



# **Cours électronique**

## **Chapitre 5: Les Diodes**

## I-Introduction :

**Une diode est un élément de circuit non linéaire. La loi d'Ohm telle que vue auparavant ne s'applique plus de la même façon.**

## II- Constitution :

**Les diodes sont fabriquées à l'aide de matériaux semi-conducteurs : le silicium Si et le Germanium Ge par exemple. Les atomes sont organisés en réseaux cristallins**

**Dès qu'une tension est appliquée entre leurs bornes (à température ambiante), quelques électrons rompent leurs liaisons atomiques pour générer un faible courant d'électrons libres.**

## III : Dopage :

**Si on ajoute des atomes dits « impuretés » à un cristal de manière qu'ils prennent la place d'atomes de Si et Ge : le cristal est dit **DOPE****

# Introduction

## Eléments de base de semi-conducteurs

**Solides cristallins se distinguent :**

- Les isolants de résistivité supérieure à  $10^{12} \Omega \text{ cm}$
- Les métaux de résistivité inférieure à  $10^{-5} \Omega \text{ cm}$

entre ces deux catégories se trouve la catégorie des *semi-conducteurs*

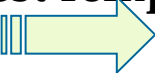
Propriétés : ils possèdent une conductibilité électronique

La circulation du courant électrique se fait par déplacement d'électrons et de trous

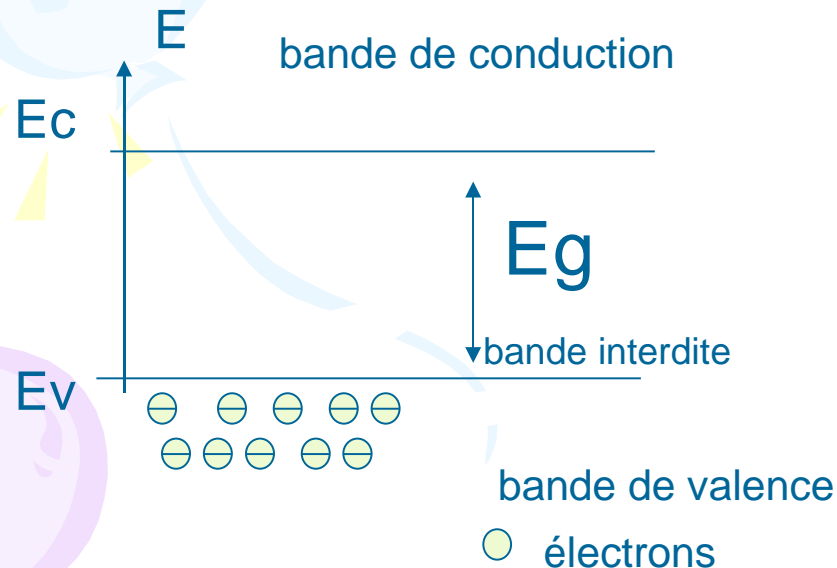
Leur résistivité est fonction décroissante de la température

# Isolants et conducteurs

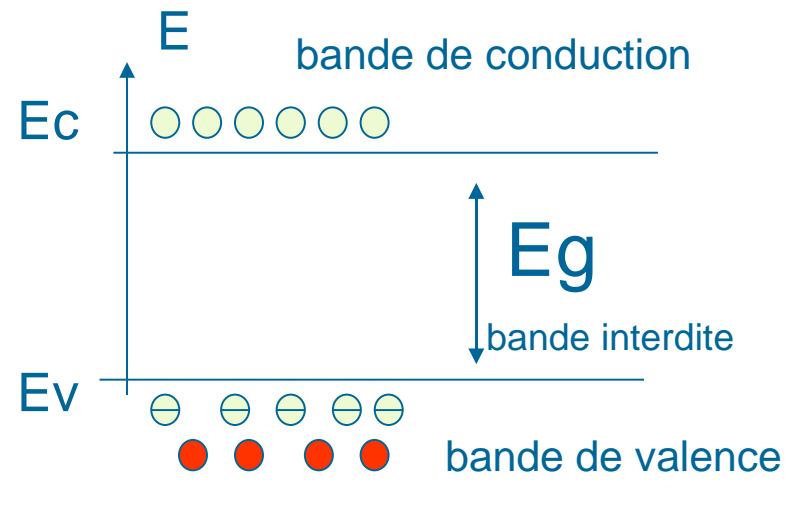
Le schéma d'énergie des solides cristallins se compose d'une succession de bandes interdites et de bandes permises totalement remplies :

Si la dernière bande supérieure (ou bande de valence) est remplie d'électrons : la conduction par électrons ou par trous est impossible  matériaux isolant.

Si la dernière bande supérieure (ou bande de valence) n'est pas totalement remplie d'électrons : la conduction peut se produire

