

# Physique *appliquée*

1<sup>re</sup> STI  
Génie électronique

Marie-Claude Didier  
Lycée les Iris, Lormont

Jacques Lafargue  
Lycée Gustave Eiffel, Bordeaux

Thierry Lecourieux  
Lycée Richelieu, Rueil-Malmaison

Gérard Montastier  
Lycée Dorian, Paris

Sous la direction de Robert Le Goff

**NATHAN**  
**TECHNIQUE**

# AVANT-PROPOS

Destinée aux élèves de 1<sup>re</sup> STI, Génie électronique, cette nouvelle édition tient compte des aménagements de programme parus au *BO* du 20 décembre 2001.

Il propose un cours évitant toute inflation, construit autour d'approches expérimentales et des savoir-faire que l'élève doit acquérir. La rubrique *L'Essentiel* résume les connaissances à retenir. Des exercices nombreux, variés, progressifs, présentés dans le cours (applications avec solutions) ou en fin de chapitre (QCM, *exercices résolus*, *exercices avec résultats* et *exercices à résoudre*) permettent à l'élève de contrôler et de consolider ses acquisitions.

Avec ce manuel, l'élève dispose en effet d'un outil pour découvrir et travailler la physique appliquée à ses trois niveaux :

- le niveau des connaissances scientifiques : définitions, lois, théorèmes, ordres de grandeur, unités ;
- le niveau des savoir-faire expérimentaux : utilisation des appareils de mesure classiques, protocoles expérimentaux, méthodes de mesure ;
- le niveau des savoir-faire théoriques : utilisation des lois, des théorèmes, des formules, des méthodes de raisonnement et des techniques de calcul.

Les auteurs

# SOMMAIRE

## LOIS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTRICITÉ EN CONTINU

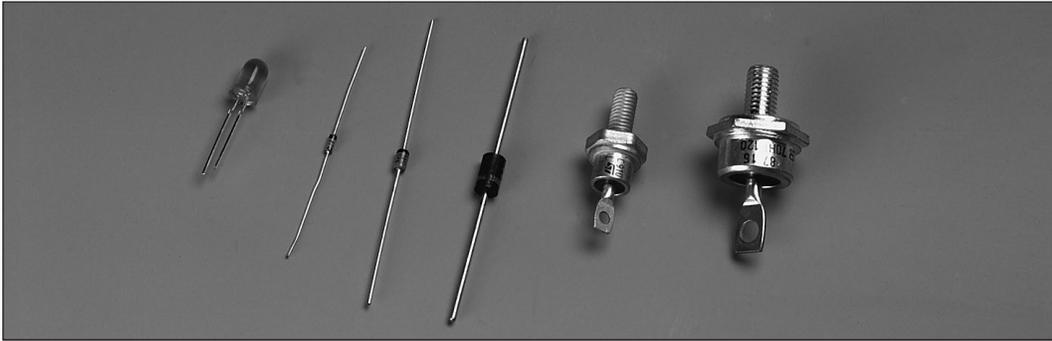
<b>1. Circuit électrique, intensité, tension</b> .....	7
1. Circuit électrique .....	7
2. Intensité du courant électrique ...	8
3. Loi des noeuds .....	11
4. Différence de potentiel ou tension électrique .....	12
5. Loi des mailles .....	14
6. Puissances mises en jeu dans un circuit .....	15
<b>2. Loi d'Ohm pour un dipôle passif</b> ...	21
1. Qu'appelle-t-on résistor ? .....	21
2. Loi d'Ohm pour un résistor linéaire .....	21
3. Résistivité et conductivité .....	24
4. Résistor non linéaire .....	25
5. Résistor commandé .....	26
6. Associations de résistors linéaires .....	26
<b>3. Les dipôles actifs</b> .....	33
1. Dipôle actif .....	33
2. Fonctionnement en générateur .....	34
3. Fonctionnement en récepteur .....	39
4. Transformation de Thévenin ...	41
5. Transformation de Norton .....	45
6. Théorème de superposition ...	46
<b>4. Puissance et énergie électriques</b> .	53
1. Puissance électrique .....	53
2. Énergie électrique .....	54
3. Conservation de l'énergie .....	56
4. Rendement d'un convertisseur .....	58
5. Conséquences de l'effet Joule ...	59
<b>5. Les condensateurs</b> .....	65
1. Comment forme-t-on un condensateur ? .....	65
2. Propriétés d'un condensateur ...	66
3. Champ électrique et force électrostatique .....	70
4. Associations de condensateurs .....	72

## ÉLECTROMAGNÉTISME

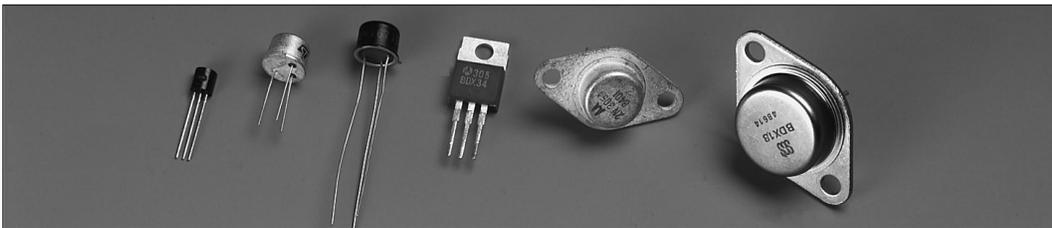
<b>6. Le champ magnétique</b> .....	79
1. Qu'appelle-t-on champ magnétique ? .....	79
2. Vecteur champ magnétique ...	81
3. Action d'un champ magnétique sur une particule chargée en mouvement .....	84
4. Intensité du champ magnétique et intensité du courant dans un circuit .....	86
<b>7. Actions électromagnétiques</b> .....	93
1. Qu'est-ce qu'une force électromagnétique ? .....	93
<b>8. Induction électromagnétique</b> .....	101
1. Qu'est-ce que l'induction électromagnétique ? .....	101
2. Qu'appelle-t-on courant induit ? .....	104
<b>9. Auto-induction</b> .....	109
1. Force électromotrice d'auto-induction .....	109
2. Relation entre la fém d'auto-induction et le courant variable .....	111
3. Modèles de dipôles inductifs ...	113
4. Énergie électromagnétique emmagasinée par une bobine ...	115
5. Applications de l'auto-induction .....	116
<b>RÉGIMES VARIABLES</b>	
<b>10. Grandeurs périodiques</b> .....	123
1. Valeur instantanée .....	123
2. Grandeur périodique .....	124
3. Fréquence d'une grandeur périodique .....	124
4. Valeur moyenne d'une grandeur périodique .....	125
5. Valeur efficace d'une grandeur périodique .....	127
6. Généralisation .....	129
<b>11. Régimes transitoires</b> .....	137
1. Dipôles linéaires passifs .....	137
2. Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance .....	138

