

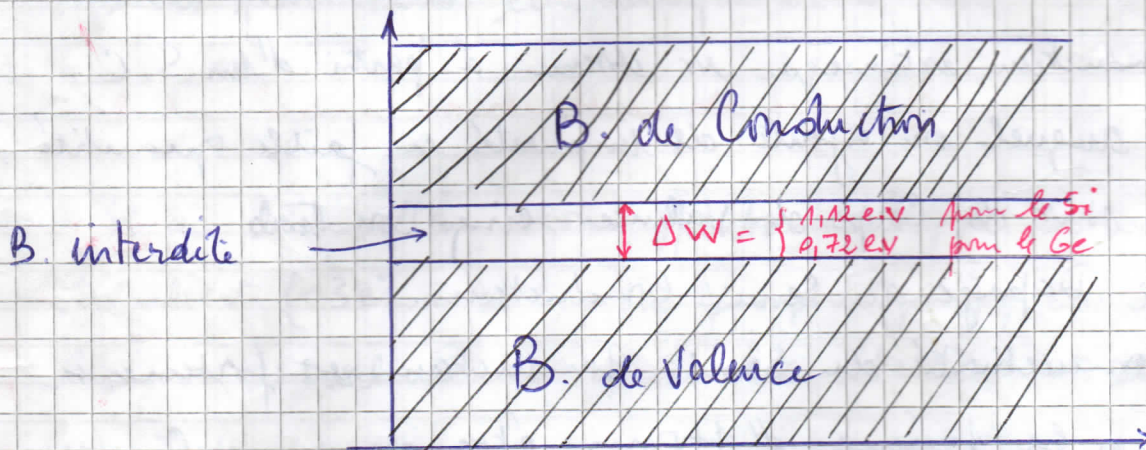
I

Un semi-Conducteur est un Solide, qui à très basse température est un isolant, mais à la température ambiante présente une résistivité entre celle d'un isolant et celle d'un Conducteur. Les plus utilisés sont le germanium et le silicium.

I-1 Semi-Conducteurs intrinsèque (pur).

Un semi-Conducteur est dit intrinsèque lorsqu'il est pur, aux basses températures (voisines du zéro absolu) il est un isolant parfait. Comme les isolants, il a la Bande de Valence totalement occupée et une Bande de Conduction vide.

Cependant il se différencie d'un isolant par la largeur de sa Bande interdite.



Lorsque la température s'élève, l'énergie d'agitation thermique devient vite suffisante pour qu'un certain nombre d' e^- puissent franchir la Bande interdite.

Il est possible de connaître le nombre d' e^- dans la Bande de Conduction à une température donnée.

$$n_i = A T^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{\Delta W}{2kT}}$$

n_i = Concentration intrinsèque.

A = Constante caractéristique du S.C

k = Constante de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
= $8,62 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$.

ΔW = largeur de la Bande interdite.

T = température absolue en Kelvin.

Remarque :

- à $T=0$, $n_i=0$.
- qd la température \nearrow , le nombre d' e^- augmente, donc le nombre de niveaux occupés dans la Bande de Conduction augmente et la résistivité du Corps diminue.
- Dans 1 Semi-Conducteur intrinsèque, le nombre d' e^- n est égale au nombre de trous p de telle sorte que $n=p=n_i$.

2. Semi-Conducteur extrinsèque.

Un Semi-Conducteur extrinsèque se obtient à partir d'un S.C. intrinsèque auquel on ajoute des impuretés en faible quantité. Les impuretés sont des Corps de Valence cinq ou trois.

On parle de Dopage du Semi-Conducteur.

Ainsi la Conductivité du Semi-Conducteur est fortement augmentée par la présence d'atomes étrangers.

2.1 Semi-Conducteur du Type N.

Considérons un Cristal de Silicium, il a 4 e^- à sa couche périphérique.