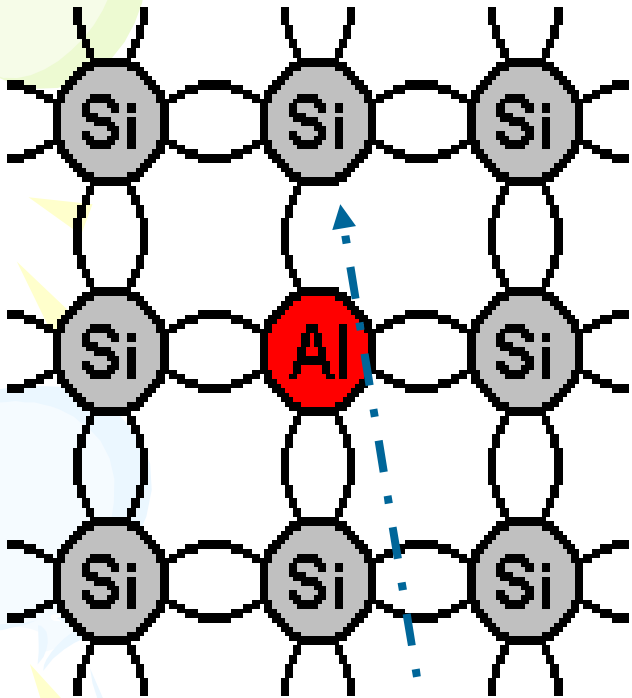


**Matériau isolant**



**Matériau conducteur**

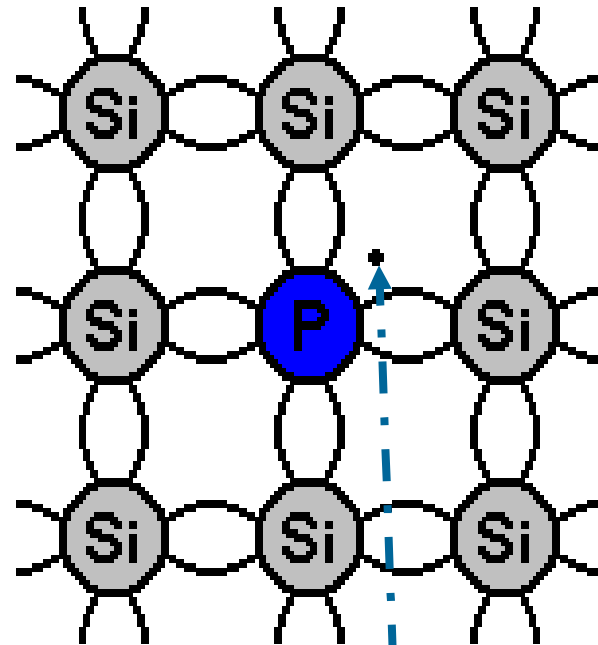
**DOPAGE P**



**ACCEPTEUR**

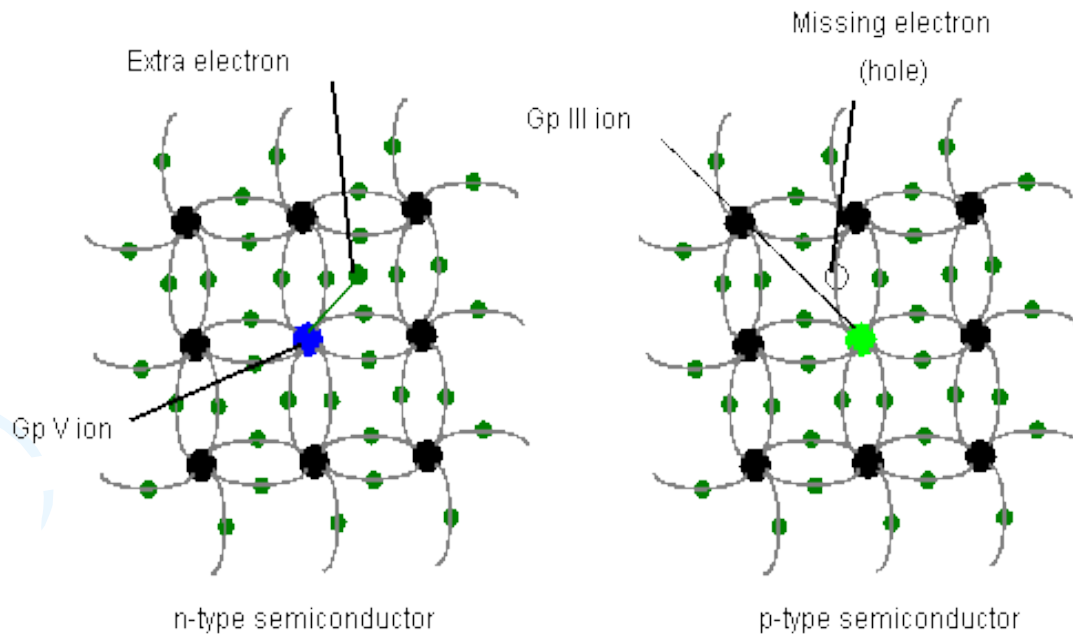
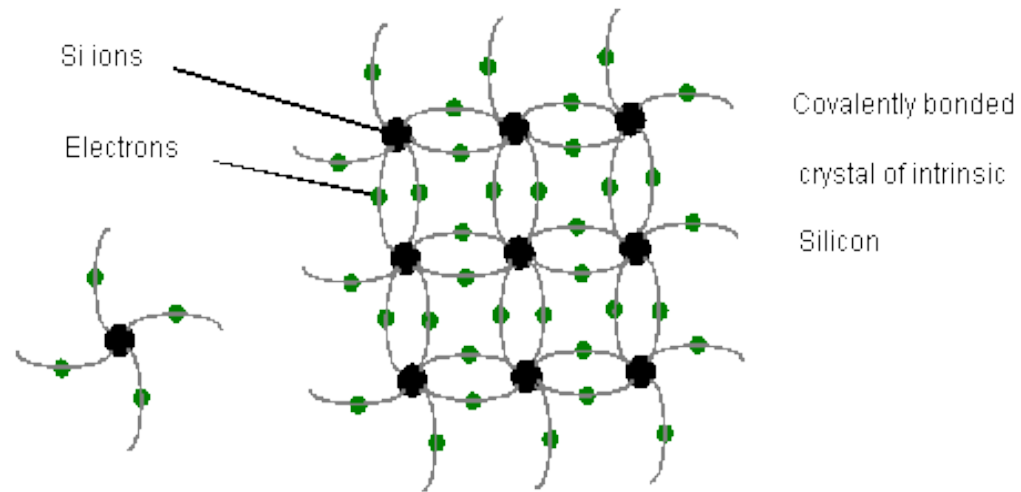
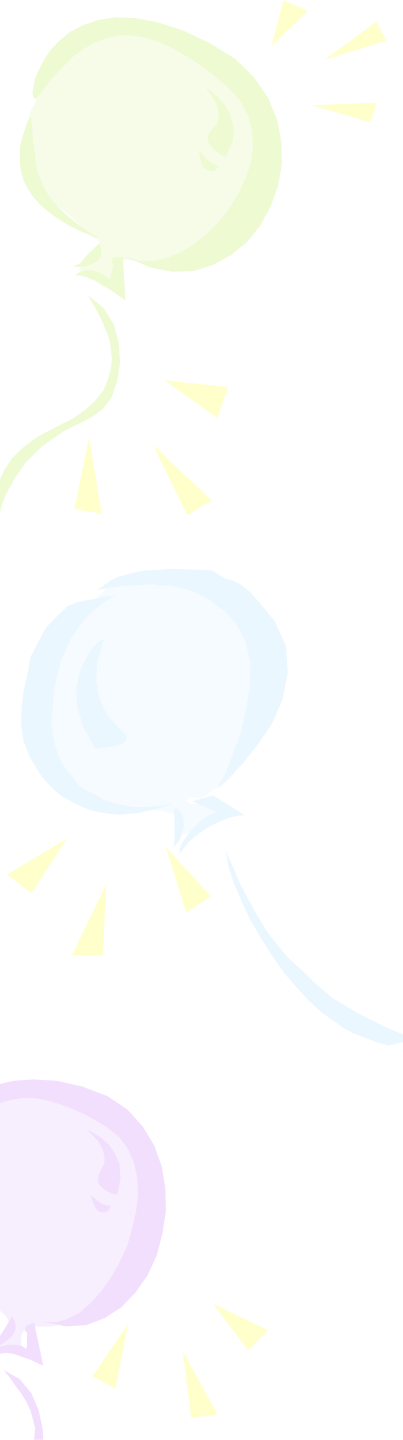
**TROUS** porteurs majoritaires

**DOPAGE N**



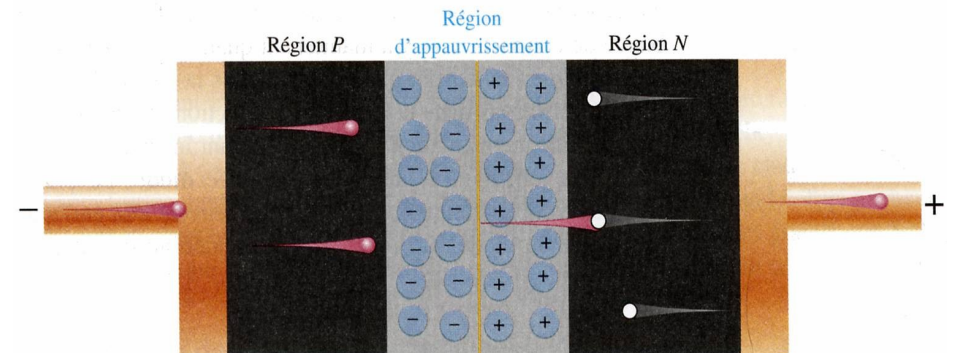
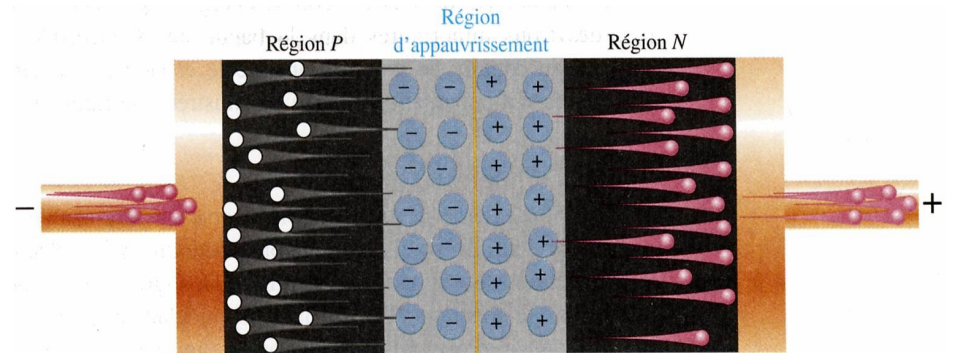
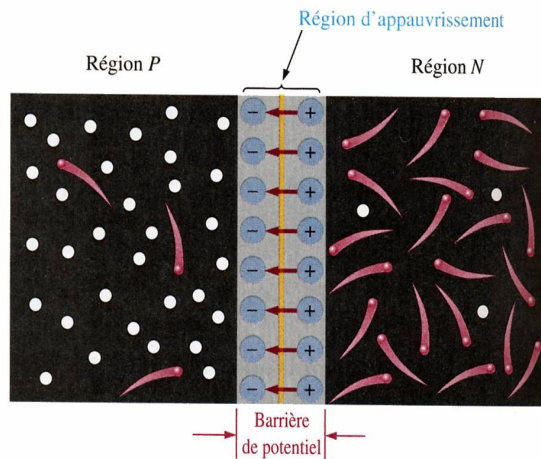
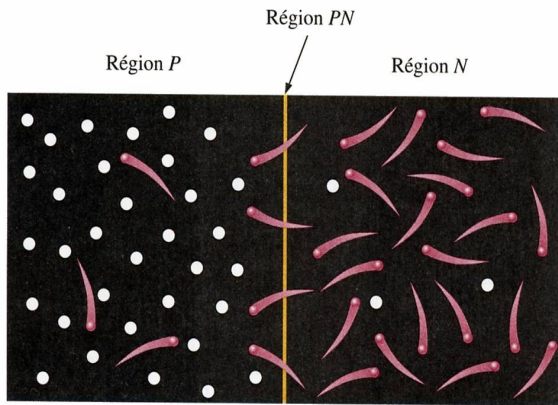
**DONNEUR**

**électrons** porteurs majoritaires

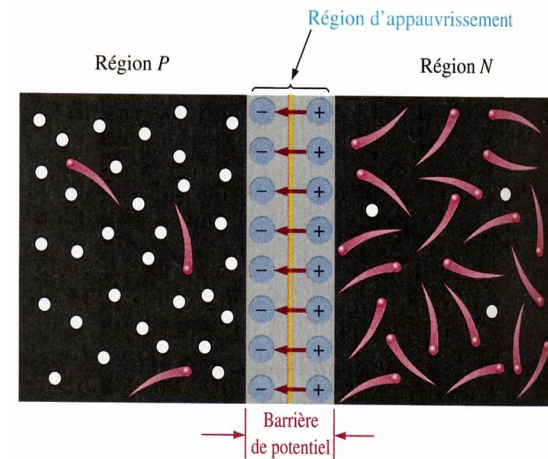
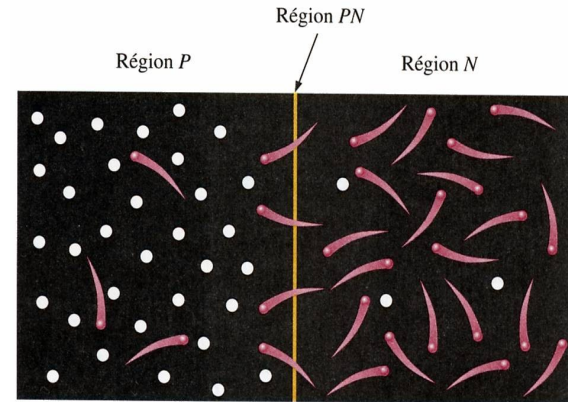
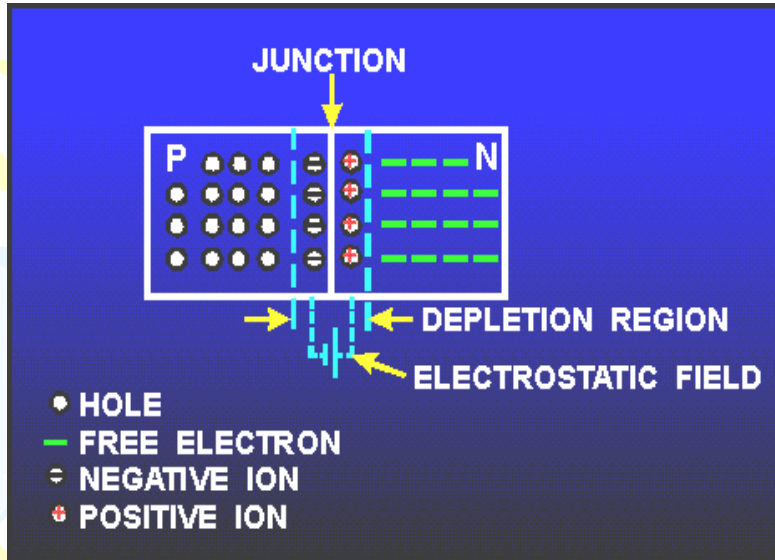


