriques en classe de seconde*. Mémoire CAPEN ENS Tana Physique Chimie, N° d'ordre : 301 PC
- [18] Anjaniaina, B. (2015). *Conception et élaboration de circuit électroniques simples pour les classes secondaires*. Mémoire CAPEN ENS Tana Physique Chimie, N° d'ordre : 342 PC
- [19] Andrianasolo, L.-S. (2007). *Création des pages web pour l'enseignement de l'électricité de la classe de seconde*. Mémoire CAPEN ENS Tana Physique Chimie, N° d'ordre : 248 PC
- [20] Boittiaux, B. (2004). Tiré dans [www.polytech-lille.fr/cours-atome-circuit-integre/bip/bip360.html](http://www.polytech-lille.fr/cours-atome-circuit-integre/bip/bip360.html) consulté en Juin 2015
- [21] Educmad. (2013). *Cours de seconde*. Retrouvé sur <http://www.educnet.education.fr>. Consulté en mai 2015
- [22] Gérard. *Annexe du cours-Les principaux composants électroniques*. Tiré dans [http://f6kgl.f5kff.free.fr/annexe%20cours\\_radio.pdf](http://f6kgl.f5kff.free.fr/annexe%20cours_radio.pdf) consulté en Novembre 2015
- [23] Masson,P.(2009).*Le transistor bipolaire*. France : Ecole Polytechnique Universitaire de Nice Sophia Antipolis Parcours des écoles d'ingénieurs polytech (Peip).Tirédans <http://users.polytech.unice.fr/~pmasson/Enseignement/Bipolaire%20Cours%20-%20Impression%20-%20MASSON.pdf> consulté en Octobre 2015
- [24] Chevassu, C. *Transistors bipolaires*. Tiré dans <http://mach.elec.free.fr/divers/oscillateurs/oscillateurs.pdf> consulté en Décembre 2015

# ANNEXES

## ANNEXES

### Annexe 1 : Programme d'électricité en classe de seconde

**Objectif général :** 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"> <li>• Interpréter l'électrisation par frottement ;</li> <li>• Montrer que deux charges de même signe se repoussent et que deux charges de signes contraires s'attirent</li> <li>• Interpréter le passage du courant électrique dans un métal</li> <li>• Représenter dans un circuit fermé le sens conventionnel du courant</li> <li>• Définir et mesurer l'intensité d'un courant électrique</li> </ul> | <p><b>▼ Électrisation par frottement. Les deux espèces d'électricité et leur interaction</b></p> <p><b>▼ Nature courant électrique dans un métal. Sens conventionnel du courant</b></p> <p><b>▼ Intensité d'un courant électrique</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A traiter après la leçon sur l'atome</li> <li>▪ La loi de Coulomb n'est au programme</li> <li>▪ Ne traiter que le cas du courant continu</li> <li>▪ Ce sens est purement conventionnel : il est dirigé, à l'extérieur du générateur, du pôle + vers pôle -.</li> <li>▪ Définir la quantité d'électricité <math>Q</math> traversant une section d'un conducteur pendant une durée <math>t</math> : <math>Q = n \cdot q_e \cdot I</math> avec <math>q_e</math> la charge d'un électro et <math>n</math> le nombre d'électrons traversant la section pendant la durée <math>t</math>.</li> <li>▪ Définir l'intensité <math>I</math> du courant</li> </ul> |