3. Établissement et annulation d'un courant dans une bobine ...	143
4. Charge et décharge d'un condensateur dans un circuit inductif .....	146
<b>12. Régimes sinusoïdaux</b> .....	153
1. Qu'est-ce qu'un régime sinusoïdal ? .....	153
2. Expression d'une grandeur sinusoïdale .....	154
3. Valeur moyenne .....	155
4. Valeur efficace .....	156
5. Comment représenter une grandeur sinusoïdale ? .....	156
6. Déphasage entre deux grandeurs sinusoïdales de même fréquence .....	160
<b>13. Dipôles linéaires élémentaires en régime sinusoïdal</b> .....	165
1. Objectif de l'étude .....	165
2. Conducteur ohmique .....	166
3. Bobine parfaite .....	169
4. Condensateur parfait .....	172
<b>14. Associations de dipôles - Résonance</b> .....	179
1. Objectif de l'étude .....	179
2. Dipôle $R, L, C$ série .....	180
3. Dipôle $R, L, C$ parallèle .....	184
<b>15. Puissances en régime sinusoïdal</b> ..	193
1. Puissance instantanée .....	193
2. Puissance active ou puissance moyenne .....	195
3. Puissance apparente .....	197
4. Facteur de puissance .....	198
5. Wattmètres .....	199
<b>16. Systèmes triphasés équilibrés</b> ...	205
1. Qu'appelle-t-on tensions simples ? .....	205
2. Qu'appelle-t-on tensions composées ? .....	207
3. Comment coupler des récepteurs triphasés équilibrés ? .....	209
4. Puissance active reçue .....	210
<b>FONCTIONS DE L'ÉLECTRONIQUE</b>	
<b>17. Diodes et transistors</b> .....	215
1. Qu'est-ce qu'une diode à jonction ? .....	215
2. Diode Zéner et application ...	218
3. Transistor bipolaire .....	220
<b>18. Redressement monophasé</b> .....	227
1. Principe de redressement d'une tension alternative .....	227
2. Comment effectuer un redressement double alternance ? .....	229
3. Filtrage d'une tension redressée .....	233
<b>19. Transistor, régime continu, régime variable</b> .....	241
1. Polarisation d'un transistor ...	241
2. Modes de fonctionnement .....	245
3. Transistor en régime variable ...	246
4. Compléments .....	249
<b>20. Amplificateur opérationnel</b> .....	259
1. Amplificateur opérationnel ...	259
2. Caractéristiques d'un amplificateur opérationnel ...	260
3. Amplificateur en régime linéaire .....	263

# 17 DIODES ET TRANSISTORS



Jeu de diodes : DEL, diodes Zéner, diodes de redressement.



Jeu de transistors divers : du transistor de commutation au transistor de puissance.

## 1. QU'EST-CE QU'UNE DIODE À JONCTION ?

### 1.1. PRINCIPE DE RÉALISATION

Des matériaux comme le silicium et le germanium, à l'état pur, à très basse température et dans l'obscurité, sont isolants. Un apport d'énergie peut les rendre conducteurs : ils sont alors qualifiés de semi-conducteurs.

Pour améliorer leur conduction, on réalise des semi-conducteurs impurs par apport d'une faible quantité d'atomes (dits dopants) :

- trivalents (ils ont trois électrons sur la couche périphérique) comme l'aluminium et le gallium, pour réaliser des semi-conducteurs dopés P ;
- pentavalents (cinq électrons sur la couche périphérique) comme le phosphore et l'arsenic, pour réaliser des semi-conducteurs dopés N.

**Exemple** Une diode de redressement au silicium est constituée d'un fragment de cristal dont une partie est dopée P et l'autre partie dopée N (fig. 17.1). La zone de séparation (dite zone de transition) entre la partie P et la partie N constitue une jonction appelée *jonction PN*.

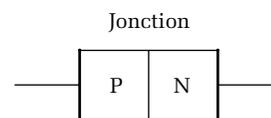
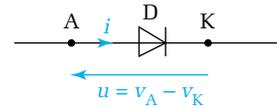


Figure 17.1. Jonction PN

Vue de l'extérieur, une diode est un dipôle présentant deux bornes : les électrodes. L'une est l'anode (A), c'est celle qui est reliée à la partie dopée P ; l'autre est la cathode (K), c'est celle qui est reliée à la partie dopée N. La figure 17.2 donne le symbole général d'une diode associé à une convention d'orientation : la convention récepteur.

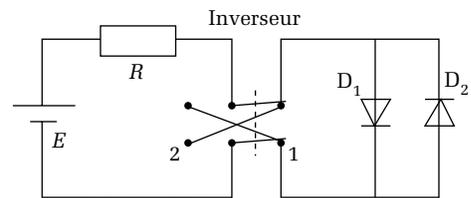


**Figure 17.2.** Symbole d'une diode et convention d'orientation choisie

Suivant la nature du semi-conducteur, la concentration en impuretés, l'épaisseur de la zone de transition, etc., on réalise plusieurs catégories de diodes à jonction : diodes de redressement, diodes tunnel, diodes électroluminescentes, diodes Zéner, diodes laser, etc.