# Que se passe-t-il vraiment ?

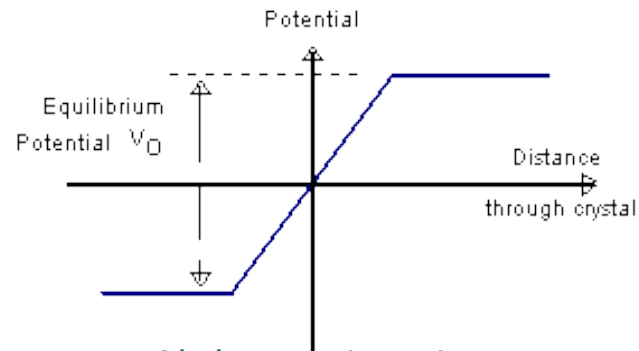
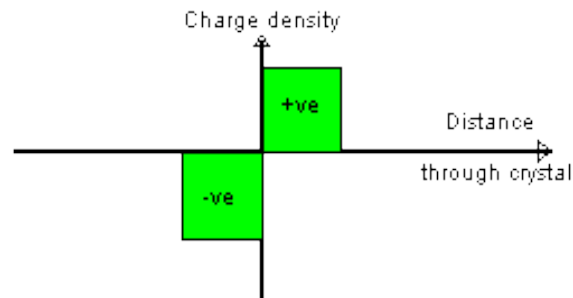
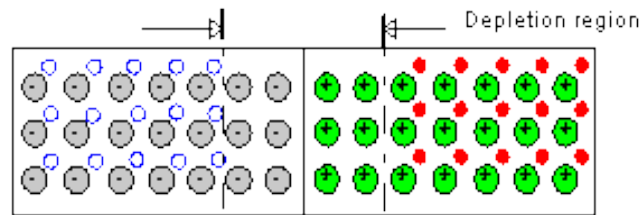
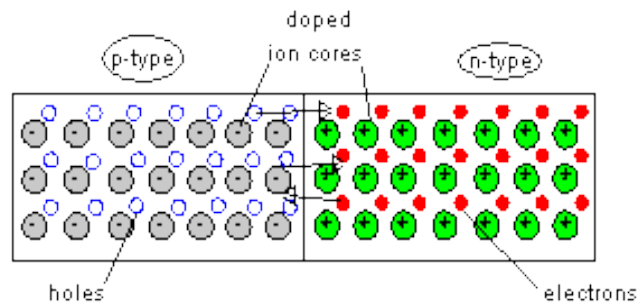
## La jonction pn



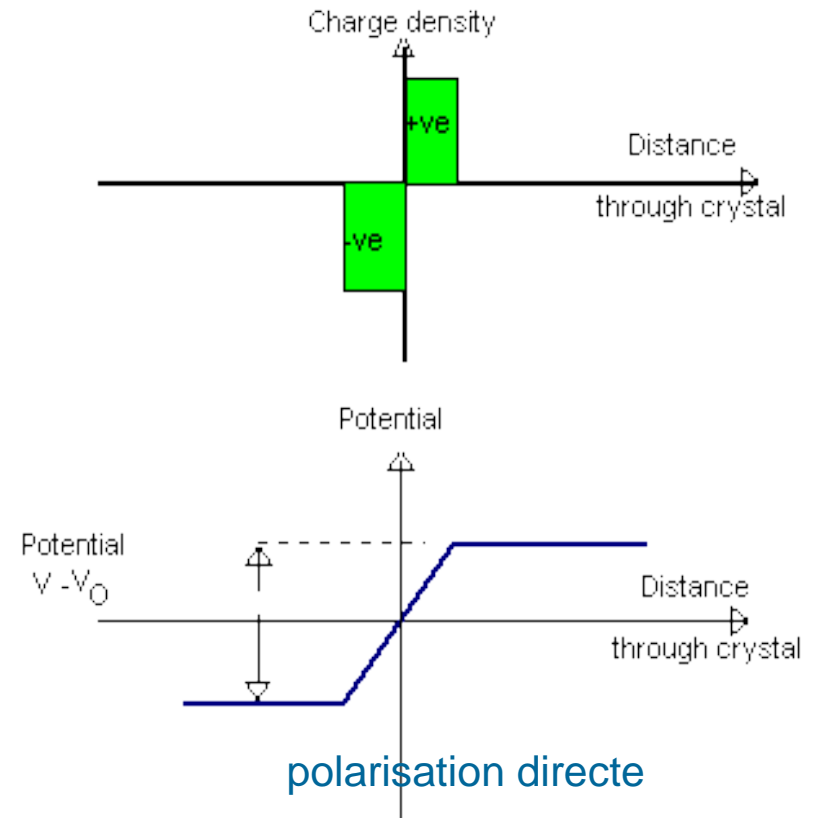
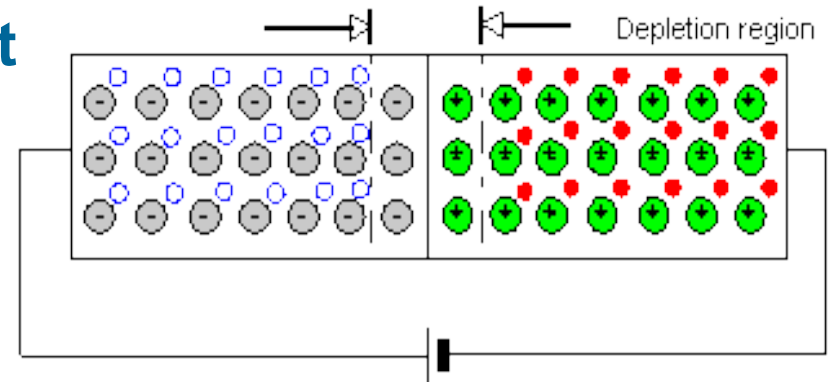
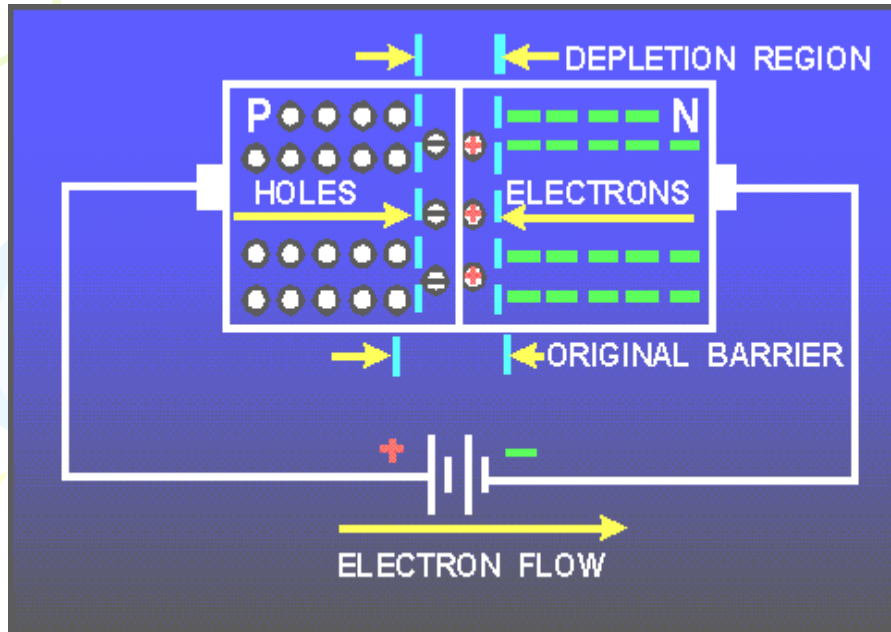
# La jonction P-N





