

# Cours d'électronique

LA THEORIE SUR L'ELECTRONIQUE

LES COMPOSANTS DE BASE



PARTIE N°2 :

LA DIODE

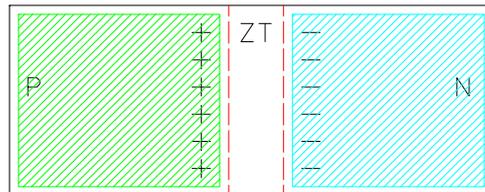
**TABLE DES MATIERES**

1.	La jonction PN .....	2
1.1.	Création .....	2
1.2.	La jonction PN sous tension .....	4
1.3.	La dissymétrie .....	5
2.	La diode à jonction .....	5
2.1.	Présentation .....	5
2.1.1.	Constitution .....	5
2.1.2.	Symbole .....	6
2.1.3.	Orientations .....	6
2.2.	Caractéristique directe .....	6
2.2.1.	Définition .....	6
2.2.2.	Montage .....	6
2.2.3.	Relevés .....	6
2.3.	Caractéristique inverse .....	8
2.3.1.	Définition .....	8
2.3.2.	Montage .....	8
2.3.3.	Relevés .....	8
2.4.	Grandeurs caractéristiques d'une diode .....	9
2.4.1.	Seuil de tension .....	9
2.4.2.	Résistance statique .....	10
2.4.3.	Résistance dynamique .....	10
2.4.4.	Limite d'utilisation d'une diode .....	10
2.4.5.	Choix d'une diode .....	10
3.	La diode Zéner .....	11
3.1.	Définition .....	11
3.2.	Représentation .....	11
3.3.	Caractéristique .....	11
3.4.	Utilisation .....	12
4.	Page technique .....	14

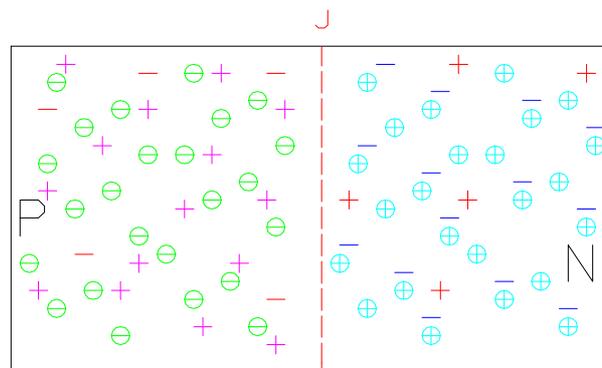
## 1. La jonction PN

### 1.1. Création

Une jonction PN est obtenue en réalisant à **l'intérieur d'un même morceau semi-conducteur** un dopage N d'un côté et un dopage P de l'autre. Il se forme, entre les deux régions P et N, une zone de transition ZT dépourvue de porteurs, donc non conductrices.



Analysons ce qui se passe au sein de notre semi conducteur Comment se constitue cette zone de transition. Nous savons qu'un semi conducteur est constitué d'atomes ayant 4 électrons sur leurs couches périphériques. Nous plaçons lors du dopage d'autre atome possédant 3 ou 5 électrons. Je peux donc réaliser le schéma suivant :



#### ZONE P :

Les + représentent les trous et ils sont majoritaires dans la zone P. Normale puisque cette zone est dopée avec des atomes ne possédant que trois électrons périphériques.

Les - représentent les électrons libres et sont minoritaires dans la zone P. Rappel que nous avons des électrons libre à cause de l'agitation thermique. (agitation thermique présente par le seul fait de se trouver à température ambiante).

Les cercles avec un - représentent les atomes dit atome accepteur ionisé. Ce sont des ions négatifs.

**ZONE N :**

Les - représentent les électrons libres et ils sont majoritaires dans la zone N. Normale puisque cette zone est dopée avec des atomes possédant 5 électrons périphériques.