## 1.2. ÉTUDE QUALITATIVE

Réalisons le montage de la figure 17.3, dans lequel les diodes  $D_1$  et  $D_2$  sont des diodes électroluminescentes (elles émettent de la lumière lorsqu'un courant les traverse). Elles sont alimentées par une source de tension continue de fém  $E = 15\text{ V}$  associée à une résistance de protection  $R = 470\ \Omega$ . Un inverseur permet l'application d'une tension positive ou négative à l'association en parallèle inverse des deux diodes.



**Figure 17.3.** Mise en évidence des états passant et bloqué

Lorsque l'inverseur est en position 1, la DEL verte  $D_1$  est allumée et la DEL rouge  $D_2$  est éteinte : on dit que la diode  $D_1$  est passante car un courant la traverse (de l'anode vers la cathode) et que la diode  $D_2$  est bloquée (aucun courant ne la traverse).

Lorsque l'inverseur est en position 2, la DEL verte  $D_1$  est éteinte et la DEL rouge  $D_2$  est allumée : la diode  $D_1$  est bloquée et la diode  $D_2$  est passante.

Conclusions :

**Une diode est un composant dissymétrique qui ne laisse passer le courant que dans un sens : de l'anode vers la cathode.**  
**Quand la tension entre l'anode et la cathode est négative, la diode ne conduit pas : on dit qu'elle est polarisée dans le sens inverse.**  
**Quand la diode conduit, on dit qu'elle est polarisée dans le sens direct.**

## 1.3. CARACTÉRISTIQUE STATIQUE COURANT-TENSION D'UNE DIODE DE REDRESSEMENT

L'étude expérimentale peut se faire avec une diode de référence 1N4007. Les intensités des courants et les tensions pouvant être faibles, la consommation des appareils de mesure peut fausser les résultats. Une position adéquate de ces appareils, minimisant leurs effets, permet une bonne qualité de mesures.

### 1.3.1. Étude expérimentale

#### ■ Polarisation directe

Réalisons le montage de la figure 17.4.

La diode utilisée peut être traversée par des courants dont l'intensité doit être inférieure à 1 ampère. Le choix de la puissance maximale admissible par la résistance ( $P = RI^2$ ) est une autre limitation : avec une résistance de  $100\ \Omega$  et  $4\ \text{W}$ , les intensités des courants peuvent atteindre la valeur maximale  $\hat{i} = \sqrt{\frac{4}{100}} = 0,2\ \text{A}$ .

$$\hat{i} = \sqrt{\frac{4}{100}} = 0,2\ \text{A}.$$

L'alimentation fournissant une tension continue réglable, relevons la caractéristique  $i(u)$  en faisant attention de ne pas dépasser  $0,2\ \text{A}$  (pour ne pas détruire la résistance). Nous obtenons la caractéristique de la figure 17.5.

#### ■ Polarisation inverse

Réalisons le montage de la figure 17.6. L'intensité du courant est mesurée avec un microampèremètre.

*Remarque :* La résistance de  $68\ \text{k}\Omega$  protège le microampèremètre dans le cas où la diode utilisée serait branchée à l'envers ou court-circuitée.

L'alimentation réglable permet de relever la caractéristique  $i(u)$ . Nous obtenons la caractéristique de la figure 17.7.

### 1.3.2. Exploitation

Les deux caractéristiques précédentes peuvent être regroupées en une seule (fig. 17.8).

- La caractéristique obtenue en polarisation directe montre que le dipôle n'est pas linéaire (la caractéristique  $i(u)$  n'est pas une droite). Pour une tension inférieure à  $0,6\ \text{V}$  environ, l'intensité du courant qui traverse la diode est nulle : elle est bloquée. Au-delà de cette tension, appelée tension de seuil  $u_s$ , elle se met à conduire ; l'intensité du courant qui la traverse augmente très rapidement alors que la tension à ses bornes augmente très peu : la diode est passante.

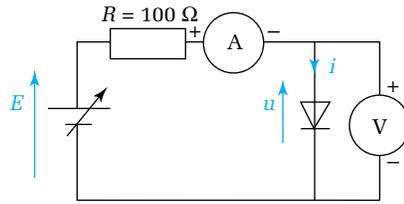


Figure 17.4. Relevé de la caractéristique directe d'une diode 1N4007

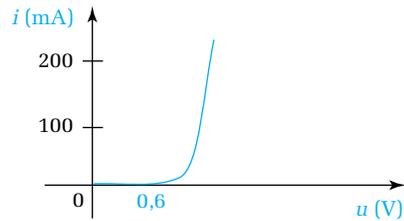


Figure 17.5. Caractéristique directe d'une diode 1N4007

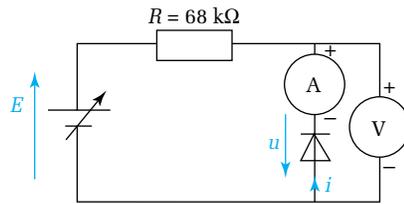


Figure 17.6. Relevé de la caractéristique inverse d'une diode 1N4007

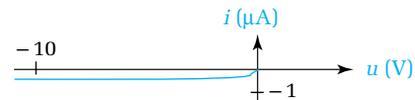


Figure 17.7. Caractéristique inverse d'une diode 1N4007

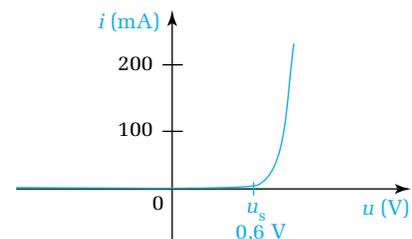


Figure 17.8. Caractéristique statique d'une diode 1N4007

- La caractéristique obtenue en polarisation inverse montre que l'intensité du courant qui traverse la diode est pratiquement nulle : elle varie très peu avec la tension ; la diode est bloquée.