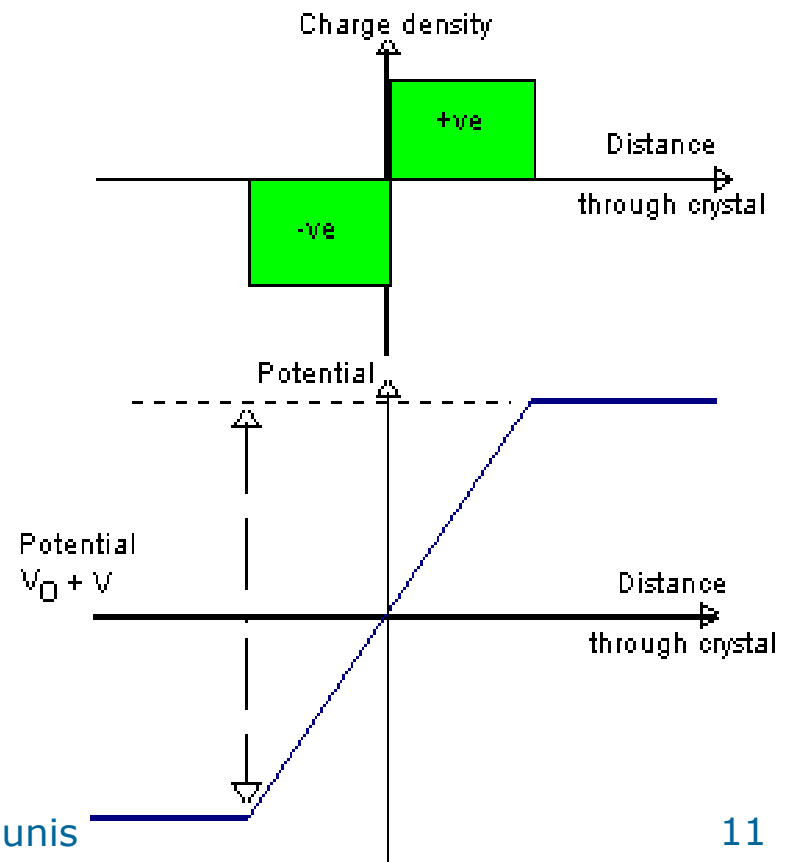
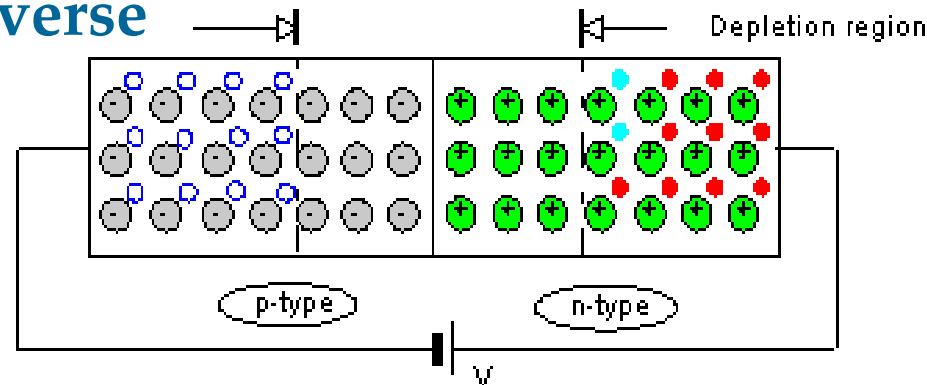
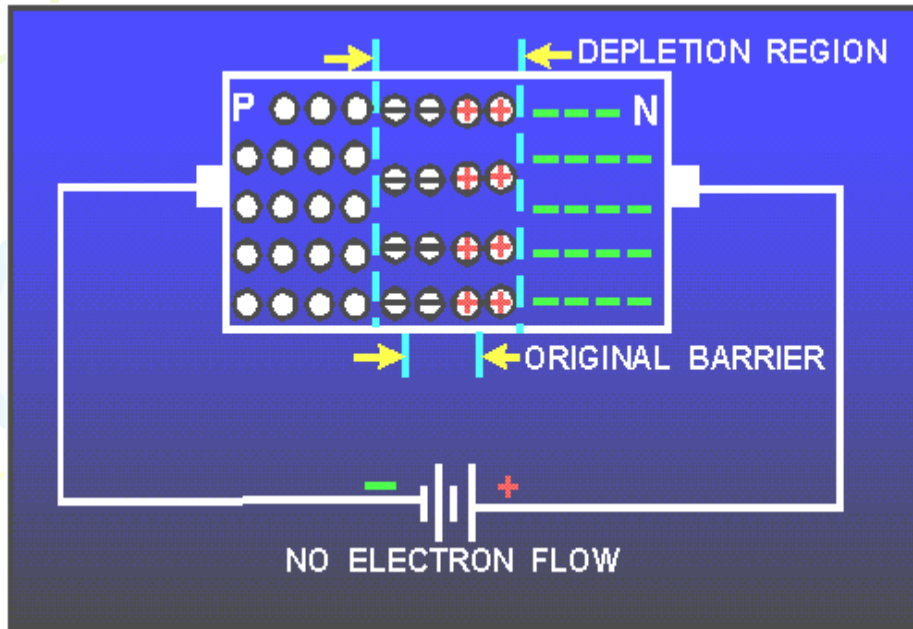


# Jonctions polarisées en direct

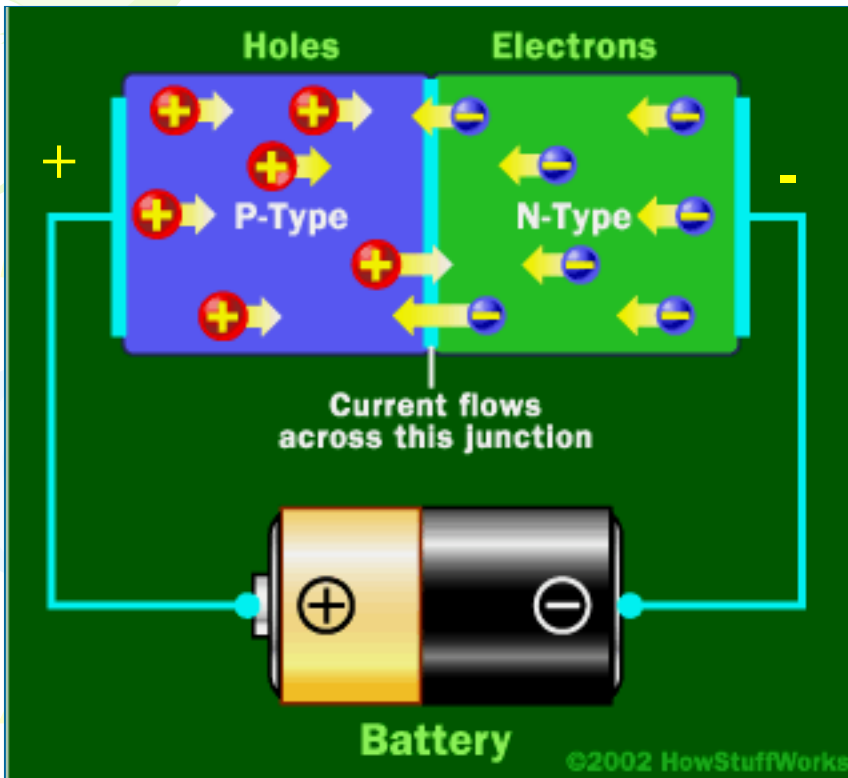


**Remarque: lorsqu'une diode est traversée par un courant, on observe une chute de tension de 0,7 Volts (0,3 V) pour du silicium (Germanium)**

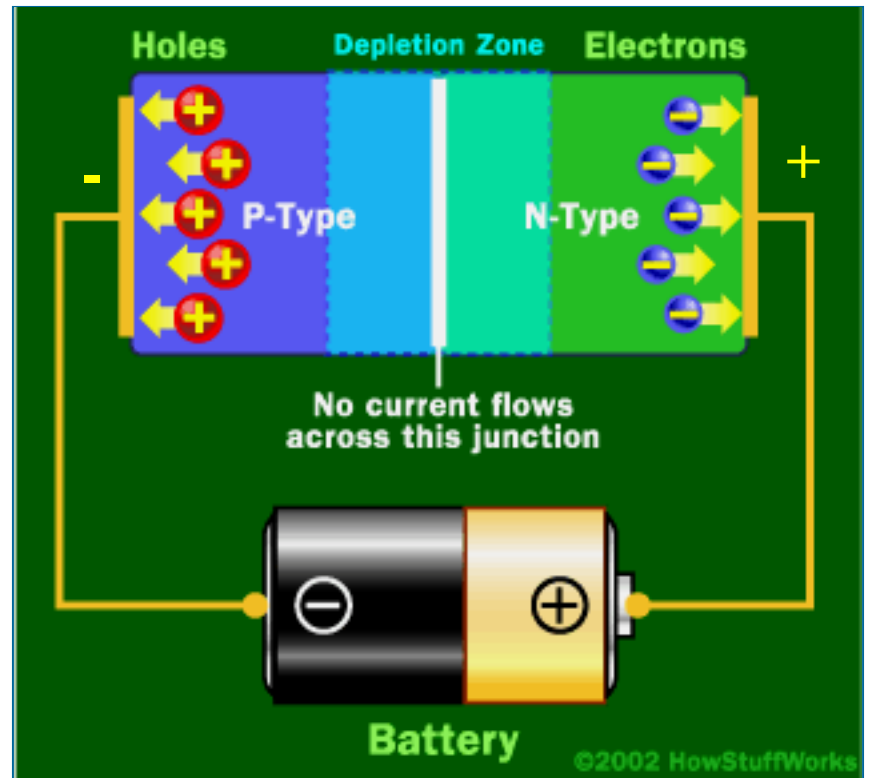
# Jonctions polarisées en inverse



# Résumé : Diodes

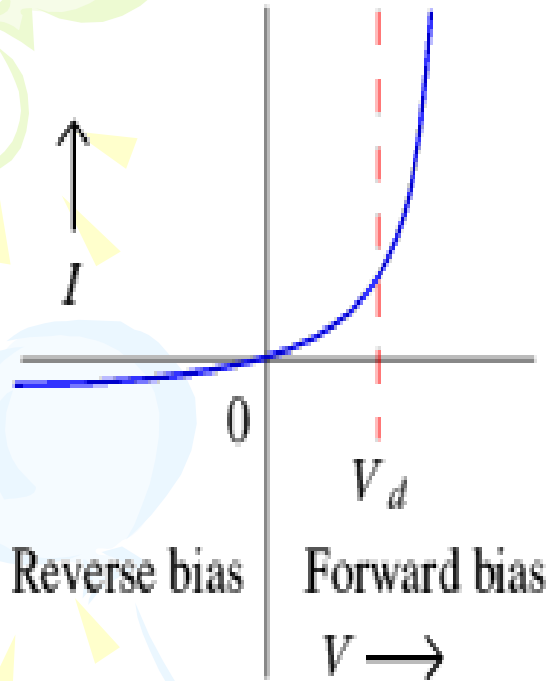


Polarisation directe



Polarisation inverse

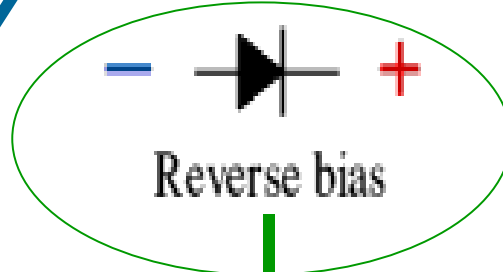
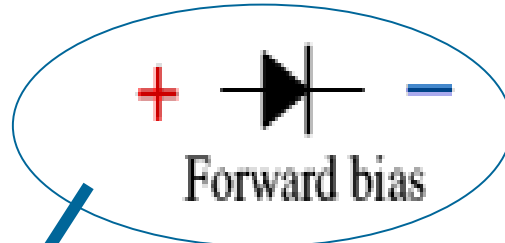
# Jonctions PN