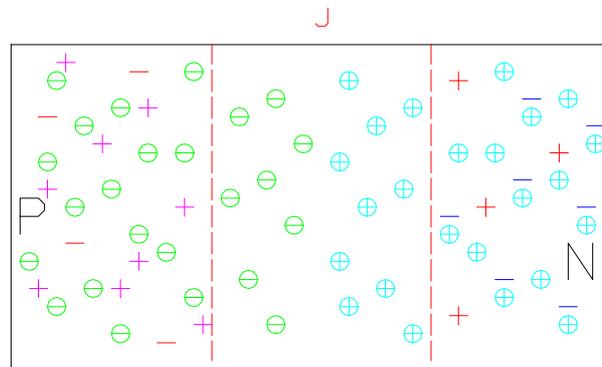
Les + représentent les trous et sont minoritaires dans la zone N.

Les cercles avec un + représentent les atomes dit atome donneur ionisé. Ce sont des ions positifs.

Les électrons libres, très nombreux dans la région N, diffusent dans la région P. de même les trous de la région P, diffusent dans la région N. Ces porteurs mobiles, de signes opposés, se neutralise dans une petite zone dite de transition, qui s'étend de part et d'autre de la jonction.

Dans la zone de transition, il n'y a plus que les ions fixes. Positif du côté N et négatif du côté P.

Notre dessin peut dès lors devenir :



Les ions de cette zone de transition entraîne l'existence d'une différence de potentiel  $V_d$ , dite tension de diffusion, entre les frontières de la zone de transition. (cette valeur est de l'ordre de 0,7V pour le silicium) et dirigée du « + » vers le « - » donc de la zone N vers la zone P. Cette configuration entraîne donc l'apparition d'un champ électrostatique  $E_d$  dirigé de P vers N.

Etant donné que notre diode se trouve à température ambiante, je peux dire que notre jonction PN est soumise à une certaine agitation thermique qui se caractérise par l'emmagasinement d'énergie au sein des atomes et donc des électrons. Ces derniers se déplacent donc dans le substrat avec une quantité d'énergie et un souhait, se faire capter par un atome possédant un manque d'électron. Ces dernier se trouvant bien entendu dans la zone P les électrons vont tenter de si rendre.

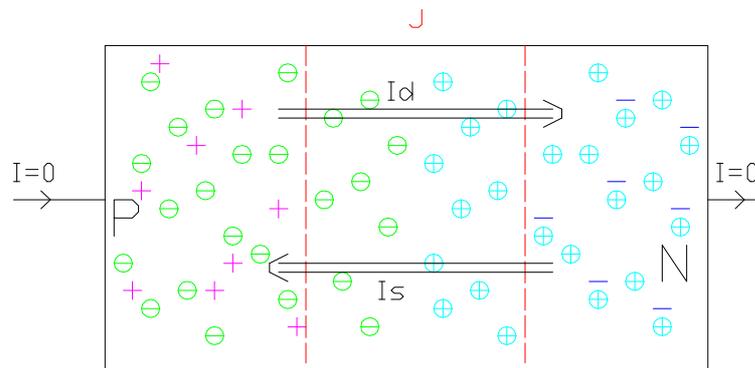
Les électrons libres de la région N qui pénètrent dans la zone de transition sont soumis au champ  $E_d$  dirigé de P vers N. Je peux donc conclure que les électrons vont être repoussés dans la zone N. Seul quelques uns qui auront acquis par agitation thermique une énergie au moins égale à  $V_d$  passeront dans la région P et ce malgré le champ de répulsion  $E_d$ . De la même façon, Je peux donc conclure que les trous vont être repoussés dans la zone P. Un petit nombre passera toutefois vers la région N par le même principe que les électrons. Je peux donc

dire que j'ai un déplacement d'électron et de trou et que ce dernier peut être caractérisé par le **courant de diffusion** qui est dirigé de P vers N.

Si nous venons de parler des porteurs majoritaire, nous devons encore parler des porteurs minoritaires. Si les porteurs majoritaires étaient en règle général repoussés, on ne peut pas en dire autant des porteurs minoritaires qui eux vont lors de leur approche de la zone de transition être précipités par le champ  $E_d$  dans l'autre région. Je peux donc en conclure que la aussi il existe circulation d'un courant appelé **courant de saturation** qui est dirigé de N vers P.

Je peux encore dire que comme les porteurs minoritaires sont fonctions de l'agitation thermique, que le courant de saturation sera d'autant plus important que la température augmentera.