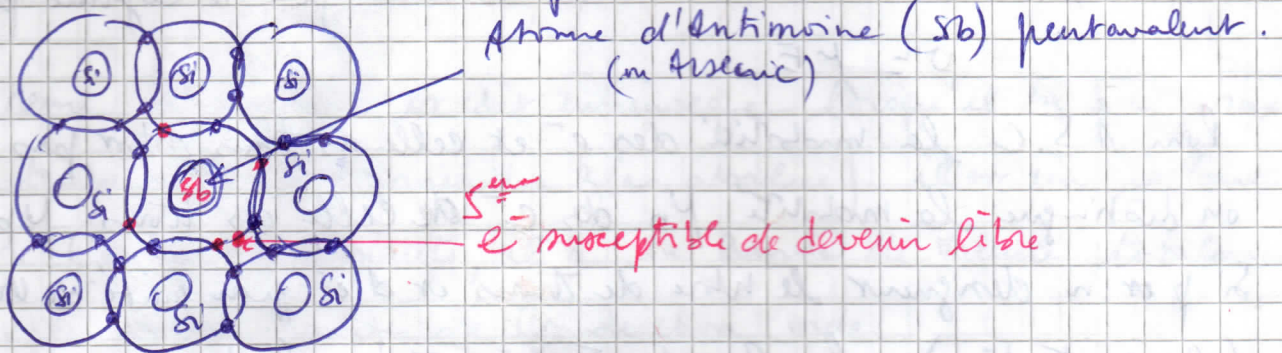
Si on remplace un atome de Si par un atome pentavalent ($5e^-$), celui-ci mettra quatre de ses e^- pour former des liaisons avec quatre atomes de Silicium et aura un e^- en plus qui ne participe pas à la liaison. Il suffit d'une petite énergie ($0,01 \text{ eV}$)

pour le libérer, ainsi il occupera un des niveaux de la couche bande de conduction.

À la température ambiante, sensiblement tous les atomes pentavalents ont perdus un e^- et le cristal contient un nombre important de porteurs de charges négatives.

on dit que les porteurs de charge majoritaires sont des e^- et les trous des porteurs de charge minoritaires.

Le semi-conducteur est de type N.



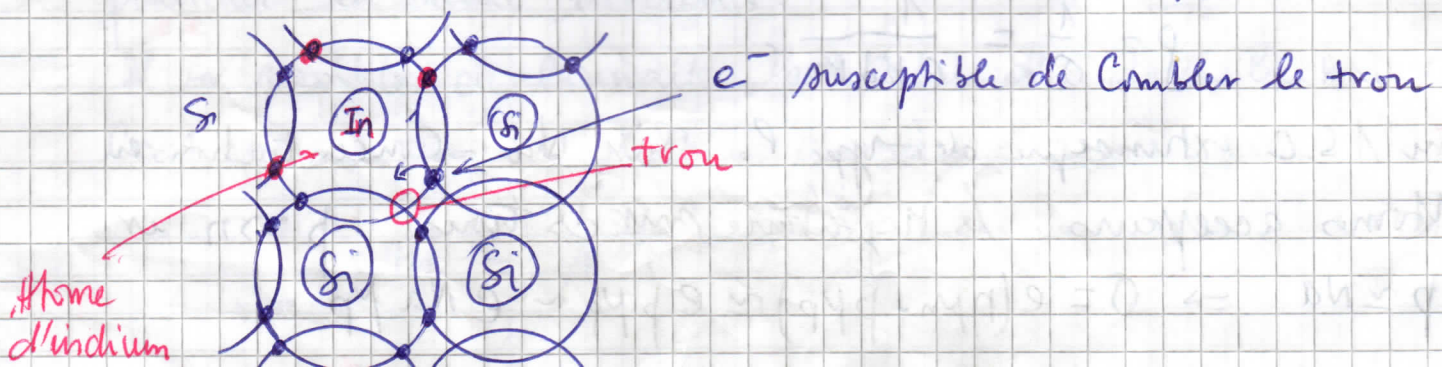
Les atomes pentavalents sont appelés des atomes donneurs du fait qu'ils fournissent leur cinquième e^- .