Real Diode

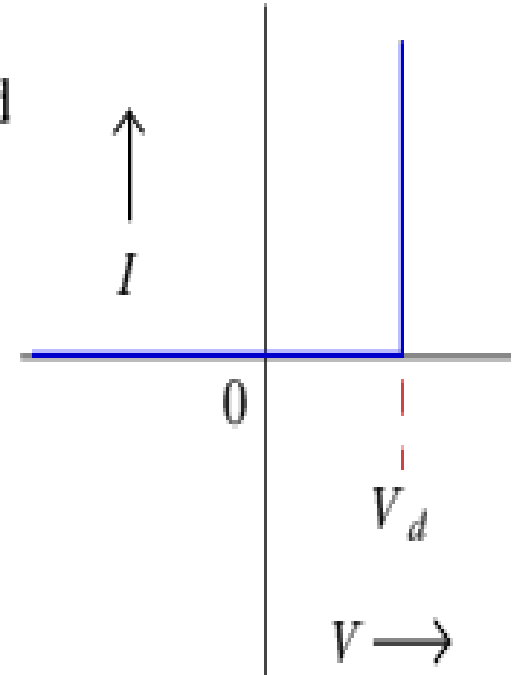
$$I \neq 0$$

$$U_D \neq 0$$



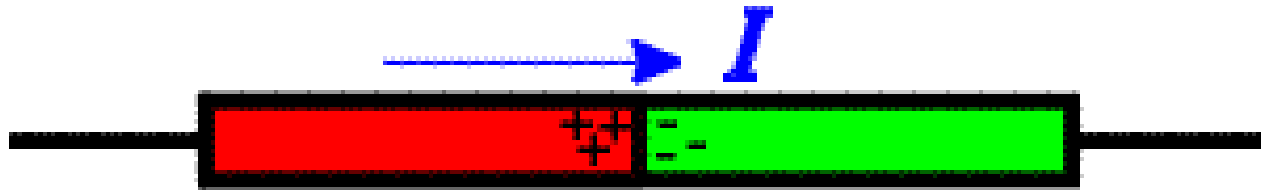
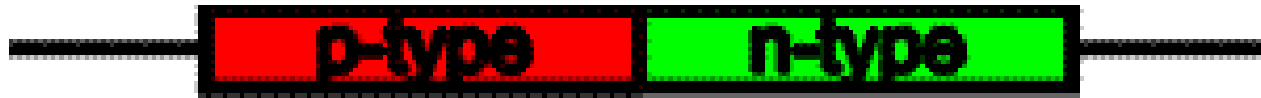
$$I = 0$$

$$U_D \neq 0$$

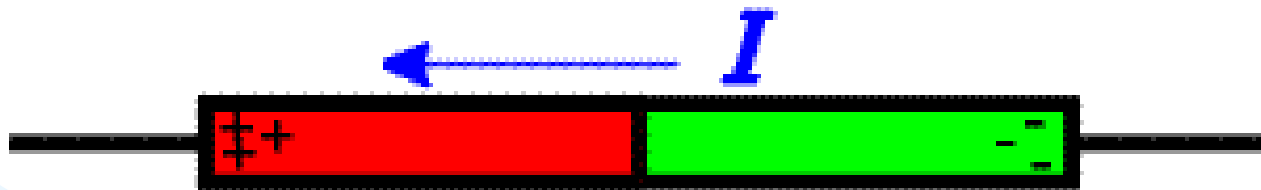


'Ideal' Diode

## DIODES: RESUME



POLARISATION DIRECTE



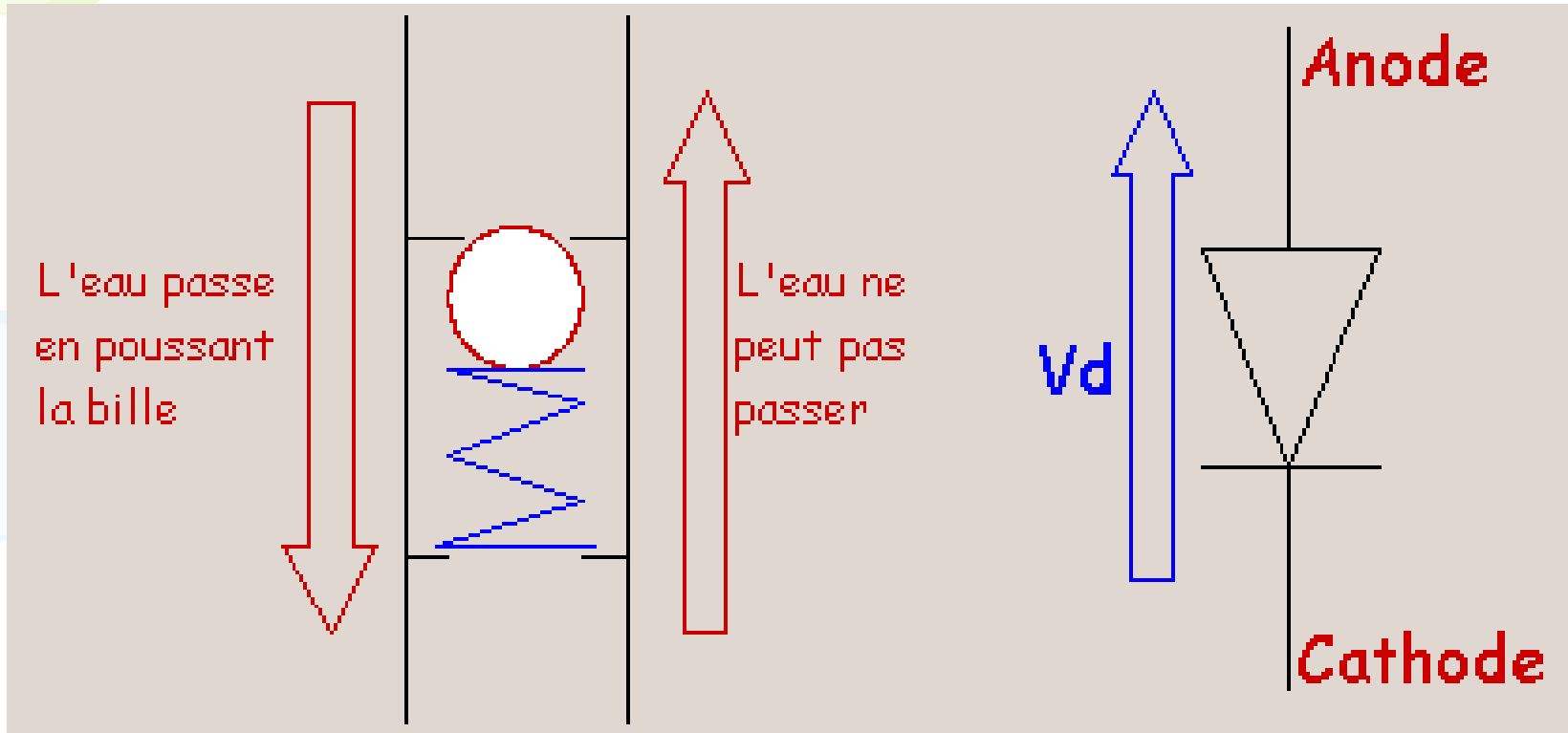
POLARISATION INVERSE

interrupteur ouvert

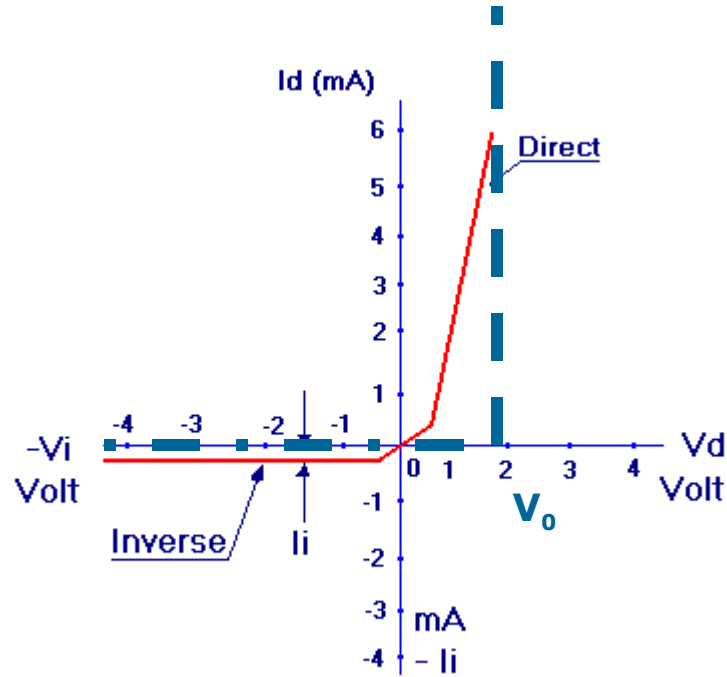


**Remarque :** en inverse la diode ne conduit pas  $\rightarrow I=0$   
Cependant si une tension inverse  $U$  entre ses bornes très élevée est appliquée entre ses bornes alors un courant de conduction apparaît au delà de la tension dite tension ZENER

analogie : clapet anti retour



## 6-caractéristique d'une diode idéale (à seuil) :



*Fig. 9. - Caractéristique d'une diode à jonction.*

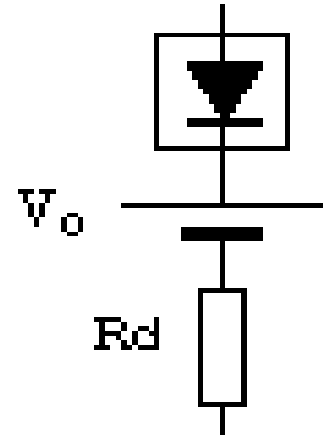
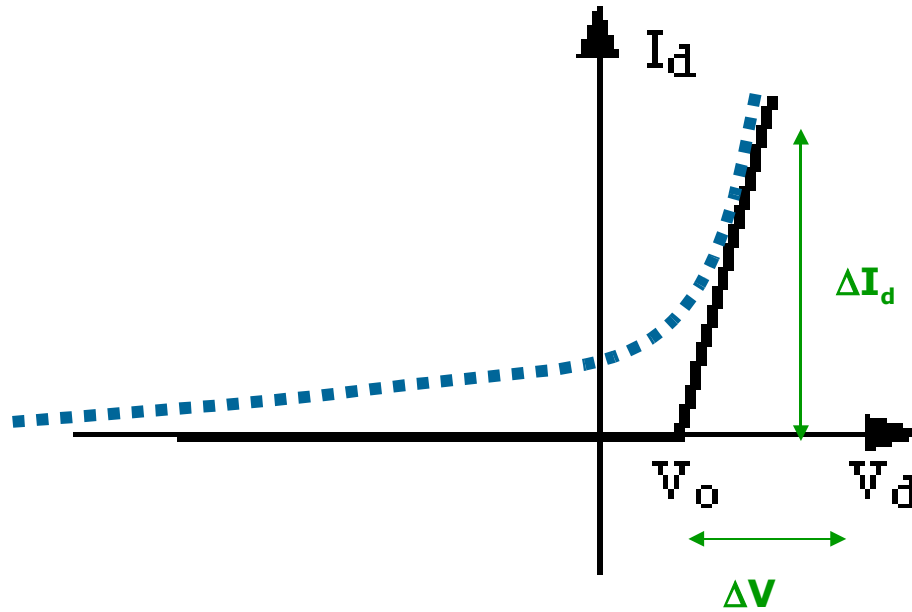
caractéristique d'une diode idéale