|   |  |   |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesurer la tension entre deux points d'un circuit électrique</li> <br/> <li>• Déterminer la résistance d'un conducteur ohmique équivalent à l'ensemble de deux conducteurs ohmiques montés en série ;</li> <br/> <li>• Déterminer la résistance d'un conducteur ohmique équivalent à l'ensemble de deux conducteurs ohmiques montés en dérivation ;</li> <br/> <li>• Réaliser une tension variable ;</li> <br/> <li>• Tracer la caractéristique</li> </ul> | <p style="text-align: center;"><b>▼ Tension électrique ou d.d.p. entre deux points d'un circuit électrique</b></p><br><p style="text-align: center;"><b>▼ Association en série des deux conducteurs ohmiques</b></p><br><p style="text-align: center;"><b>▼ Association en dérivation des deux conducteurs ohmiques</b></p><br><p style="text-align: center;"><b>▼ Existence de tensions variables</b></p> | $I = \frac{Q}{t}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tenir compte des incertitudes des mesures :<br/>Incertitude = <math>\frac{\text{classe} \times \text{calibre}}{100}</math><br/>Un bon choix du calibre s'avère donc nécessaire pour avoir une mesure beaucoup plus précise</li> <br/> <li>▪ Tenir compte des incertitudes des mesures :<br/>Incertitude = <math>\frac{\text{classe} \times \text{calibre}}{100}</math><br/>Un bon choix du calibre s'avère donc nécessaire pour avoir une mesure beaucoup plus précise</li> <br/> <li>▪ 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</li> <li>▪ Utiliser cette loi pour calculer la résistance équivalente</li> <li>▪ Vérifier le résultat ainsi trouvé à l'aide d'un ohmmètre</li> <br/> <li>▪ Vérifier la loi des nœuds en utilisant les intervalles d'incertitude.</li> <li>▪ Utiliser cette loi pour calculer la résistance équivalente</li> <li>▪ Vérifier le résultat ainsi trouvé à l'aide d'un ohmmètre</li> <br/> <li>▪ 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.</li> </ul> |
|---|--|---|

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p><math>U = f(I)</math> ou <math>I = g(U)</math> de chacun es dipôles suivants : conducteur ohmique, diode à jonction et diode Zener ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tracer la caractéristique <math>U = f(I)</math> d'une pile ;</li> <li>• Déterminer le point de fonctionnement d'un circuit</li> <li>• Définir et représenter une thermistance</li> <li>• Définir et représenter une photorésistance ;</li> <li>• Définir et représenter une diode électroluminescente</li> <li>• Décrire et représenter un transistor</li> </ul> | <p><b>▼ Dipôles</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Étude expérimentale des caractéristiques : intensité, tension ou tension interne de quelques dipôles passifs : conducteur ohmique, diode à jonction et diode Zener</li> <li>▪ Étude expérimentale des caractéristiques : intensité, tension d'un dipôle actif (pile)</li> <li>▪ Point de fonctionnement d'un circuit</li> <li>▪ Exemples de dipôles commandés : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Par la température : thermistance</li> <li>- Par la lumière : photorésistance</li> <li>- Par une tension : cas de la diode électroluminescente</li> </ul> </li> <li>▪ Transistor</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Respecter les limites d'utilisation des composants électriques que vous considérez.</li> <li>▪ Pour le cas de conducteur ohmique, calculer sa résistance <math>R = \text{pente de la droite } U = f(I)</math></li> <li>▪ Vérifier le résultat ainsi trouvé à l'aide d'un ohmmètre</li> <li>▪ Déterminer graphiquement la f.é. m. et la résistance <math>r</math> de la pile sachant que : <math>U = E - rI</math></li> <li>▪ Poser le problème évoquant la nécessité de prévoir le point de fonctionnement d'un circuit.</li> <li>▪ Résoudre le problème pour les cas suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Circuit pile-conducteur ohmique ;</li> <li>- Circuit pile-diode à jonction dans le sens direct ;</li> <li>- Circuit pile-diode Zener dans le sens direct</li> </ul> </li> <li>▪ Montrer expérimentalement que la résistance d'une thermistance diminue lorsque la température s'élève</li> <li>▪ Montrer expérimentalement que la résistance d'une photorésistance diminue rapidement lorsque l'éclairement auquel il est soumis augmente</li> <li>▪ 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</li> </ul> |
|---|---|---|



## Annexe 2 : Historique de la technologie et des transistors

En 1941, le développement du premier ordinateur fonctionnel par Konrad Zuse est à marquer d'une pierre blanche dans le domaine de l'électronique. L'invention du transistor a pris la relève de l'ère des tubes à vides : tubes électroniques ou tubes à vide utilisés pour les premiers ordinateurs dans les années 1940-1950 (Image issue de la collection de la Retro-Computing Society of Rhode Island, figure 124).