### 1.3.3. Modélisation

L'observation de la caractéristique de la figure 17.8 permet de définir deux modèles simples de la diode de redressement : l'un tient compte de la tension de seuil  $u_s$  (fig. 17.9), l'autre néglige cette tension de seuil (fig. 17.10). Ce second modèle est le modèle équivalent d'une diode idéale ; il est suffisant dans de nombreuses applications.

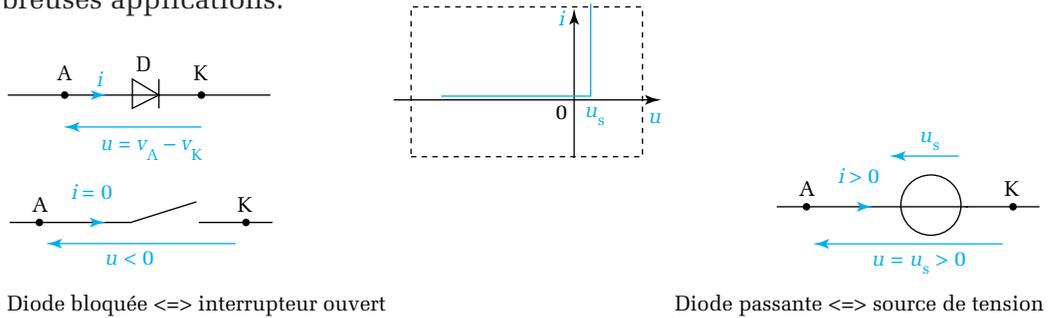


Figure 17.9. Modèle équivalent d'une diode

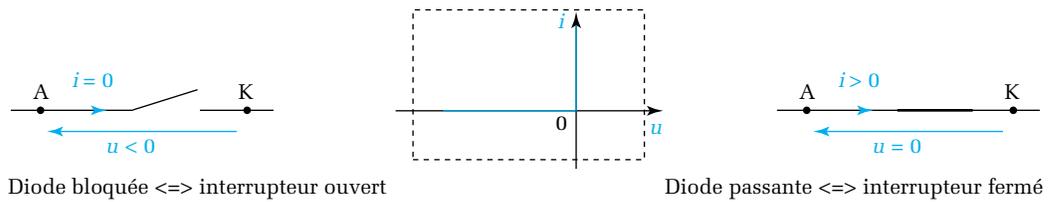


Figure 17.10. Modèle équivalent d'une diode idéale

Une diode idéale se comporte comme un interrupteur électronique unidirectionnel qui serait fermé lorsque la diode est passante ( $i > 0$  et  $u = 0$ ), et ouvert lorsque la diode est bloquée ( $u < 0$  et  $i = 0$ ).

## 2. DIODE ZÉNER ET APPLICATION

En électronique, un autre type de diode est très employé : la diode Zéner.

### 2.1. PRÉSENTATION

Cette diode peut être traversée par un courant en inverse et, si l'on reste dans le domaine des puissances compatibles avec la puissance maximale fixée par le constructeur, le claquage de la jonction n'est pas destructif : il y a reconstitution de la jonction après suppression de la tension inverse appliquée. Très souvent les orientations choisies sont inversées par rapport à celles prises pour la diode de redressement. Son symbole est légèrement différent de celui d'une telle diode (fig. 17.11).

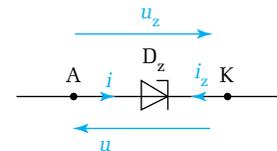


Figure 17.11. Symbole et convention d'orientation pour une diode Zéner

## 2.2. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA CARACTÉRISTIQUE COURANT-TENSION D'UNE DIODE ZÉNER

### 2.2.1. Montage

Réalisons le montage de la figure 17.12.

Lorsque l'inverseur est en position 1, la diode Zéner est polarisée en direct.

Lorsque l'inverseur est en position 2, la diode Zéner est polarisée en inverse.

En procédant comme pour l'étude de la diode de redressement, nous obtenons la caractéristique  $i(u)$  de la figure 17.13.

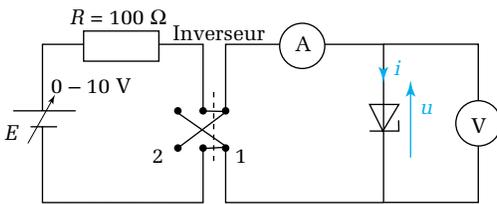


Figure 17.12. Relevé de la caractéristique  $i(u)$  d'une diode Zéner  $V_z = 5,6$  V

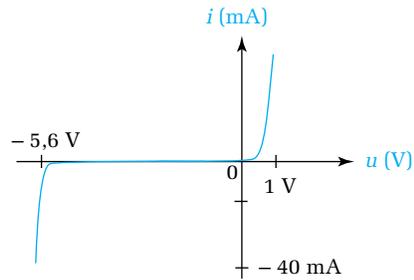


Figure 17.13. Caractéristique statique d'une diode Zéner

### 2.2.2. Observations

- Dans le sens direct, nous retrouvons une caractéristique semblable à celle de la diode de redressement : elle est passante pour une tension  $u$  supérieure à la tension de seuil  $u_s$  de l'ordre de 0,7 V (la résistance  $R = 100 \Omega$  limite l'intensité du courant direct à moins de 100 mA).

- Dans le sens inverse, la diode est bloquée jusqu'à 5,6 V environ. Dès que cette tension est atteinte, l'intensité du courant qui la traverse croît brutalement : la résistance de  $100 \Omega$  permet de limiter l'intensité du courant inverse à 44 mA. 5,6 V est appelée tension Zéner, elle est symbolisée par  $V_z$ .

Les constructeurs proposent des diodes Zéner dont les tensions peuvent être comprises entre 2,4 V et 270 V.

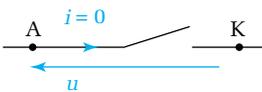
### 2.2.3. Modélisation

Le modèle équivalent d'une diode Zéner idéale est donné figure 17.14.