$V = V_0$  tension de coude  $I_d > 0$   
 $I = 0$  pour  $V_0$



## 7- Modèle linéarisé

On peut écrire que la tension aux bornes de la diode peut s'écrire :



$$V_d = V_0 + r_d I_d \quad \text{pour } I_d \geq 0$$

$$I_d = 0 \quad \text{pour } V_d \leq V_0$$

$r_d$  : résistance dynamique de la diode : c'est la pente moyenne de la partie utilisée pour les potentiels positifs

## 8- Droite de charge

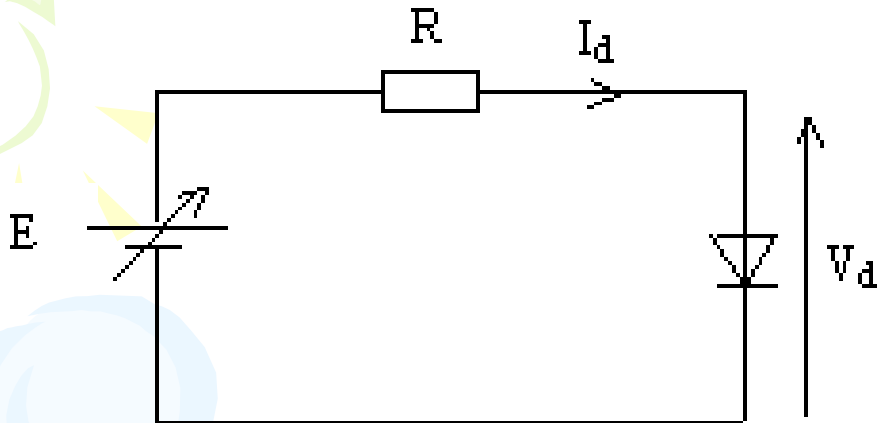


fig 1

on peut écrire que :

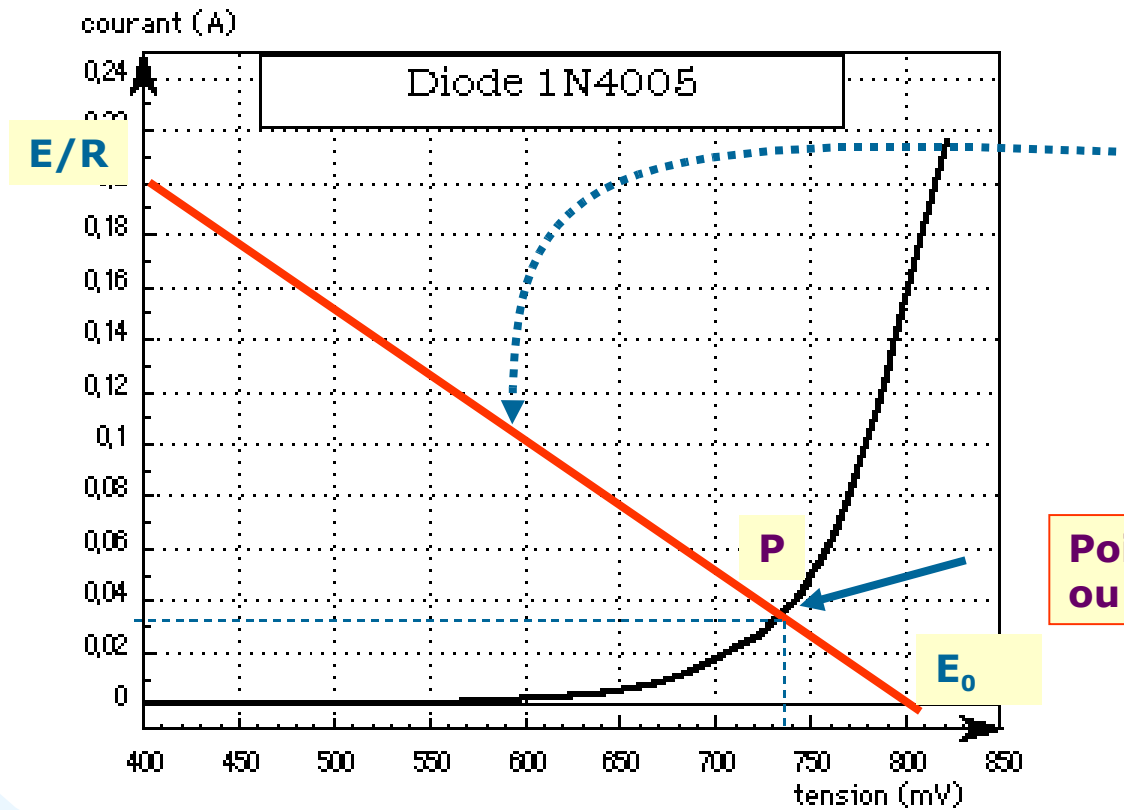
$$E - R I_d - V_d = 0$$

$$V_d = E - R I_d$$

$$\text{Pour } I_d = 0 \quad V_d = E$$

$$\text{Pour } V_d = 0 \quad I_d = \frac{E}{R}$$

## Droite de charge d'une diode:



droite de charge

Point de fonctionnement  
ou point de repos

## 9- Schéma équivalent d'une diode :

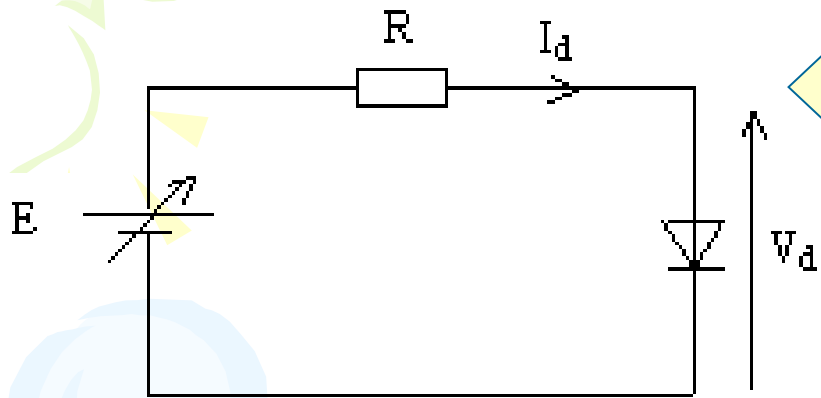
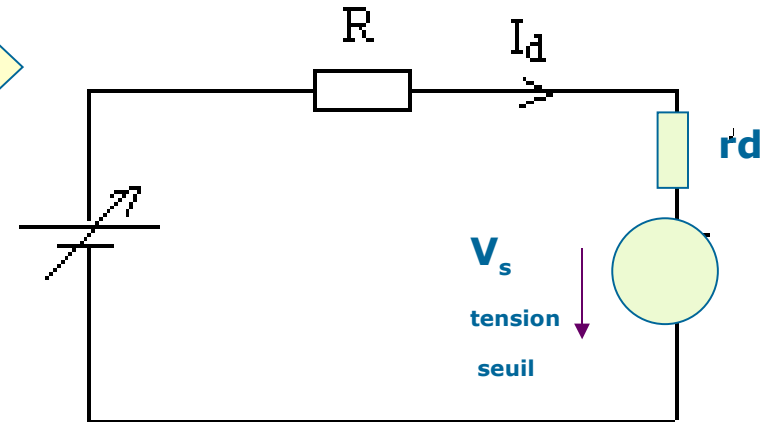
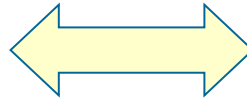