Je peux donc dire que  $I_d$  (courant de diffusion) =  $I_s$  (courant de saturation).



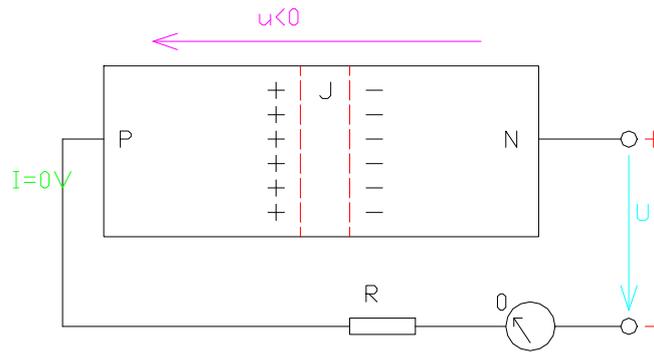
Je peux donc tirer comme conclusion que si aucune modification thermique n'apparaît, le courant de saturation sera constant dans notre jonction.

Nous ne ferons plus apparaître dans la suite des exposés les porteurs minoritaires puisque leur action est connue et constante.

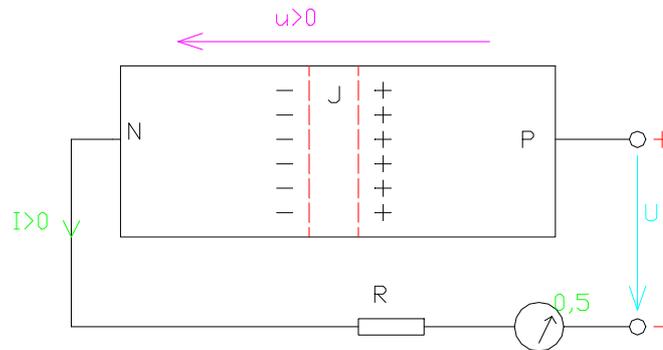
## 1.2. La jonction PN sous tension

Que se passe-t'il lorsque nous appliquons une tension aux bornes de notre jonction PN ?

- Soit a appliquer le pôle positif de la source sur la zone N, nous dirons que la tension «  $u$  » est négative. Dans cette configuration, nous pourrons remarquer que nous n'avons aucune circulation de courant. Le schéma ci-dessous permet de vérifier cet état.



- Lorsque l'on applique le pôle négatif de la source sur la zone N, nous dirons de la tension « u » est positive. Dans cette configuration, nous pourrions remarquer que nous avons circulation d'un courant. Le schéma ci-dessous permet de vérifier cet état.



### 1.3. La dissymétrie

Ces expériences nous montrent qu'un semi-conducteur comportant une jonction est un composant dissymétrique, conducteur si la région P est positive par rapport à la région N et non conducteur dans le cas contraire.

On dit que la jonction est passante de P vers N et non passante de N vers P.

On appellera anode le côté P et cathode le côté N.

Lorsque la jonction est passante, le courant va de l'anode à la cathode.

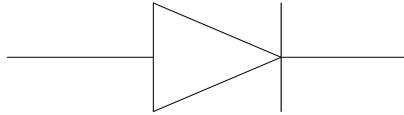
## 2. La diode à jonction

### 2.1. Présentation

#### 2.1.1. Constitution

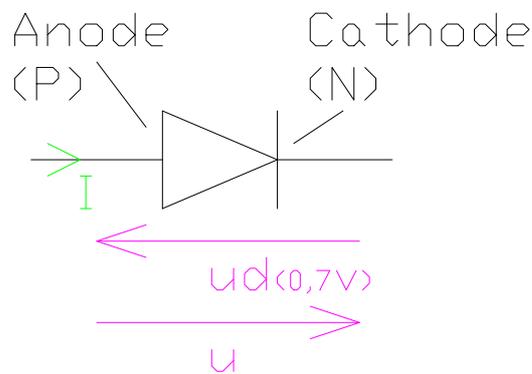
L'élément de base est une jonction PN dont la diode a toutes les propriétés. Pour permettre son insertion dans des équipements, la jonction doit être « habillée » et se présenter sous forme d'un composant maniable. En outre, pour faciliter les échanges thermiques avec l'air ambiant, la diode peut être fixée sur un radiateur. Cette possibilité dépend de sa constitution.