Polarisation inverse :

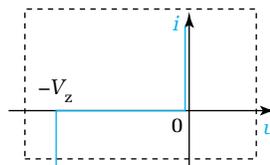
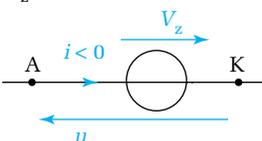
- Pour  $-V_z < u < 0$  :

$D_z \Leftrightarrow$  interrupteur ouvert



- Pour  $u = -V_z$  :

$D_z \Leftrightarrow$  récepteur parfait de tension



Polarisation directe :

$D_z \Leftrightarrow$  interrupteur fermé

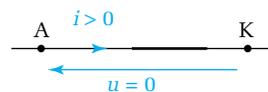


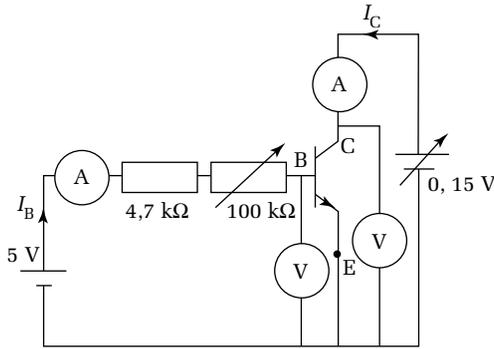
Figure 17.14. Modèle équivalent d'une diode Zéner idéale



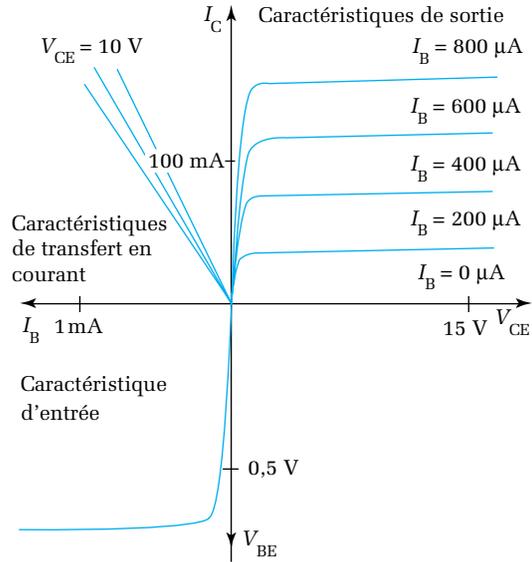
### 3.2.1. Montage

Prenons l'exemple du transistor NPN de référence 2N1711. Le montage de la figure 17.18 permet un relevé de ses caractéristiques.

Nous obtenons le réseau de caractéristiques de la figure 17.19.



**Figure 17.18.** Montage pour le relevé des caractéristiques statiques du transistor NPN 2N1711



**Figure 17.19.** Réseau de caractéristiques statiques du transistor 2N1711

### 3.2.2. Observations

- Pour une intensité  $I_B$  du courant de base nulle, aucun courant ne traverse le collecteur :  $I_C = 0$ , le transistor est bloqué.
- Pour une intensité  $I_B$  du courant de base non nulle, un courant traverse le collecteur :  $I_C \neq 0$ , le transistor est passant.
- Pour une intensité  $I_B$  du courant de base constante, l'intensité  $I_C$  du courant traversant le collecteur augmente très légèrement avec la tension  $V_{CE}$ .
- En maintenant la tension  $V_{CE}$  constante, l'intensité  $I_C$  augmente en même temps que l'intensité du courant de base.

**Le fonctionnement d'un transistor est commandé par la base.**

*Remarque :* Dans cette expérience, la jonction base-émetteur est polarisée dans le sens direct ; la jonction collecteur-base, polarisée en inverse, laisse passer un courant d'intensité non négligeable : c'est ce que l'on appelle l'effet transistor.

Ce résultat peut être généralisé.

**Pour un transistor NPN passant, la tension base-émetteur ( $V_{BE}$ ) est voisine de 0,6 V.**

**Dans le cas d'un transistor PNP passant, la tension base-émetteur serait voisine de -0,6 V.**

La tension  $V_{CE}$  influe légèrement sur les caractéristiques de transfert en courant  $I_C(I_B)$ . Ce sont sensiblement des droites dont les coefficients directeurs sont symbolisés par la lettre  $\beta$ , que l'on appelle « coefficients d'amplification en courant ». Pour le transistor 2N1711, nous trouvons une valeur moyenne de  $\beta$  de 200.

À tension  $V_{CE}$  constante, l'intensité  $I_C$  du courant traversant le collecteur est proportionnelle à l'intensité  $I_B$  du courant traversant la base :  $I_C = \beta I_B$ . L'ensemble transistor-alimentation se comporte comme un générateur de courant commandé par le courant de base.

Les caractéristiques de sortie sont des droites pratiquement équidistantes pour des accroissements égaux de l'intensité  $I_B$ . Le transistor passe très rapidement en régime de saturation.

### 3.3. VALEURS LIMITES D'UTILISATION D'UN TRANSISTOR

Pour les transistors bipolaires, il y a :

- une limitation de fonctionnement en courant à l'entrée  $I_{B\text{lim}}$  et à la sortie  $I_{C\text{lim}}$  : ces valeurs d'intensités ne doivent pas être dépassées afin d'éviter une destruction probable du transistor ;
- une limitation de fonctionnement en tension : pour de fortes valeurs de la tension  $V_{CE}$ , l'intensité du courant traversant le collecteur peut croître brutalement ; on atteint alors la zone de claquage du transistor qui peut être détruit par effet d'avalanche. Il y a donc une valeur limite  $V_{CE\text{lim}}$  de la tension entre collecteur et émetteur à ne pas dépasser ;
- une limitation de fonctionnement en puissance : la puissance d'entrée étant toujours négligeable, la puissance dissipée dans un transistor a pour expression  $P = V_{CE} I_C$  ; cette puissance doit être inférieure à une valeur maximale  $P_{\text{lim}}$  qui, dans le repère  $\{I_C, V_{CE}\}$ , est représentée par une hyperbole dite de dissipation de puissance (fig. 17.20).