fig 1



Circuit équivalent

## 10- Redressement du courant alternatif :

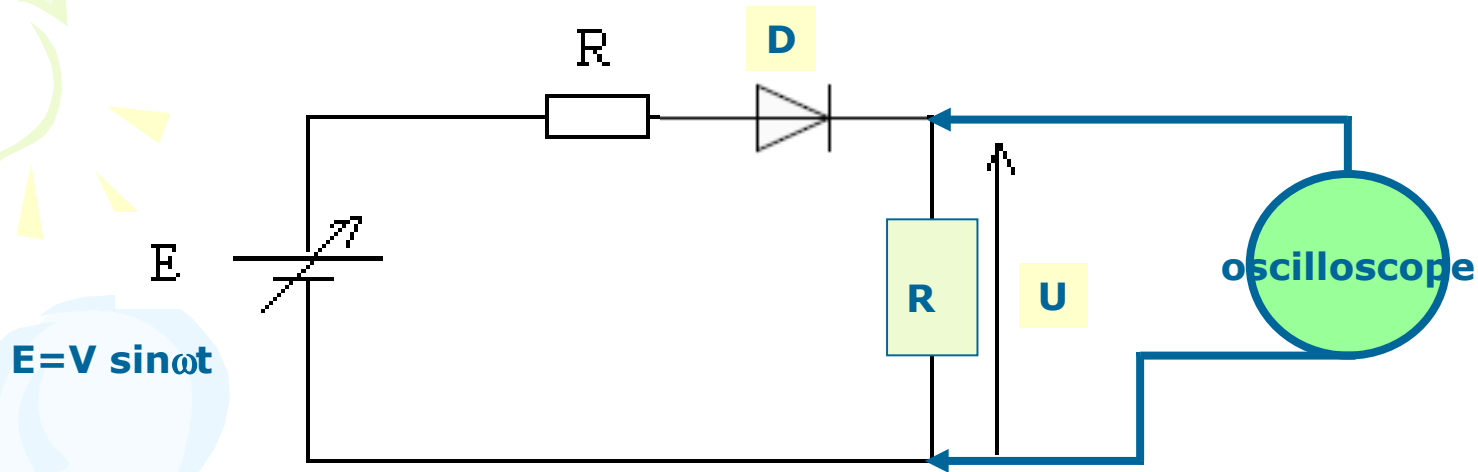
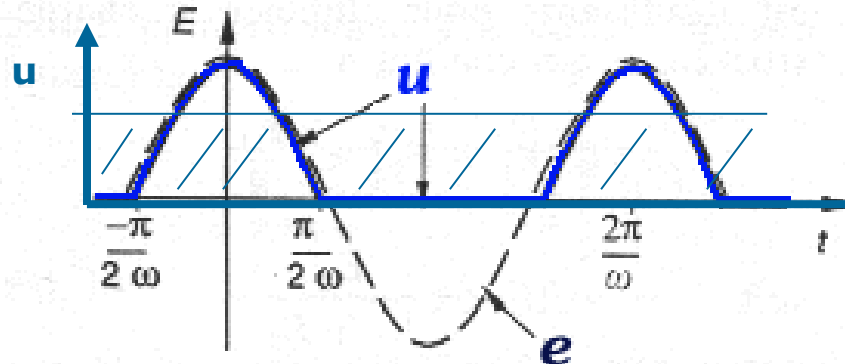


fig 1

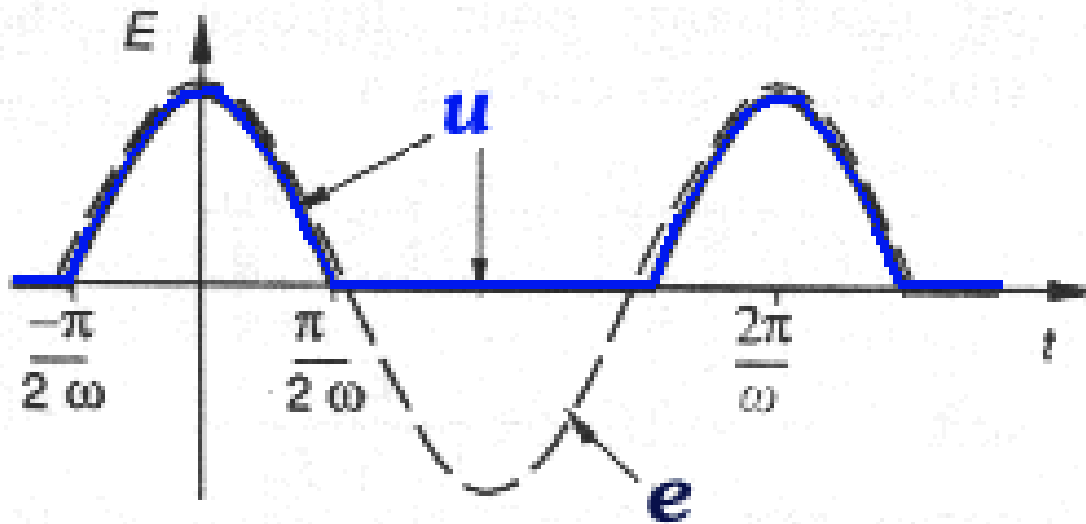
### Redressement simple alternance



R est traversé par le courant uniquement pour les alternances positives

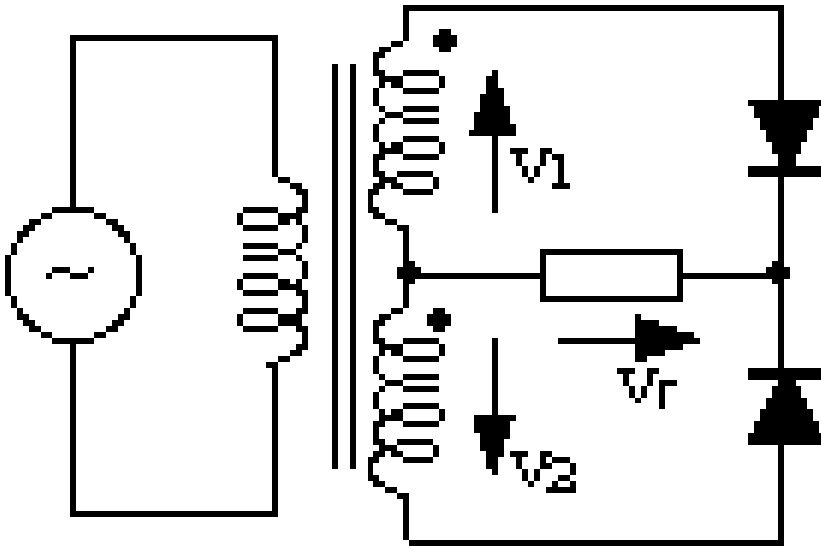
Valeur Moyenne de la tension :

$$\langle u \rangle = \bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} E \cdot \sin \omega t = -\frac{E}{T\pi} \cdot \left[ \cos \omega t \Big|_0^{\pi/2} \right] = \frac{V}{\pi}$$



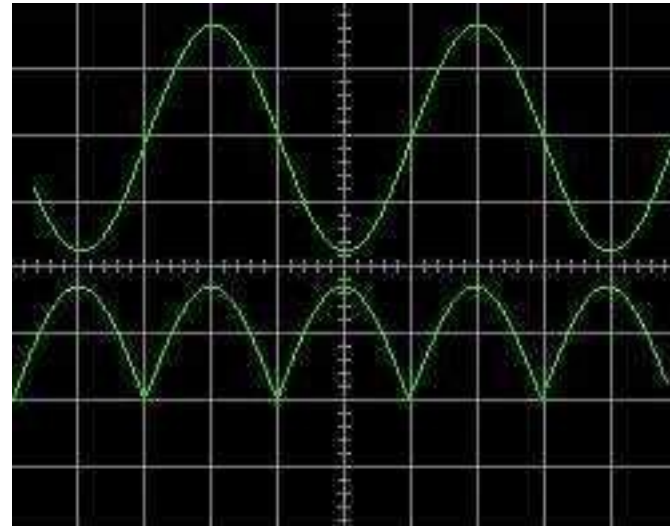
## 11- Redressement double alternance :

### a- Circuit à 2 diodes :

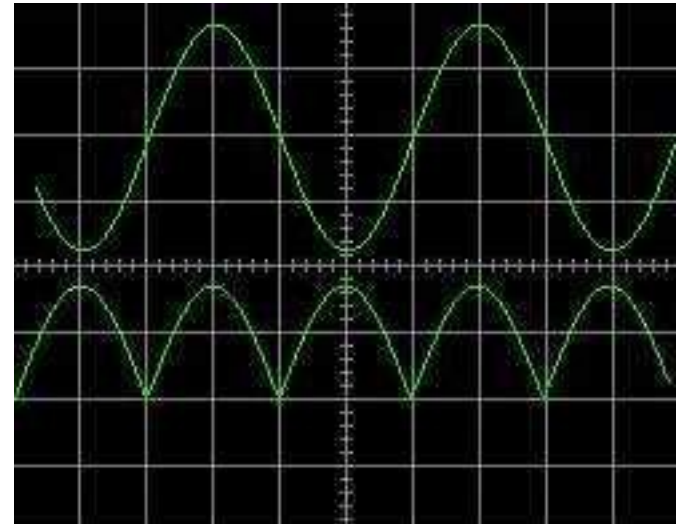
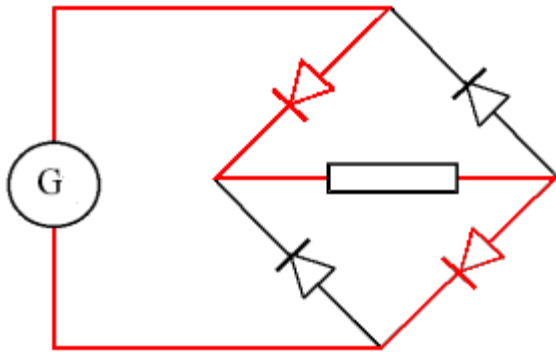