Figure 116: Tubes à vide

Le terme transistor provient de l'anglais transconductance varistor (résistance variable de transconductance). Il a été voté par un comité directeur de 26 personnes des Bell's Labs (New Jersey, USA) le 28 mai 1948. Mais l'effet transistor a été découvert en 1947 par les américains John Bardeen, William B.Shockley et Walter H. Brattain, chercheurs de la compagnie Bell Téléphone. Ils ont inventés le **transistor à pointes** ou **transistor à contact** (figure 125) et le font fonctionner pour la première fois le 23 Décembre 1947. Ils ont reçu le prix Nobel de physique en 1956. Les Bell's labs rendent public la découverte en Juin 1948. Mais en Juin 1948, indépendamment de Bell's labs, Herbert Matter et Heinrich Welker inventent aussi en France le transistor à contact : **transistron** (figure 126).



Figure 117: Transistor à contact



Figure 118: Transistron

L'invention du transistor marque le début de la révolution électronique ainsi qu'informatique et a initié le début de la miniaturisation des composants électroniques de la fin du XX<sup>em</sup> siècle. Le transistor a permis la réalisation de nombreux appareils. Ce sont des composants essentiels dans tous les appareils électroniques (ordinateurs, appareils photos numériques, téléphones portables, consoles de jeux vidéo, radios, voitures, etc...).. La cellule mémoire à transistor unique est mise au point par Robert Demnard d'IBM en 1966. Ce concept est encore utilisé dans les mémoires dynamiques (DRAM ou dynamic random acces memory). C'est avec des FET ou TEC : Transistors à Effet de Champ (MOS, metal oxyd semiconductor) que le premier circuit intégré (CI ou IC) a été réalisé chez Texas Instruments le 12 Septembre 1958 par l'Américain Jack Kilby. Aujourd'hui, si nous disposons de la technique des processeurs, c'est grâce à l'invention de la puce électronique. Cette invention a permis de développer les ordinateurs modernes de nos jours: un microprocesseur d'ordinateur actuel est composé de quelques millions de transistors.

#### **Evolution du nombre de transistors dans les microprocesseurs.**

- 1971: microprocesseur qui fonctionne sur 4 bits, le **4004** : 2 300 transistors
- 1978: 8086 : 29 000 transistors
- 1982: 80286 275 000 transistors
- 1989: 80486 : 1,16 million de transistors
- 1993: Pentium : 3,1 millions de transistors
- 1995: Pentium Pro : 5,5 millions de transistors
- 1997: Pentium II : 27 millions de transistors
- 2001: Pentium 4 : 42 millions de transistors
- 2004: Pentium Extreme Edition : 169 millions de transistors
- 2006: Core 2 Duo : 291 millions de transistors, Core 2 Quad : 582 millions de transistors, G80 (Nvidia) : 681 millions de transistors
- 2007: Dual-Core Itanium 2 : 1,7 milliards de transistors, POWER6 (IBM) : 291 millions de transistors
- 2008: RV770 (ATI) : 956 millions de transistors, Sandisk 12 GB microSDHC : 50 milliards de transistors

### Annexe 3 : Fiche technique des transistors NPN : BC547A, BC547B, BC547C

#### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

| Characteristic   | Symbol  | Min             | Typ                                    | Max                              | Unit                                   |
|--|---|-----------------|--|----------------------------------|--|
| <b>ON CHARACTERISTICS</b>  |   |                 |  |                                  |  |
| DC Current Gain<br>( $I_C = 10 \mu\text{A}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$ )   | BC547A/548A<br>BC546B/547B/548B<br>BC548C                                   | h <sub>FE</sub> | —<br>—<br>—                            | 90<br>150<br>270                 | —<br>—<br>—                            |
| ( $I_C = 2.0 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$ )  | BC546<br>BC547<br>BC548<br>BC547A/548A<br>BC546B/547B/548B<br>BC547C/BC548C |                 | 110<br>110<br>110<br>110<br>200<br>420 | —<br>—<br>—<br>180<br>290<br>520 | 450<br>800<br>800<br>220<br>450<br>800 |
| ( $I_C = 100 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$ )  | BC547A/548A<br>BC546B/547B/548B<br>BC548C                                   |                 | —<br>—<br>—                            | 120<br>180<br>300                | —<br>—<br>—                            |
| Collector–Emitter Saturation Voltage<br>( $I_C = 10 \text{ mA}$ , $I_B = 0.5 \text{ mA}$ )<br>( $I_C = 100 \text{ mA}$ , $I_B = 5.0 \text{ mA}$ )<br>( $I_C = 10 \text{ mA}$ , $I_B = \text{See Note 1}$ ) |   | $V_{CE(sat)}$   | —<br>—<br>—                            | 0.09<br>0.2<br>0.3               | 0.25<br>0.6<br>0.6                     |
| Base–Emitter Saturation Voltage<br>( $I_C = 10 \text{ mA}$ , $I_B = 0.5 \text{ mA}$ )  |   | $V_{BE(sat)}$   | —                                      | 0.7                              | —                                      |
| Base–Emitter On Voltage<br>( $I_C = 2.0 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$ )<br>( $I_C = 10 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$ )   |   | $V_{BE(on)}$    | 0.55<br>—                              | —<br>—                           | 0.7<br>0.77                            |

#### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

| Characteristic  | Symbol                                   | Min           | Typ               | Max                    | Unit                  |
|---|--|---------------|-------------------|------------------------|-----------------------|
| <b>OFF CHARACTERISTICS</b>  |  |               |                   |                        |                       |
| Collector–Emitter Breakdown Voltage<br>( $I_C = 1.0 \text{ mA}$ , $I_B = 0$ )   | BC546<br>BC547<br>BC548                  | $V_{(BR)CEO}$ | 65<br>45<br>30    | —<br>—<br>—            | —<br>—<br>—           |
| Collector–Base Breakdown Voltage<br>( $I_C = 100 \mu\text{A}$ )   | BC546<br>BC547<br>BC548                  | $V_{(BR)CBO}$ | 80<br>50<br>30    | —<br>—<br>—            | —<br>—<br>—           |
| Emitter–Base Breakdown Voltage<br>( $I_E = 10 \mu\text{A}$ , $I_C = 0$ )  | BC546<br>BC547<br>BC548                  | $V_{(BR)EBO}$ | 6.0<br>6.0<br>6.0 | —<br>—<br>—            | —<br>—<br>—           |
| Collector Cutoff Current<br>( $V_{CE} = 70 \text{ V}$ , $V_{BE} = 0$ )<br>( $V_{CE} = 50 \text{ V}$ , $V_{BE} = 0$ )<br>( $V_{CE} = 35 \text{ V}$ , $V_{BE} = 0$ )<br>( $V_{CE} = 30 \text{ V}$ , $T_A = 125^\circ\text{C}$ ) | BC546<br>BC547<br>BC548<br>BC546/547/548 | $I_{CES}$     | —<br>—<br>—<br>—  | 0.2<br>0.2<br>0.2<br>— | 15<br>15<br>15<br>4.0 |

#### SMALL–SIGNAL CHARACTERISTICS

|  |  |           |                                 |                             |                                 |     |
|--|--|-----------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----|
| Current–Gain — Bandwidth Product<br>( $I_C = 10 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$ , $f = 100 \text{ MHz}$ )   | BC546<br>BC547<br>BC548  | $f_T$     | 150<br>150<br>150               | 300<br>300<br>300           | —<br>—<br>—                     | MHz |
| Output Capacitance<br>( $V_{CB} = 10 \text{ V}$ , $I_C = 0$ , $f = 1.0 \text{ MHz}$ )  |  | $C_{obo}$ | —                               | 1.7                         | 4.5                             | pF  |
| Input Capacitance<br>( $V_{EB} = 0.5 \text{ V}$ , $I_C = 0$ , $f = 1.0 \text{ MHz}$ )  |  | $C_{ibo}$ | —                               | 10                          | —                               | pF  |
| Small–Signal Current Gain<br>( $I_C = 2.0 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$ , $f = 1.0 \text{ kHz}$ )   | BC546<br>BC547/548<br>BC547A/548A<br>BC546B/547B/548B<br>BC547C/548C | $h_{fe}$  | 125<br>125<br>125<br>240<br>450 | —<br>—<br>220<br>330<br>600 | 500<br>900<br>260<br>500<br>900 | —   |
| Noise Figure<br>( $I_C = 0.2 \text{ mA}$ , $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$ , $R_S = 2 \text{ k}\Omega$ ,<br>$f = 1.0 \text{ kHz}$ , $\Delta f = 200 \text{ Hz}$ ) | BC546<br>BC547<br>BC548  | NF        | —<br>—<br>—                     | 2.0<br>2.0<br>2.0           | 10<br>10<br>10                  | dB  |