*Remarque :* Dans ce chapitre, nous ne nous sommes intéressés qu'au transistor bipolaire. Il existe d'autres types de transistors très utilisés industriellement, comme les transistors à effet de champ.

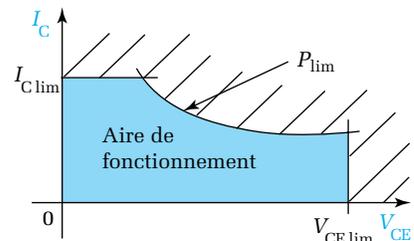
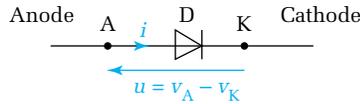


Figure 17.20. Limites d'utilisation d'un transistor

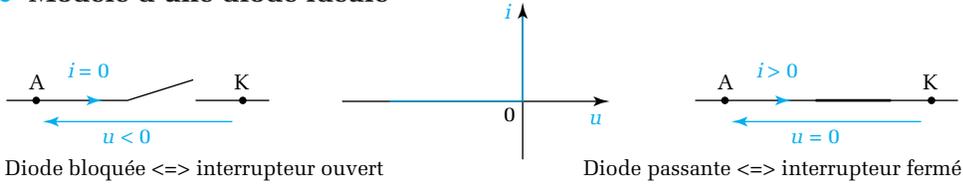
# L'ESSENTIEL

## ○ Diode de redressement

### ● Symbole et orientations

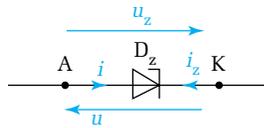


### ● Modèle d'une diode idéale

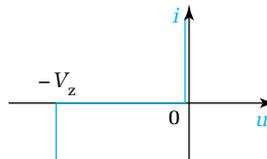


## ○ Diode Zéner

### ● Symbole et orientations

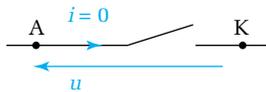


### ● Modélisation

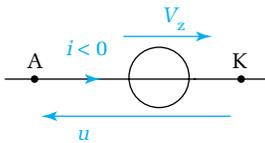


### ● Polarisation inverse

Pour  $-V_z < u < 0$  :  $D_z \Leftrightarrow$  interrupteur ouvert

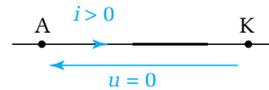


Pour  $u = -V_z$  :  $D_z \Leftrightarrow$  récepteur parfait de tension



### ● Polarisation directe

$D_z \Leftrightarrow$  interrupteur fermé



## ○ Transistors bipolaires

### ● Symboles et orientations

B : base

C : collecteur

E : émetteur

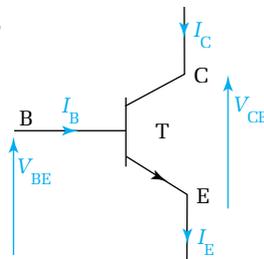
À chaque instant :

$$I_E = I_C + I_B$$

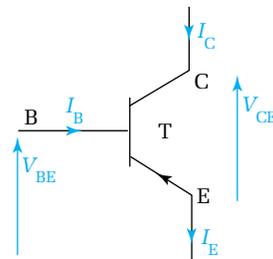
Pour un transistor NPN passant,  $V_{BE} \approx 0,6 \text{ V}$ .

Pour un transistor PNP passant,  $V_{BE} \approx -0,6 \text{ V}$ .

En fonctionnement linéaire :  $I_C = \beta I_B$  avec  $\beta$  : coefficient d'amplification en courant.



Transistor NPN : toutes les grandeurs sont positives.



Transistor PNP : toutes les grandeurs sont négatives.

# Contrôle des connaissances

Cocher la (les) bonne(s) réponse(s).

**1.** Dans le montage de la figure 17.21 la diode est supposée parfaite. On donne :  $E_1 = 24,0 \text{ V}$  ;  $E_2 = 6,0 \text{ V}$  et  $R = 200 \Omega$ . Quelle est l'intensité  $i$  du courant qui traverse la diode ?

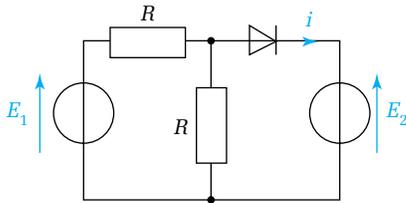


Figure 17.21

- 0 A    30 mA    60 mA    90 mA.

**2.** Les diodes  $D_1$  et  $D_2$  du montage de la figure 17.22 sont supposées parfaites. On donne :  $E = 48,0 \text{ V}$  ;  $I_0 = 4,0 \text{ A}$ . Pour quelles valeurs de la résistance  $R$  la diode  $D_2$  est-elle bloquée ?

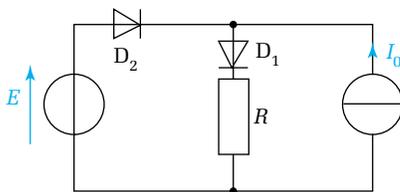


Figure 17.22

- $R \geq 12,0 \Omega$                         $R \leq 12,0 \Omega$   
 la question ne se pose pas,  $D_2$  est toujours passante  
 la question ne se pose pas,  $D_2$  est toujours bloquée.

**3.** Dans le montage de la figure 17.23, la diode Zéner de régulation  $D_z$  est consi-

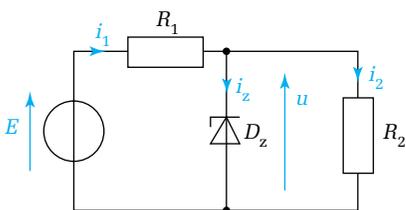


Figure 17.23

dérée comme parfaite et sa tension Zéner est égale à  $6,0 \text{ V}$ . L'intensité  $i_z$  du courant dans  $D_z$  est égale à  $10,0 \text{ mA}$  et  $R_1 = 100 \Omega$ ,  $R_2 = 200 \Omega$ . Quelle est la valeur de  $E$  ?