2.2. Semi-conducteurs de type P.

Si au lieu d'un atome pentavalent, on introduit un atome trivalent ($3e^-$ à sa couche périphérique), l'une des quatre liaisons covalentes ne peut être établie et cela équivaut à un trou.

Dans le cristal, si 1 e^- libre passe, il sera facilement capturé par l'atome d'impureté pour réaliser une liaison.

Ces atomes trivalents sont dits atomes accepteurs



L'introduction d'Atome de valence trois dans 1 semi-Conducteurs intrinsèque équivaut à 1 apport de Trous, c-à-d. des porteurs de charges positives.

Un tel S.C possède plus de trous que d' e^- . On dit que les trous sont majoritaires et les e^- minoritaires.

3. Conductivité

Pour 1 métal on a la ~~conductivité~~ mobilité qui se définit par:

$$v = \mu E.$$

Pour 1 S.C la mobilité des e^- et celle des trous n'ont pas la même. on distingue la mobilité μ_n des e^- de celle des trous μ_p .

Si p et n désignent le nbre de trous et d' e^- par unité de volume, (Concentration), la Conductivité est donnée par:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = e(n\mu_n + p\mu_p).$$

Dans le cas d'1 S.C intrinsèque, le nbre de trous se égal à celui des e^- :

$$n_i = n = p \Rightarrow \sigma = en_i(\mu_n + \mu_p).$$

Considérons maintenant 1 S.C intrinsèque que l'on dope avec 1 élément donneur. Avant le dopage $n_i = p = n$.

Après le dopage, chacun des atomes donneur fournit 1 e^- . Les porteurs de charge majoritaires sont des e^- , $n \gg p$.

Si la Concentration atomique du donneur est N_d , alors:

$$n \approx N_d \Rightarrow \sigma = e(n\mu_n + p\mu_p) \approx e n \mu_n = e N_d \mu_n.$$

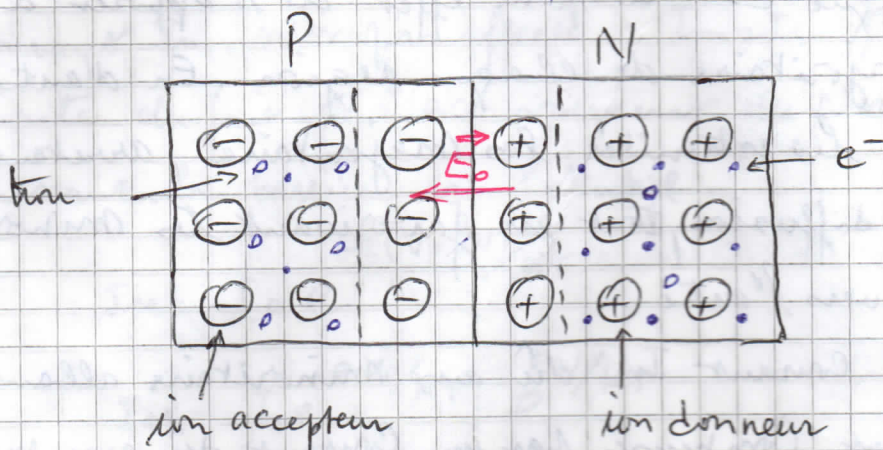
$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{e N_d \mu_n}.$$

Pour 1 S.C extrinsèque de type P. Soit N_a = Concentration en Atomes accepteurs. Les Majoritaires sont des trous $p \gg n$ et

$$p \approx N_a \Rightarrow \sigma = e(n\mu_n + p\mu_p) \approx e p \mu_p = e N_a \mu_p.$$

I. Etude de la Jonction PN.

Lorsque 1 S.C de type N (contenant beaucoup d' e^- et peu de trous) et 1 S.C de Type P (beaucoup de trous et peu d' e^-) sont formés dans 1 même monocristal, ils forment alors une Jonction.