#### $h_{FE}$ Classification

| Classification | A         | B         | C         |
|----------------|-----------|-----------|-----------|
| $h_{FE}$       | 110 ~ 220 | 200 ~ 450 | 420 ~ 800 |

## Annexe 4 : Les dipôles électriques

### a. Dipôles passifs

Un dipôle passif est un dipôle récepteur. Toute l'énergie électrique reçue est transformée en chaleur : effet Joule. La caractéristique tension-courant  $U=f(I)$  ou courant-tension  $I=g(U)$  d'un dipôle passif passe par l'origine des axes. Et la puissance électrique reçue par ces dipôles est toujours positive.

- **Dipôle passif linéaire :**

Quand la caractéristique courant-tension est une droite d'équation  $I=G.U$  ou  $U=RI$ , on parle de dipôle passif linéaire. La puissance est  $P=U.I=R.I^2=G.U^2$

Exemples de dipôle passifs linéaires : résistors, CTN, magnétorésistance, photorésistance.

- **Dipôle passif non linéaire :**

Sa caractéristique n'est pas linéaire mais passe par l'origine des axes

Exemples de dipôles passifs non linéaires : diode à jonction, DEL, diode zener (tous asymétriques), varistances (symétrique)

### b. Dipôle actifs

Pour un dipôle actif, toute l'énergie électrique mise en jeu n'est pas transformée en chaleur : il y a transformation d'énergie. La caractéristique tension-courant  $U=f(I)$  ou courant-tension  $I=g(U)$  d'un dipôle actif ne passe par l'origine des axes. Et elle n'est pas symétrique, c'est ainsi qu'il faut distinguer les 2 bornes des dipôles.

## Annexe 5 : Diviseur de tension et diviseur de courant [1]

### Diviseur de tension

Chaque fois qu'on rencontre des résistors branchés en série, on est en présence d'un diviseur de tension. Et ils sont donc traversés par le même courant, d'après la loi des intensités dans un circuit en série :

$$I = I_1 = I_2 = \dots$$

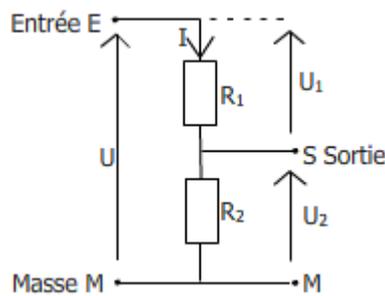


Figure 119: Diviseur de tension

On a :  $U_1 = R_1 * I$  ,  $U_2 = R_2 * I$

Donc :

$$U = U_1 + U_2 = (R_1 + R_2) * I$$

D'où :  $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * U$

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * U$$

### Diviseur de courant

Chaque fois que des résistors sont branchés en parallèle (en dérivation), on a un diviseur de courant. Ces résistors sont donc soumis à la même tension (loi des tensions dans un montage parallèle :  $U = U_1 = U_2 = \dots$ ). [1]

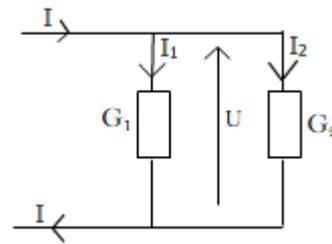


Figure 120: Diviseur de courant

On a :  $I_1 = G_1 * U$  ,  $I_2 = G_2 * U$

Donc :  $I = I_1 + I_2 = (G_1 + G_2) * U$

D'où :  $I_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} * I$  et  $I_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} * I$

Or:  $G_1 = \frac{1}{R_1}$  et  $G_2 = \frac{1}{R_2}$

et Ainsi :  $I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * I$  et

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * I$$

## Annexe 6 : Calcul de la période, fréquence et rapport cyclique d'un multivibrateur astable à NE555

On a une oscillation complète de période  $T$  lorsque le condensateur  $C$  se décharge de  $2/3$  de  $V_{CC}$  à  $1/3$  de  $V_{CC}$  puis se recharge de  $1/3$  de  $V_{CC}$  à  $2/3$  de  $V_{CC}$ . La période de ce type de multivibrateur est donc  $T$  telle que  $T = T_1 + T_2$  où  $T_1$  est la durée de l'état haut et  $T_2$  celle de l'état bas.