### 2.1.2. Symbole



### 2.1.3. Orientations

L'orientation de la diode dans le sens passant, c'est à dire pour une tension positive et un courant de circulation non nul, est le suivant :



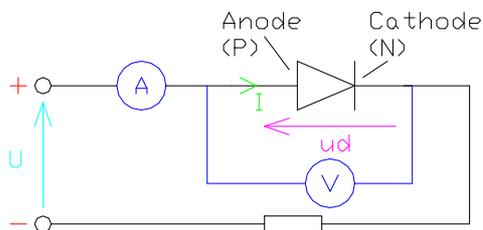
## 2.2. Caractéristique directe

### 2.2.1. Définition

Lors de cet essai, la diode est polarisée en mode passant, la borne positive de la source sur la jonction P ou sur l'anode et la borne négative de la source sur la jonction N ou sur la cathode.

Comme nous le savons déjà, dans ce cas nous aurons circulation d'un courant.

### 2.2.2. Montage



### 2.2.3. Relevés

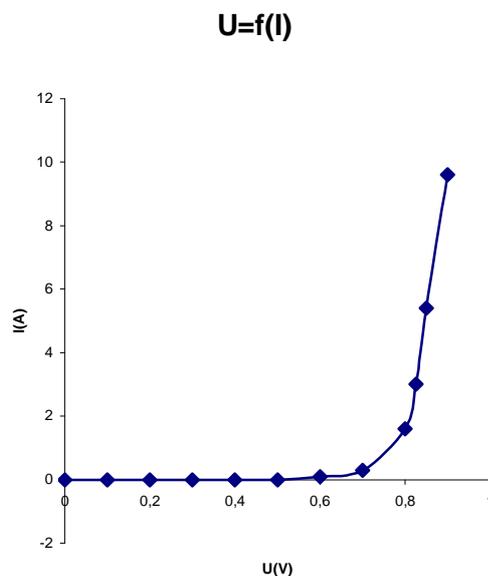
Il paraît intéressant avant de tracer l'allure de la caractéristique direct  $U=f(I)$  de découvrir le fonctionnement interne de la diode.

Nous savons que notre jonction de par la présence d'un champ électrostatique  $E_d$  empêche tout déplacement des porteurs majoritaires au sein de notre diode. Il faudrait donc que nous parvenions à vaincre cette dernière afin de permettre la circulation des porteurs majoritaires et ainsi augmenter le courant de diffusion qui deviendra plus important que le courant de saturation et ainsi permettre la conduction de la diode et la circulation d'un courant à l'extérieur de cette dernière.

Pour permettre aux porteurs majoritaires de traverser la zone de transition, il faudrait que l'on crée un champ inverse au droit de la zone de jonction ce qui veut dire que nous devrions créer un champ plus important et de sens inverse à  $E_d$ . Nous savons que le champ  $E_d$  est dirigé de N vers P. Il nous faudrait donc créer un champ dirigé de P vers N. Pour cela, il nous suffit d'augmenter le potentiel de la région P d'une valeur  $V$  et ainsi porter le potentiel de la zone de transition à  $V_d - V$ . Pour porter le potentiel de la région P, il me suffit d'appliquer la borne positive d'un générateur sur l'anode ou la zone P de la diode.

Nous voyons donc que dans un premier temps, nous devons vaincre la barrière de potentiel de la jonction de transition en appliquant une tension égale à  $V_d$  ( $\pm 0,7V$ ), pendant ce temps nous n'avons pas de circulation des porteurs majoritaires et donc pas de circulation de courant. Ensuite, nous avons présence d'un champ résultant au droit de la zone de transition qui contribue à accroître le déplacement des porteurs majoritaires, donc des électrons et par conséquent du courant à l'extérieur de la diode. Noter encore que une fois les électrons majoritaires de la zone N parvenu dans la zone P, il n'y a pas combinaison de ces derniers, en effet, grâce à l'énergie emmagasinée ils traverseront la zone P pour être attiré par la borne positive du générateur. Il en sera de même pour les trous qui seront après traversée de la zone N attiré par la borne négative du générateur.