Dans la région N, à la température ambiante, la majorité des atomes ont perdu un e^- et deviennent ainsi des ions positifs.

Dans la région P, les atomes accepteurs ont capturé un e^- et deviennent ainsi des ions négatifs.

En zone de contact, les e^- et les trous se combinent, ce qui a pour effet d'éliminer les porteurs de charge. Mais ce phénomène va s'arrêter de lui-même.

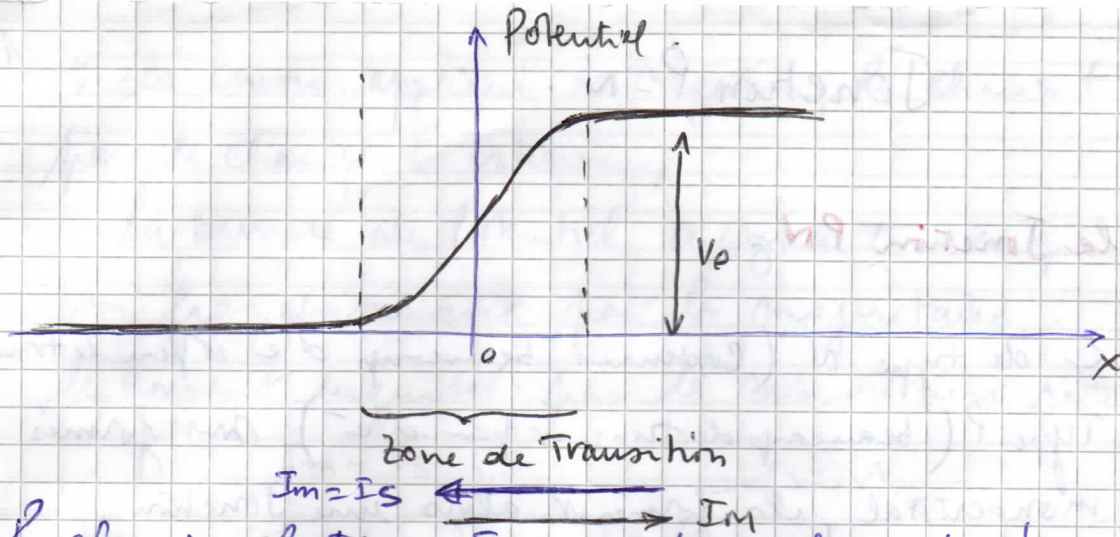
En effet une partie est chargée positivement et l'autre négativement il se crée un champ électrique E_0 se dirigeant de N vers P.

La relation liant champ électrique avec le potentiel v :

$$E_0 = - \frac{dv}{dx}, \text{ on en déduit qu'il existe une}$$

ddp entre les éléments N et P que l'on appelle

Barrière de potentiel.



Le champ électrique E_0 a pour effet de s'opposer à la diffusion des majoritaires de chaque région. En d'autres termes il repousse vers les extrémités les majoritaires, arrêtant le phénomène de diffusion, tout en favorisant les minoritaires d'un élément vers l'autre.

Il apparaît un courant I_m dû aux minoritaires allant de N vers P. Ce courant I_m est compensé par un courant dû aux majoritaires I_m allant de P vers N.