### a. Calcul de $T_1$ pendant la charge de $C$

#### • Equation de charge de $C$ :

On sait que  $C$  se charge à travers  $R_a$  et  $R_b$  de  $1/3$  de  $V_{CC}$  à  $2/3$  de  $V_{CC}$  et que pendant ce temps (entre  $t_1$  et  $t_2$ )  $V_S = V_{CC}$  donc son équation de charge est :

$$(R_a + R_b) * i(t) + u(t) = V_{CC}$$

$$\text{Avec : } i(t) = \frac{dQ}{dt} = C \frac{du(t)}{dt}$$

$$\text{Donc : } (R_a + R_b) * C \frac{du(t)}{dt} + u(t) = V_{CC} \text{ ou } (R_a + R_b) * C \frac{du(t)}{dt} + u(t) - V_{CC} = 0 \quad (1)$$

$$\text{Posons : } x = u - V_{CC} \text{ et à l'origine (à } t_1) : (u_c)_0 = \frac{1}{3} V_{CC} \text{ Donc : } x = -\frac{2}{3} V_{CC}$$

$$(1) \text{ Devient : } (R_a + R_b) * C \frac{dx}{dt} + x = 0$$

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{dt}{(R_a + R_b) * C} \text{ (Intégrons membre à membre)}$$

$$\ln x = -\frac{t}{(R_a + R_b) * C} + cste$$

$$x = A * e^{-\frac{t}{(R_a + R_b) * C}}$$

$$\text{A } t_1 : x = -\frac{2}{3} V_{CC} \text{ Donc : } A = -\frac{2}{3} V_{CC}$$

$$\text{Ainsi : } x = -\frac{2}{3} V_{CC} * e^{-\frac{t}{(R_a + R_b) * C}} \text{ et } u(t) = x + V_{CC} = V_{CC} - \frac{2}{3} V_{CC} * e^{-\frac{t}{(R_a + R_b) * C}}$$

$$\text{D'où : } u(t) = V_{CC} * \left(1 - \frac{2}{3} * e^{-\frac{t}{(R_a + R_b) * C}}\right) \text{ est l'équation de charge de } C \text{ (équation (2))}$$

- **Temps de charge de C ou durée de l'état haut:**  $T_1$

C est chargé de  $1/3$  de  $V_{CC}$  à  $2/3$  de  $V_{CC}$ , le système est à l'état haut de durée  $T_1$ .

$$\text{Donc } u(T_1) = \frac{2}{3}V_{CC} \text{ Alors dans (2) : } u(T_1) = V_{CC} * \left(1 - \frac{2}{3} * e^{-\frac{T_1}{(R_a+R_b)*C}}\right) = \frac{2}{3}V_{CC}$$

$$\frac{2}{3} - 1 = -\frac{2}{3} e^{-\frac{T_1}{(R_a+R_b)*C}}$$

$$-\frac{1}{3} = -\frac{2}{3} e^{-\frac{T_1}{(R_a+R_b)*C}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\frac{T_1}{(R_a+R_b)*C}}$$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\frac{T_1}{(R_a + R_b) * C}$$

$$-\ln 2 = -\frac{T_1}{(R_a + R_b) * C}$$

$$\text{D'où : } T_1 = (R_a + R_b) * C \ln 2$$

**b. Calcul de  $T_2$  pendant la décharge de C**

- **Equation de décharge de C**

On sait que C se décharge à travers  $R_b$  de  $2/3$  de  $V_{CC}$  à  $1/3$  de  $V_{CC}$  et que pendant ce temps (entre  $t_2$  et  $t_3$ )  $V_S=0$  donc son équation de décharge est :