La courbe ci-dessous nous montre l'amplification rapide du courant au sein de la diode pour de faible variation de potentiel et ce après avoir vaincu la barrière de potentielle de la zone de transition.



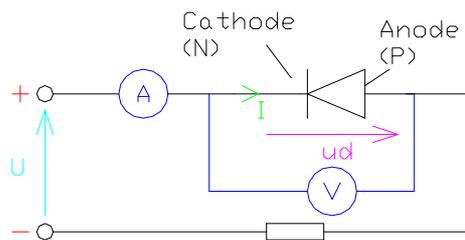
## 2.3. Caractéristique inverse

### 2.3.1. Définition

Lors de cet essai, la diode est polarisée en mode bloquant, la borne positive de la source sur la jonction N ou sur la cathode et la borne négative de la source sur la jonction P ou sur l'anode.

Comme nous le savons déjà, dans ce cas nous n'aurons pas circulation d'un courant.

### 2.3.2. Montage



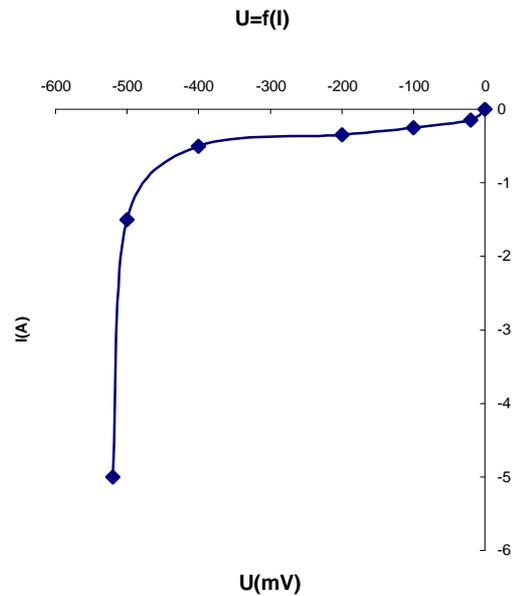
### 2.3.3. Relevés

Si nous reprenons le raisonnement appliqué dans le cas de la conduction de la diode, nous pouvons analyser ce qui va se passer. En effet pour la conduction nous avons veillé à augmenter le potentiel de la jonction P et pour cela nous avons appliqué la borne positive du générateur sur l'anode (P) de la diode.

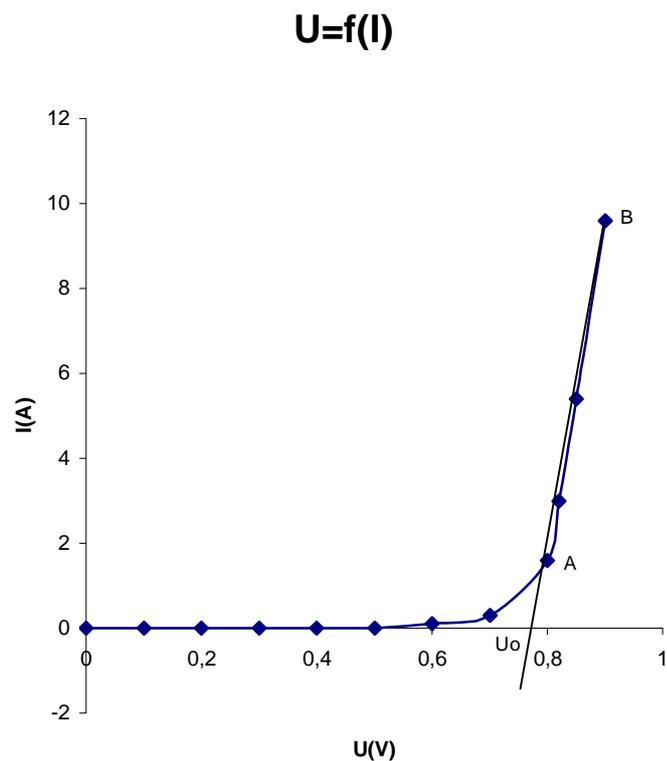
Dans notre nouveau cas, nous remarquons que la borne positive du générateur est appliquée non plus à l'anode mais à la cathode. Cela entraîne au sein de la diode l'apparition d'un champ supplémentaire de sens P vers N donc de même sens que le champ de la zone de transition. En effet, nous augmentons la différence de potentiel  $U_d$  déjà existante au droit de la zone de transition créée par les ions, cela veut donc dire que nous amplifions cette dernière plutôt que de la combattre renforçant ainsi également le champ électrostatique renforçant le blocage de la diode. Nous pouvons donc conclure en disant que le courant qui circule est très faible voir nul et est dû aux porteurs minoritaires.