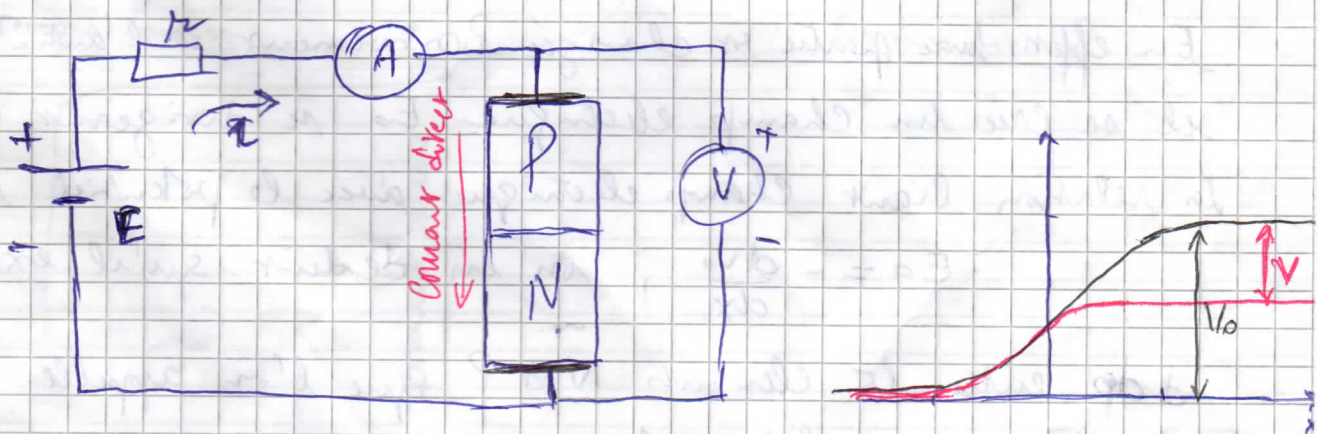
$$I_m = I_s = I_m$$

Ce courant est appelé, courant de saturation

$$I_s = I_0 e^{-\frac{eV_0}{kT}}$$

II. La Jonction Polarisée.

II.1 Courant direct.



Une faible tension V ($\approx 0,6$ à $1V$) suffit pour faire passer un courant important

interprétation :

la zone P est reliée à la borne \oplus tandis que N est reliée à la borne \ominus du générateur.

Un champ extérieur \vec{E} s'oppose au champ \vec{E}_0 , le passage des porteurs majoritaires s'effectue facilement à travers la jonction, celle-ci est alors traversée par un courant qui circule de la zone P vers la zone N.

Le courant I_M n'est pas affecté : $I_M = I_S$ par contre I_M augmente du fait de l'accroissement du Nbre de Majoritaires franchissant la barrière de potentiel.

$$I_M = I_0 e^{-e(V_0 - V)/kT}$$

$$I_M = \underbrace{I_0 e^{-eV_0/kT}}_{I_S} \cdot e^{eV/kT}$$

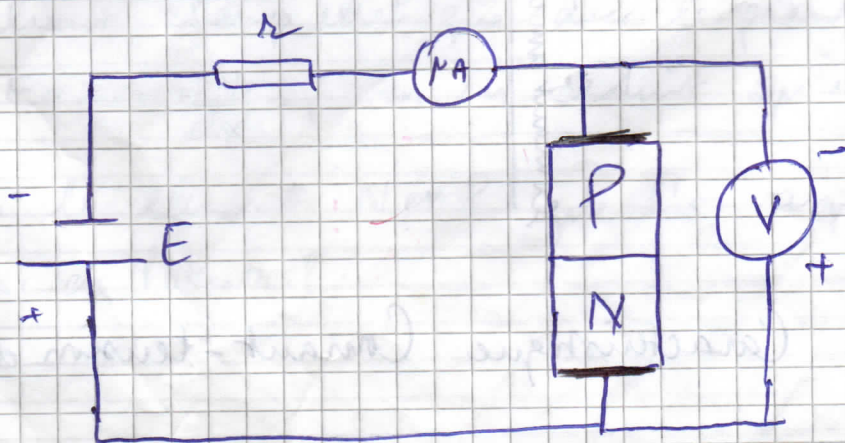
$$I_M = I_S e^{eV/kT}$$

Le courant à l'extérieur de la jonction est :

$$I_d = I_M - I_M = I_S e^{eV/kT} - I_S = I_S (e^{eV/kT} - 1)$$

Il est appelé courant direct (ou passant).

II.2 Courant Inverse.



Si la tension appliquée est négative, le champ \vec{E}_0 est renforcé par le champ \vec{E} externe.

La barrière de potentiel augmente ce qui rend difficile son franchissement par les majoritaires.