- 7,0 V    7,5 V    9,0 V    10,0 V.

**4.** Dans le montage de la figure 17.23, on donne à présent :  $R_1 = 500 \Omega$  ;  $R_2 = 200 \Omega$ .  $D_z$  est supposée parfaite, la tension Zéner  $V_z = 12,0 \text{ V}$  et la puissance maximale qu'elle peut dissiper est égale à  $\hat{P}_{Dz} = 1,8 \text{ W}$ . Quelle valeur maximale peut-on donner à  $E$  pour atteindre la limite maximale d'utilisation de la diode Zéner ?

- 42,0 V    46,8 V    60,0 V    117 V.

**5.** Le coefficient d'amplification en courant du transistor de la figure 17.24 est  $\beta = 75$ . On donne  $I_B = 2,0 \text{ mA}$ ,  $R_C = 100 \Omega$  et  $V_{cc} = 24 \text{ V}$ . Quelle est la valeur de  $V_{CE}$  ?

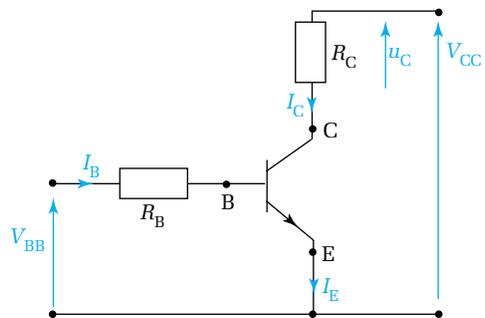


Figure 17.24

- 0 V                       9 V                       15 V  
 réponse impossible à donner sans connaître  $I_C$ .

**6.** Le transistor de la figure 17.24 a cette fois pour coefficient d'amplification en courant  $\beta = 120$ , pour tension de saturation  $V_{CEsat} = 0 \text{ V}$ . On donne  $R_C = 50,0 \Omega$  et  $V_{cc} = 48,0 \text{ V}$ . Quelle est l'intensité minimale  $i_{B1}$  qui permet de saturer le transistor ?

- 0,96 mA                       2,4 mA                       8,0 mA  
 48,0 mA.

## Exercice résolu

7. La tension Zéner de la diode du montage de la figure 17.23, supposée parfaite, est  $U_z = 12,0$  V. On donne  $R_1 = 1,0$  k $\Omega$ .

1° On a mesuré  $u = 6,0$  V lorsque  $E = 16,0$  V. En déduire la valeur de  $R_2$ .

2° On règle  $E$  à la valeur  $E = 35,0$  V. Calculer les intensités  $i_1$ ,  $i_2$  et  $i_z$  des courants.

3° Pour quelle valeur minimale de  $E$  la tension  $u$  atteint-elle 12,0 V?

4° Tracer la caractéristique de transfert en tension  $u = f(E)$  du montage. On donne  $\hat{E} = 50,0$  V.

5° Tracer les courbes  $i_1(E)$ ,  $i_2(E)$  et  $i_z(E)$ .

6° Quelle puissance maximale  $\hat{P}$  la diode Zéner doit-elle pouvoir dissiper?

### Solution

1° L'intensité  $i$  du courant a pour expression :  $i = \frac{E - u}{R_1}$  qui donne  $i = \left( \frac{16 - 6}{1 \times 10^3} \right)$  A

$$\Rightarrow i = 0,01 \text{ A.}$$

Comme la tension  $u$  est inférieure à la tension Zéner, la diode est bloquée :

$$i_z = 0; i_1 = i_2 \text{ et } R_2 = \frac{u}{i}, \text{ soit } R_2 = \left( \frac{6}{0,01} \right) \Omega$$

$$\Rightarrow R_2 = 600 \Omega.$$

2° Supposons que la diode Zéner conduise. On a alors :

$$u = U_z = 12,0 \text{ V et } i_z > 0;$$

$$i_1 = \frac{E - u}{R_1}, \text{ soit } i_1 = \left( \frac{35 - 12}{10^3} \right) \text{ A}$$

$$\Rightarrow i_1 = 23 \text{ mA};$$

$$i_2 = \frac{u}{R_2}; i_2 = \left( \frac{12}{600} \right) \text{ A} \Rightarrow i_2 = 20 \text{ mA.}$$

Comme  $i_1 = i_2 + i_z$ , on en déduit  $i_z = 3$  mA. L'hypothèse de départ est justifiée.

3° La valeur minimale de  $E$  correspond à  $i_z = 0$  avec  $i_2 = i_1 = 20$  mA.

La relation  $E = R_1 i_1 + u$  donne :

$$E = (10^3 \times 20 \times 10^{-3} + 12) \text{ V} \Rightarrow E = 32,0 \text{ V.}$$

4° Pour  $E \geq 32$  V, la diode Zéner conduit et  $u = U_z = 12,0$  V.

Pour  $E < 32$  V, la diode Zéner est bloquée et  $u = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$  (diviseur de tension);

$$u = \frac{600}{1000 + 600} E \Rightarrow u = 0,375 E.$$

On en déduit la caractéristique de transfert en tension du montage (fig. 17.25).