$$R_b * i(t) + u(t) = 0$$

$$\text{Avec : } i(t) = \frac{dQ}{dt} = C \frac{du(t)}{dt}$$

$$\text{Donc : } R_b * C \frac{du(t)}{dt} + u(t) = 0 \text{ (1)}$$

$$\text{La solution est de la forme } u(t) = A * e^{-\frac{t}{R_b * C}}$$

$$\text{Or à l'origine (à } t_2) : (u_c)_0 = \frac{2}{3}V_{CC} \text{ Donc de (1) : } A = \frac{2}{3}V_{CC}$$

$$\text{D'où : } u(t) = \frac{2}{3}V_{CC} * e^{-\frac{t}{R_b * C}} \text{ est l'équation de décharge de C (équation (3))}$$

- **Temps de décharge de C ou durée de l'état bas :  $T_2$**

Le condensateur C est déchargé de  $2/3$  de  $V_{CC}$  à  $1/3$  de  $V_{CC}$ , le système est à l'état bas de durée  $T_2$ . Donc  $u(T_2) = \frac{1}{3}V_{CC}$  Alors dans (3) :

$$u(T_2) = \frac{2}{3}V_{CC} * e^{-\frac{T_2}{(R_a + R_b) * C}} = \frac{1}{3}V_{CC}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\frac{T_2}{R_b * C}}$$

$$-\ln 2 = -\frac{T_2}{R_b * C}$$

D'où :  $T_2 = R_b * C \ln 2$

Ainsi  $T = T_1 + T_2 = (R_a + R_b) * C \ln 2 + R_b * C \ln 2$

D'où la période T du multivibrateur à CI NE555 est :

$$T = (R_a + 2R_b) * C \ln 2$$

Et la fréquence d'oscillations est  $f$  telle que  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{(R_a + 2R_b) * C \ln 2}$  ou en prenant  $\ln 2 \approx 0,7$  :

$$f = \frac{1,44}{(R_a + 2R_b) * C}$$

Mais de plus, le rapport cyclique  $\alpha$  définie par le rapport de la durée de l'état haut et la

période :  $\alpha = \frac{T_1}{T}$  est

$$\alpha = \frac{R_a + R_b}{R_a + 2R_b}$$



**Auteur :** ANDRIAMANAMPISOA Vony Clark

**Téléphone :** +261349235634 ou +261337429791

**Email :** [vonyclark@yahoo.fr](mailto:vonyclark@yahoo.fr) ou [vonyclark@outlook.fr](mailto:vonyclark@outlook.fr)

## « ELABORATION, CONCEPTION ET EXPLOITATION DE MATERIELS DIDACTIQUES POUR L'ETUDE DES TRANSISTORS EN COMMUTATION : LES MULTIVIRATEURS A TRANSISTORS BIPOLAIRES »

### **Résumé :**

Ce mémoire de fin d'étude présente des matériels didactiques qui sont exploités en travaux pratiques pour l'enseignement/apprentissage de l'électronique en classe secondaire. Nous pouvons réaliser divers montages électroniques avec ces matériels didactiques tels que les multivibrateurs ainsi que les montages pour l'étude des caractéristiques des composants électroniques rencontrés en classe secondaire. Ce travail comporte trois parties :

La première partie traite l'étude des composants électroniques rencontrés en classe secondaire : rôles, caractéristiques et utilisations, ainsi que les lois physiques appliquées en électronique surtout dans les montages multivibrateurs.

La deuxième partie de ce travail décrit l'élaboration de tous les matériels didactiques qu'on a conçus : phases d'élaborations et coût approximatif

La troisième et dernière partie de ce travail propose 6 fiches de travaux pratiques dont 4 destinées aux élèves de la classe de seconde, une pour les élèves de la classe première scientifique et une autre concernant les transistors pour les élèves de la classe terminale scientifique.

**Mots clés :** Transistor, commutation, multivibrateurs, oscillateur, timer, temporisateur, signal, amplificateur, trigger, comparateur.

**Nombres de pages :** 95

**Nombres de figures :** 120

**Nombres de tableaux :** 18

**Directeur de mémoire :** Prof. ANDRIANARIMANANA Jean Claude Omer