Le courant engendré par les minoritaires reste le même.

$$I_m = I_s$$

par

$$I_m = I_0 e^{-e(V_0+V)/kT}$$

$$= I_0 e^{-eV_0/kT} \cdot e^{-eV/kT}$$

$$I_m = I_s e^{-eV/kT}$$

Le courant à l'extérieur de la jonction est:

$$I_i = I_s - I_m = I_s (1 - e^{-eV/kT})$$

Ce courant est faible, appelé courant inverse ou bloquant.



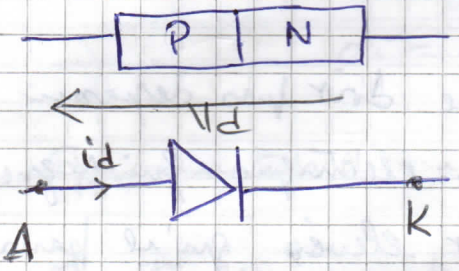
- Caractéristique Courant-tension d'une Jonction PN.

DIODES et ses Applications

Une diode à Jonction est constituée par une jonction PN.

Sa conductibilité est presque unidirectionnelle.

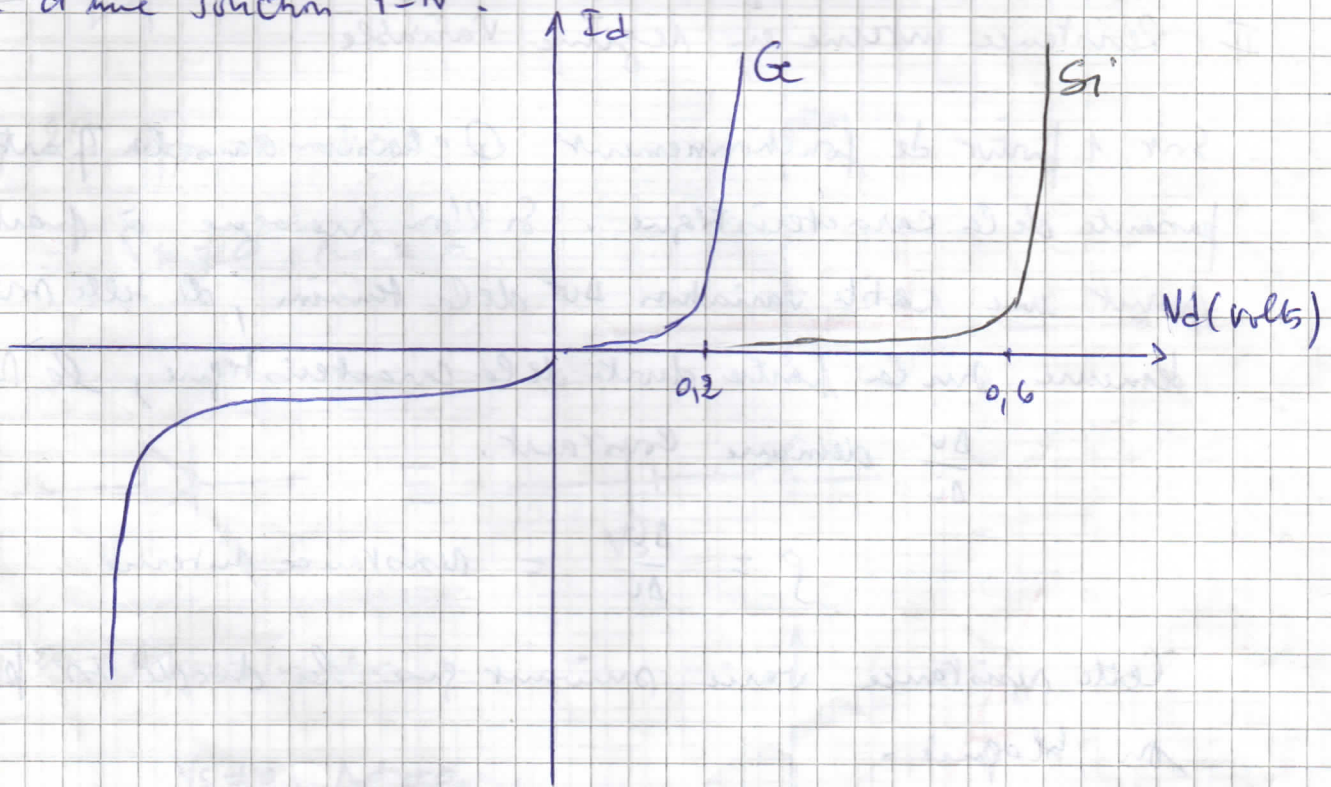
Elle est dite passante si l'anode est à un potentiel ^{plus} élevé que celui de la cathode. Elle est dite bloquée dans le cas inverse.