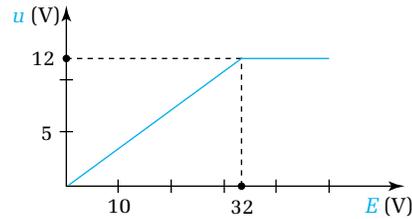


Figure 17.25

5° Pour  $E \geq 32$  V, la diode Zéner conduit :  $i_z = 20,0$  mA ;

$$i_1 = \frac{E - U_z}{R_1}, \text{ soit } i_1 = E - 12 \text{ (V ; mA)}$$

$$i_z = i_1 - i_2 \text{ donne } i_z = E - 32 \text{ (V ; mA).}$$

Pour  $E < 32$  V, la diode Zéner est bloquée :

$$i_z = 0;$$

$$i_1 = i_2 = \frac{E}{R_1 + R_2}, i_1 = i_2 = 0,625 E \text{ (V ; mA).}$$

On en déduit les courbes  $i_1(E)$ ,  $i_2(E)$  et  $i_z(E)$  de la figure 17.26.

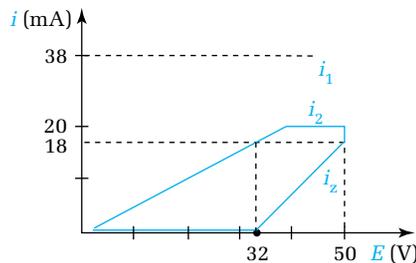


Figure 17.26

6° L'intensité maximale du courant qui traverse la diode est obtenue pour  $E = 50,0$  V.

On a alors  $i_z = \hat{i}_z = (50 - 32)$  mA, soit  $\hat{i}_z = 18$  mA.

$$\text{On en déduit : } \hat{P} = U_z \hat{i}_z;$$

$$\hat{P} = (12 \times 32 \times 10^{-3}) \text{ W} \Rightarrow \hat{P} = 0,216 \text{ W.}$$

# Exercice avec résultats

**8.** La tension Zéner de la diode du montage de la figure 17.27, supposée parfaite, est  $U_z \neq 10,0$  V.

Les caractéristiques du transistor sont les suivantes :  $V_{BE} = 0,6$  V pour  $i_B > 0$  ; coefficient d'amplification en courant  $\beta = 100$  ;  $V_{CC} = 16,0$  V et  $R_2 = 500$   $\Omega$ .

1° La résistance  $R_1$  est réglée à 200  $\Omega$  :

- quelle est la valeur de la tension  $u_1$  ?
- en déduire les valeurs de  $V_{CE}$ ,  $I_B$  et  $I_z$ .

2° La puissance maximale  $\hat{P}_T$  que peut dissiper le transistor est 1,0 W. On rappelle que  $\hat{P}_T \approx V_{CE} I_C$ .

En déduire la valeur minimale  $R_{1min}$  que l'on peut donner à  $R_1$ .

3° La puissance maximale que peut dissiper la diode  $D_z$  est 0,4 W. Calculer la valeur minimale  $R_{2min}$  que l'on peut donner à  $R_2$ .

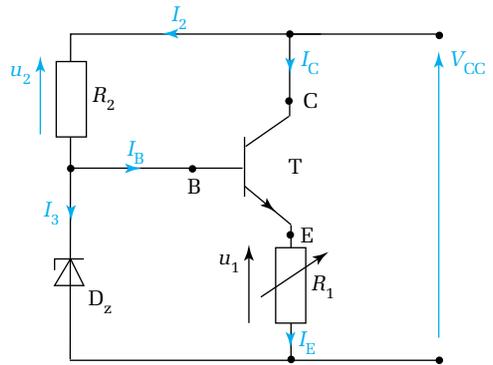


Figure 17.27

### Résultats

1°  $u_1 = 9,4$  V ;  $V_{CE} = 6,6$  V ;  $I_E = 47$  mA ;  $I_B \approx 0,465$  mA ;  $I_2 = 12$  mA ;  $I_z \approx 11,5$  mA.

2°  $R_{1min} \approx 62$   $\Omega$ .

3°  $R_{2min} = 145$   $\Omega$ .

# Exercices à résoudre

**9.** Dans le montage de la figure 17.28, la diode est supposée parfaite et  $R = 5,0$   $\Omega$ . Calculer  $i_1$ ,  $i_2$  et  $u$  pour :

- $E = 20,0$  V et  $I_0 = 2,0$  A ;
- $E = 20,0$  V et  $I_0 = 5,0$  A ;
- $E = 15,0$  V et  $I_0 = 3,0$  A.

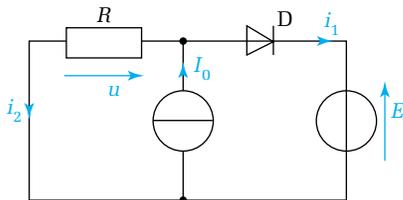


Figure 17.28

**10.** Étude du régulateur de tension à transistor de la figure 17.29. La diode Zéner est supposée parfaite, sa tension Zéner est 12,6 V et la valeur maximale de la puissance qu'elle peut dissiper est 1,3 W.

Le transistor est un transistor de puissance dont le coefficient d'amplification en courant  $\beta$  est 50. Quand le transistor conduit :  $V_{BE} = 0,6$  V.

1° Calculer la tension de sortie  $u_s$ . Préciser les conditions de validité du calcul.

2° La résistance  $R_B$  est de 470  $\Omega$  et la charge est fixée à la valeur  $R_C = 30$   $\Omega$ .

- Calculer les intensités  $i_s$  et  $i_B$ .
- Quelle est l'intensité maximale  $\hat{i}_z$  du courant qui peut traverser la diode Zéner ?
- En déduire les valeurs limites de la tension  $u_C$  pour qu'il y ait stabilisation.

3° Pour  $u_e = 40,0$  V, calculer :

- l'intensité  $i_e$  ;
- le rendement du montage :  $\eta = \frac{u_s i_s}{u_e i_e}$ .

Conclure.

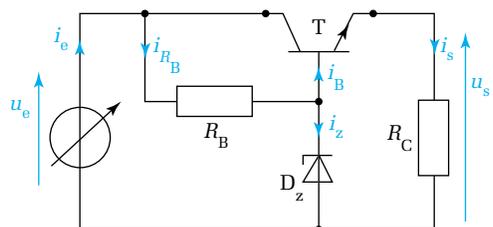


Figure 17.29