Si l'on augmente suffisamment le potentiel du générateur, nous allons obtenir un phénomène d'avalanche au sein de la diode. En quoi consiste-t-il ?

Nous savons que le champ résultant va être important, il va donc permettre au porteur minoritaire d'acquérir une énergie telle qu'il va pouvoir lors de son passage dans la zone de transition d'ioniser des atomes et ainsi libérer de nouveaux électrons. Ce dernier électron libéré est à son tour accéléré par  $E_d$  et donc susceptible d'ioniser d'autres atomes. Il y a ainsi multiplication rapide des porteurs mobiles (on parle de phénomène d'avalanche) et le courant augmente très vite. On dit qu'il y a claquage de la jonction par effet Zéner. Généralement, la diode est hors service après un claquage.



## 2.4. Grandeurs caractéristiques d'une diode



### 2.4.1. Seuil de tension

Le seuil de tension d'une diode définit le seuil pratique de tension  $U_0$  et qui correspond à l'intersection entre la partie rectiligne de la caractéristique et l'axe des tensions (valeur un rien supérieur à 0,7V).

#### 2.4.2. Résistance statique

Il s'agit de la résistance apparente de la diode, c'est le rapport entre une valeur de la tension directe appliquée à la diode et la valeur correspondante du courant.

$$R_s = \frac{U_d}{I_d}$$

#### 2.4.3. Résistance dynamique

Il s'agit du rapport entre une tension et un courant (loi d'ohm). Dans notre cas, il s'agit de la valeur de la tension directe que l'on retrouve sur la courbe comme étant la valeur de la tension entre les points A et B et le courant entre ces deux mêmes points.

$$R_d = \frac{\Delta U_d}{\Delta I_d}$$

#### 2.4.4. Limite d'utilisation d'une diode

Ces limites sont fixées par le fabricant, on retrouve :

- $U_{RM}$  = tension inverse maximum. (c'est la valeur maximum que la diode peut supporter en inverse)
- $I_{AV}$  = courant moyen direct. (c'est, en fait, le courant de service que peut supporter la diode)
- $T_j$  = température maximum de jonction. (il est important de connaître cette température afin de calculer le radiateur à placer, au besoin, sur la diode)
- $I_R$  = courant inverse. (c'est la valeur instantanée maximum du courant traversant la diode polarisée en inverse).

#### 2.4.5. Choix d'une diode

Pour bien choisir une diode, il faut tenir compte de la tension maximum, du courant moyen direct et de la température maximum de jonction.

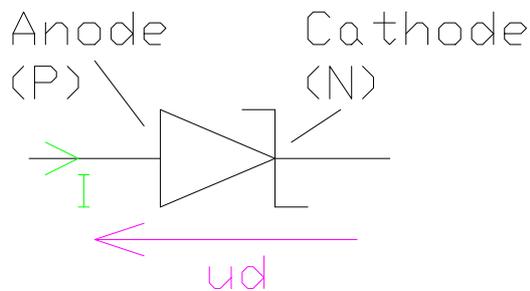
Au niveau des valeurs usuelles des diodes, on considérera la chute de tension dans le sens passant et la valeur maximum du courant direct.