La tension V_d est de 0,6V pour le Si
de 0,2V pour le Ge.

I Caractéristique d'une diode à Jonction.

La caractéristique courant-tension d'une diode est analogue à celle d'une jonction P-N.



Caractéristique Courant-tension d'une diode.

Le seuil est de 0,2V pour le Ge
et de 0,6V pour le Si

Pour un fonctionnement normal des diodes, il y a deux limites essentielles à considérer :

⊕ Dans le sens passant, le courant direct ne doit pas dépasser une valeur maximale I_m du courant direct, donnée par le constructeur, sous peine de provoquer un échauffement inadmissible.

⊕ Dans le sens inverse, la tension ne doit pas dépasser une certaine valeur V_M , sinon le champ électrique qui règne dans l'épaisseur de la jonction est tellement élevé qu'il parvient à arracher des e^- des liaisons.

Au delà de la tension V_M , le courant croît rapidement : c'est l'avalanche. (entre 10V et des centaines de Volts)

résistance ohmique. $R = \frac{V}{I}$ (charge)

II Résistance interne en régime variable.

Soit 1 point de fonctionnement Q choisit dans la partie ~~de~~ passante de la caractéristique. Si l'on provoque à partir de ce point une petite variation ΔV de la tension, de telle sorte qu'elle demeure sur la partie droite de la caractéristique, le rapport

$\frac{\Delta V}{\Delta i}$ demeure constant.

$$r = \frac{\Delta V}{\Delta i} = \text{résistance interne.}$$

Cette résistance varie suivant que la diode est passante ou bloquée.

a) diode passante.

$$i = I_s \left(e^{\frac{eV}{kT}} - 1 \right) \quad r = r_d$$

pour $V > 0,1$ Volts $e^{\frac{eV}{kT}} \gg 1$ et

$$i \approx I_s e^{\frac{eV}{kT}}$$

$$\frac{di}{dV} = \frac{e}{kT} I_s e^{\frac{eV}{kT}} \approx \frac{e}{kT} i$$

$$f = \frac{dv}{di} = \frac{1}{\lambda i} = \text{quelque ohms.}$$

b) Diode bloquée.

$$i = I_s (1 - e^{-v/v_s})$$

pour $v > 0, 1V$ etc
 $e^{-v/v_s} \ll 1$

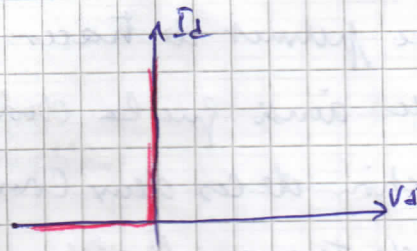
$$i \approx I_s = \text{cte.}$$

$$di = 0 \Rightarrow f = \lambda i = \infty$$

III Approximation d'une Diode.