### 3. La diode Zéner

#### 3.1. Définition

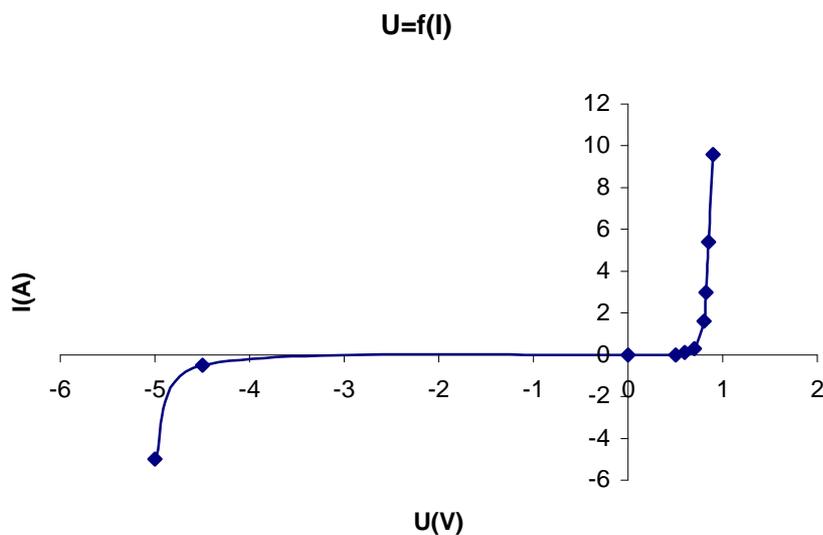
Une diode zéner est une diode à jonction qui, sous une tension inverse un peu supérieure à la valeur de claquage, supporte sans dommage un courant inverse relativement important. Le claquage est donc réversible. Cette propriété a été obtenue par un dopage convenable du semi-conducteur. La diode zéner est donc un composant non linéaire, dissymétrique, à seuils de tension. En d'autre terme, la zone P et N d'une telle diode possède un nombre plus important de porteurs majoritaires (du à un plus grand dopage) et donc une zone de jonction plus étroite. Cela à pour conséquence d'avoir un champ interne intense. Cela veut aussi dire que la tension d'avalanche sera relativement faible.

#### 3.2. Représentation



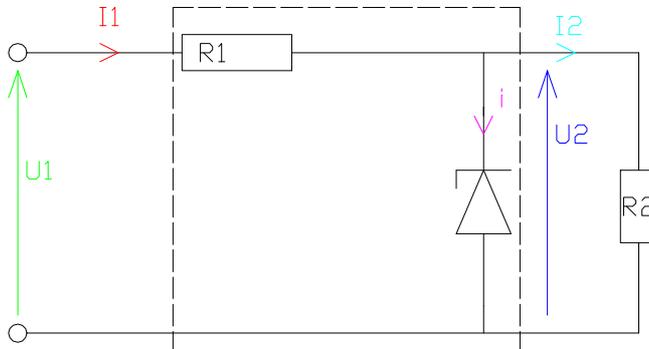
#### 3.3. Caractéristique

Dans le sens direct ou passant, elle est identique à celle d'une diode simple.  
Dans le sens inverse ou bloqué, le courant reste nul ou négligeable tant que la tension du générateur n'est pas devenue supérieure à la tension de zéner.



### 3.4. Utilisation

La propriété de cette diode est utilisée dans les montages stabilisateurs de tension.



Comme on le voit, le courant  $i$  qui passera dans la diode va dépendre du courant  $I_2$  qui passera dans la résistance  $R_2$  ; à la limite, si le courant dans  $R_2$  est nul, le courant dans la diode sera maximum. Je peux considérer que j'ai un générateur infini et en tirer que le courant  $I_1$  est constant.

Dans ces hypothèses, je peux dire que si  $I_2$  est maximum,  $i$  est minimum.

Dans la zone avant stabilisation, la tension  $U_2$  est inférieure à  $U_z$  et le courant  $i$  reste nul.

Dans ce cas, le circuit se ramène à deux résistances en série.

$$U_1 = U_2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Dans le domaine de stabilisation, la tension  $U_2$  reste égale à  $U_z$  et le courant  $i$  n'est plus nul.

$$U_1 = U_z + R_1 \cdot \left( i + \frac{U_z}{R_2} \right)$$

Je peux donc dire que c'est la résistance  $R_1$  qui limitera le courant dans la zéner lorsque  $R_2$  sera déconnectée et c'est également  $R_1$  qui limitera le courant dans  $R_2$  lorsque cette dernière sera minimum.

La valeur de  $R_1$  est donc très importante, voyons comment trouver sa valeur :

$$R_1 = \frac{U_1 - U_2}{I_1} \quad \text{nous prendrons le cas le plus défavorable et nous retiendrons que } I_1 = I_{z_M} \text{ lorsque } I_2 \text{ est nul.}$$

La puissance dissipée par la résistance  $R_1$  pourra s'écrire :  $P_{R1} = R_1 \cdot I_1^2$ .

Exemple numérique :

Soit à calculer la résistance de limitation du courant R1 à placer dans le cas d'une tension d'alimentation du montage égale à U1 = 17V pour une tension de sortie U2 = 9,1V délivrée par une diode zéner et pouvant dissiper une puissance de 1,3w ; le courant minimum devant circuler dans la diode zéner est de 25mA.

$$IZM = \frac{Pz}{U2} = \frac{1,3}{9,1} = 143mA$$

$$R1 = \frac{U1 - U2}{IZM} = \frac{17 - 9,1}{143 \cdot 10^{-3}} = 55,2\Omega \quad \text{soit } 56 \text{ ohms}$$

$$PR1 = R1 \cdot I1^2 = 56 \cdot 143 \cdot 10^{-3} = 1,145w$$

#### 4. Page technique

Diode de redressement.

$I_{FAV}$  : courant direct moyen maximal,  
 $I_{FRM}$  : courant direct de pointe répétitif,  
 $I_R$  : courant inverse continu  
 $V_F$  : tension directe continue,  
 $V_{RRM}$  : tension inverse de pointe répétitive,  
 $t_{RR}$  : temps de recouvrement inverse d'une diode  
 $R$  : résistance différentielle ou dynamique  
 $R_{TH(JC)}$  : résistance thermique jonction-boîtier  
 $R_{TH(JA)}$  : résistance thermique jonction-ambiance

TYPE	$I_{FAV}$	$I_{FRM}$	$I_R/T$		$V_F/I_F$		$V_{RRM}$	$t_{RR}$	$R$
	(A)	(A)	(uA)	(°C)	(V)	(A)	(V)		$\mu\Omega$
1N4004	1		50	100	1,1	1	400		
1N4007	1		50	100	1,1	1	1000		
BY255	3		5	25	1,1	1	1300		
BYW77200	30	500	25	25	0,85	20	200	50ns	
RA 20-48	4800	49000					1200	16us	69
1N4148	75mA		50uA		1	10mA		4ns	

Diode zener.

$P_{tot}$  : dissipation totale de puissance,  
 $V_{ZT}$  : tension inverse, continue, dans la région de claquage,  
 $V_R$  : tension inverse continue,  
 $I_Z$  : courant de régulation ,  
 $I_{ZT}$  : courant de contrôle de la tension de régulation,  
 $I_{ZM}$  : courant de régulation crête,  
 $I_R$  : courant inverse continu,  
 $R_{ZT}$  : résistance différentielle, pour le courant inverse de mesure dans la région de claquage,  
 $A_{VZ}$  : coefficient de température de la tension de fonctionnement,

TYPE	$P_{tot}$	$V_{ZT}$ (V)		$R_{ZT}/I_{ZT}$		$A_{VZ}(10^{-4}/K)$		$I_R / I_R$		$I_{ZM}$	
	(W)	min	Max	( $\Omega$ )	(mA)	Min	Max	25°C	150°C	(V)	(mA)
BX55C3V6	0,5	3,4	3,8	85	5	-8	-4	2	40	1	105
BX55C5V1	0,5	4,8	5,4	55	5	-2	5	0,1	2	1	80
BX5C6V2	0,5	5,8	6,6	10	5	0	7	0,1	2	2	64
BX55C7V5	0,5	7	7,9	7	5	1	9	0,1	2	5	53
BX55C12	0,5	11,4	12,7	20	5	3	11	0,1	2	9,1	32
BX85C3V6	1,3	3,4	3,8	20	70	-8	-5	20	50	1	290
BX85C7V5	1,3	7	7,9	3	35	2	6,5	1	10	4,5	140
BX85C12	1,3	11,4	12,7	9	20	4,5	8,5	0,5	10	9,1	88
BX85C200	1,3	180	212	1500	1,5	7	12	0,5	10	150	4,7