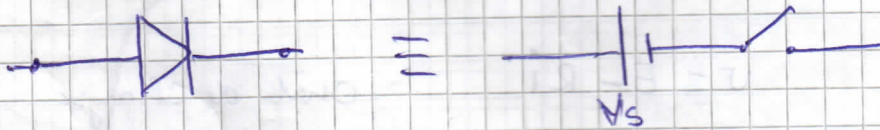
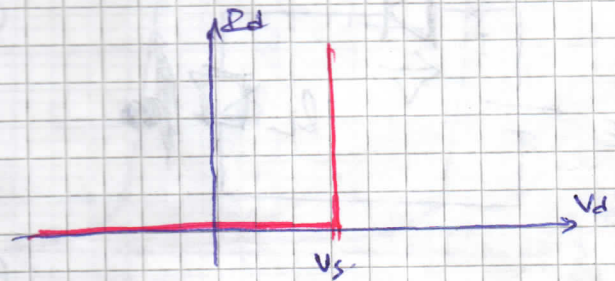
a) 1^{ère} approximation

$$V_s = 0, I_d = 0$$



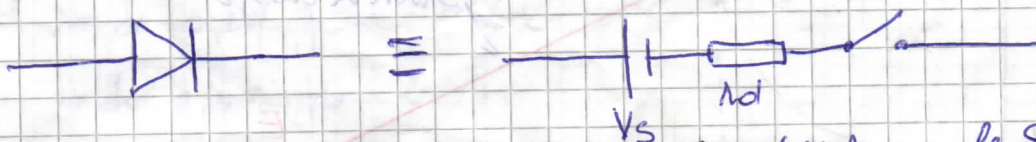
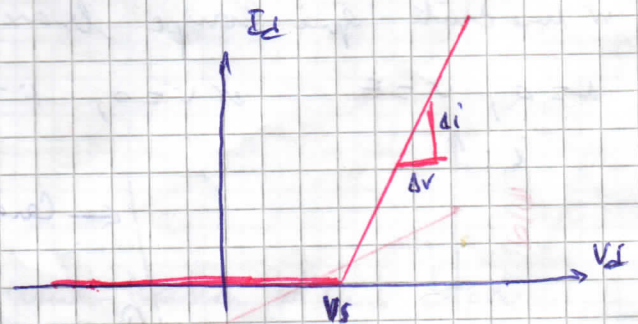
b) 2^{ème} approximation

$$V_s \neq 0, I_d = 0$$



3) 3^{ème} approximation

$$V_s \neq 0, I_d \neq 0$$



La tension V_s est de $\begin{cases} 0,6V \text{ pour le Si} \\ 0,2V \text{ pour le Ge} \end{cases}$

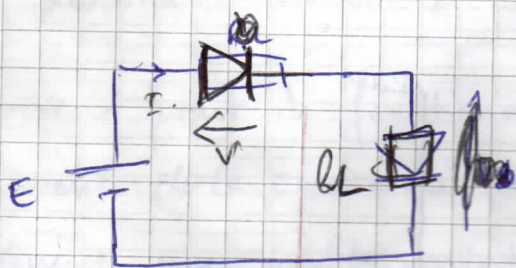
III Caractéristique Dynamique

Soit une diode insérée dans un circuit avec un générateur et une résistance de charge.

Les diodes pour des composants non linéaires. Une augmentation de la d.d.p aux bornes n'entraîne pas nécessairement une augmentation linéaire de l'intensité du courant qui la traverse, d'où la loi d'ohm est non applicable. Une solution graphique permet de résoudre le problème.

Pour déterminer le courant et la tension de la diode, la solution graphique permet de tracer la caractéristique courant-tension de la diode ainsi que la droite de charge statique.

L'intersection de ces deux courbes donne le point de repos Q et permet de trouver les valeurs du courant ainsi que la tension aux bornes de la diode.



(*) La caractéristique statique fournie par le constructeur
 $i = f(V) \rightarrow i_d = I_s \left[e^{\frac{eV}{kT}} - 1 \right]$

(*) La caractéristique dynamique.

$$i = f(E)$$

$$V = E - Ri \quad \text{droite de charge}$$

C'est une droite qui coupe les axes de coordonnées aux points

$$i = 0, V = E \quad \text{ou} \quad V = 0, i = \frac{E}{R}$$