$$\tilde{V}_1 = \tilde{e}(t) = E \sin \omega t$$

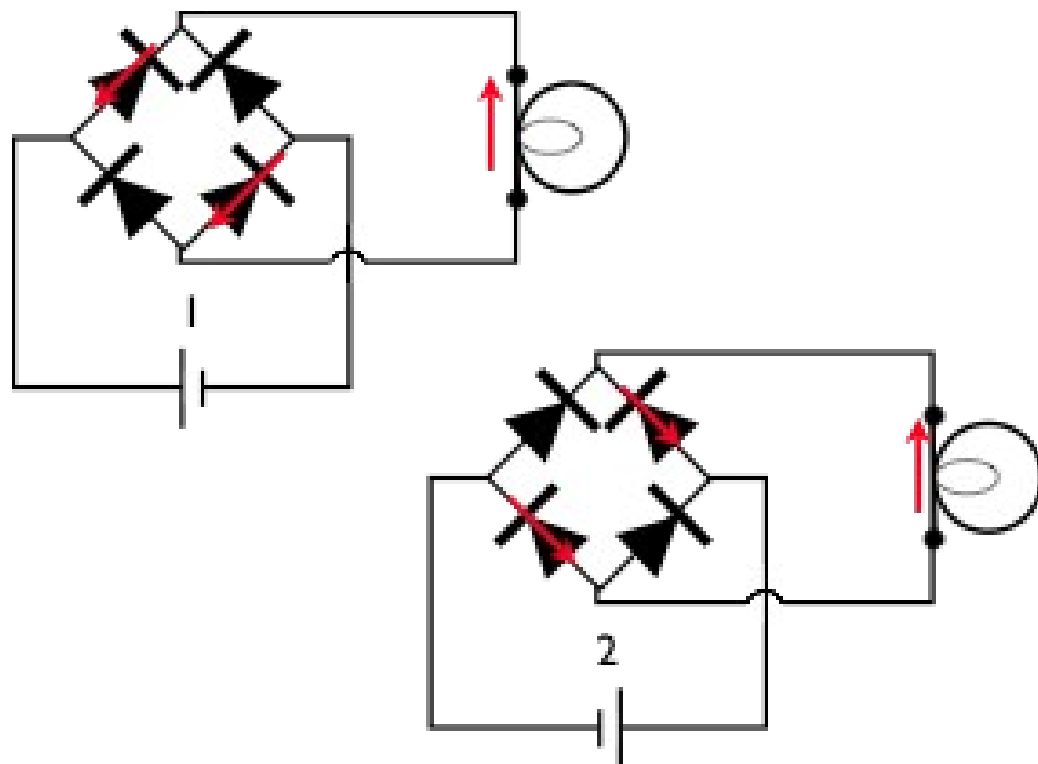
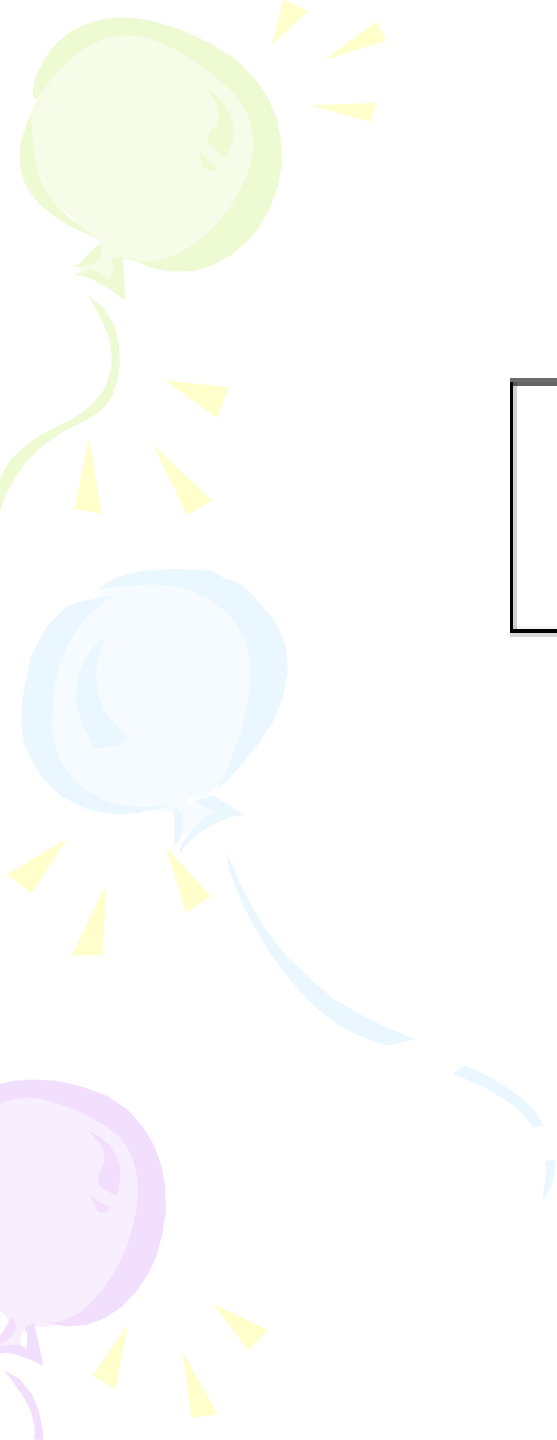
$$\tilde{V}_2 = -\tilde{e}(t) = -E \sin \omega t$$



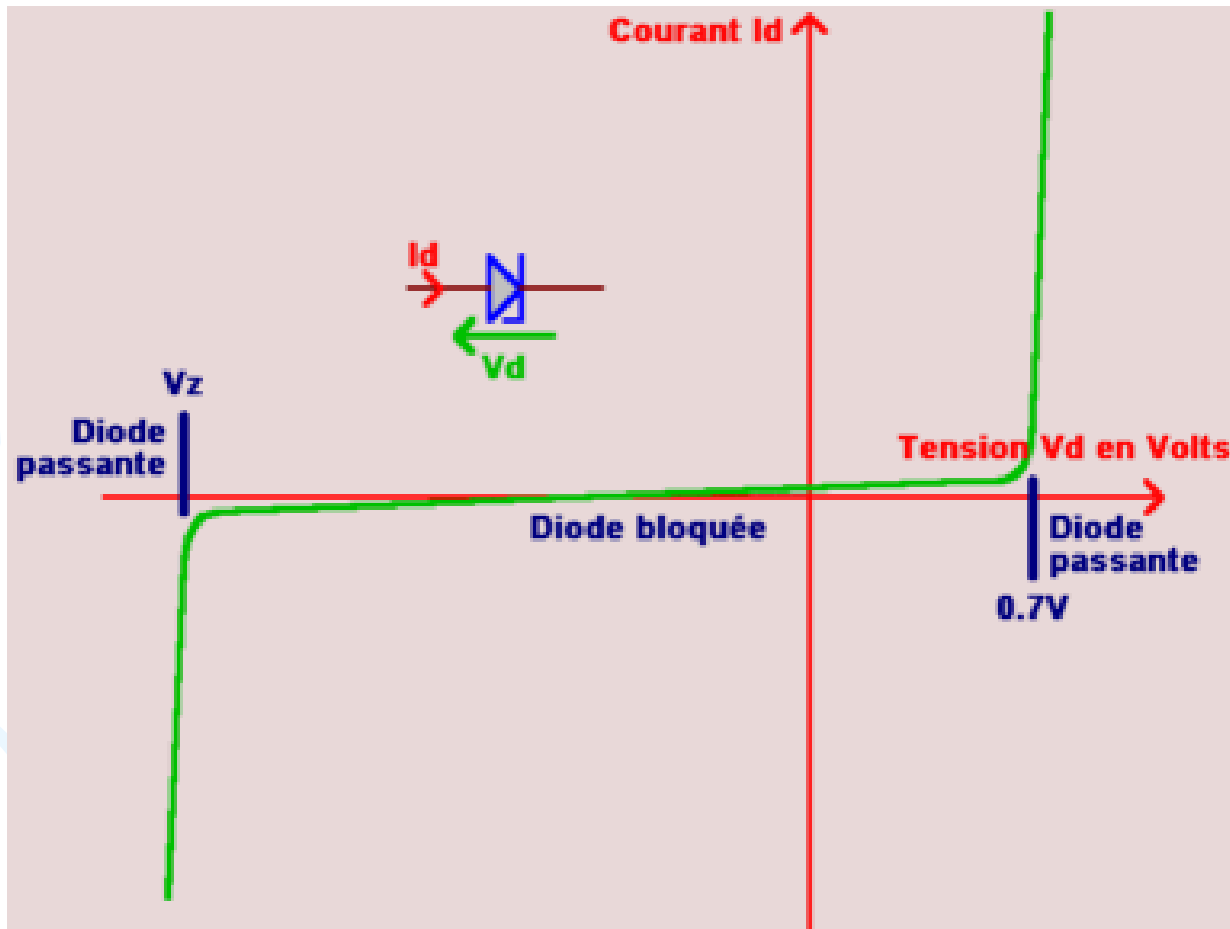
## b- circuit à 4 diodes



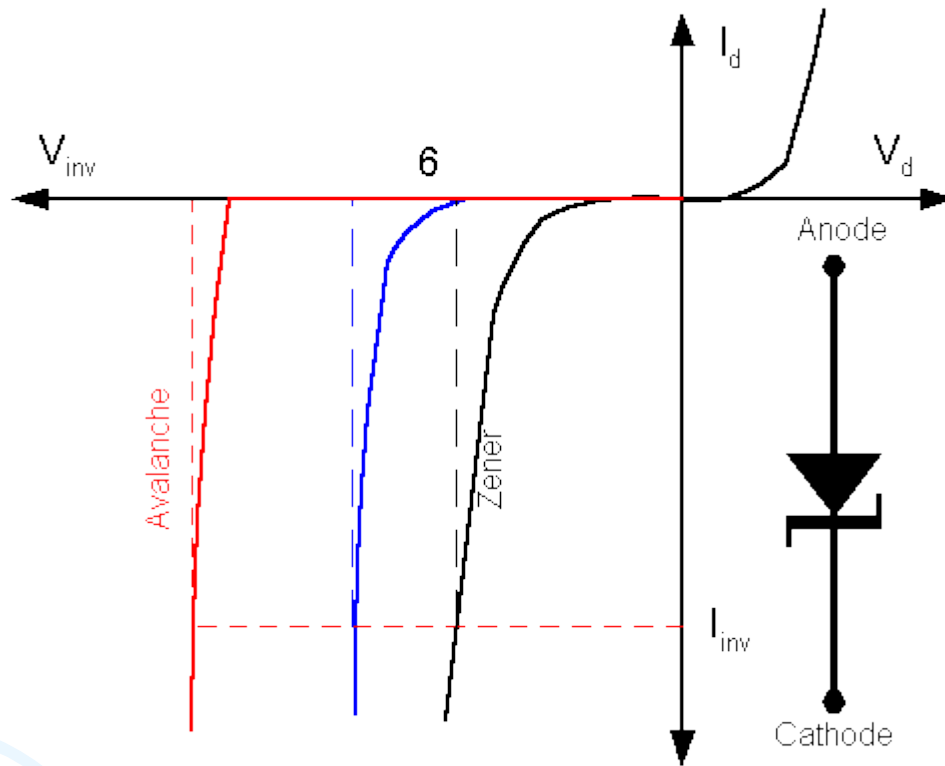




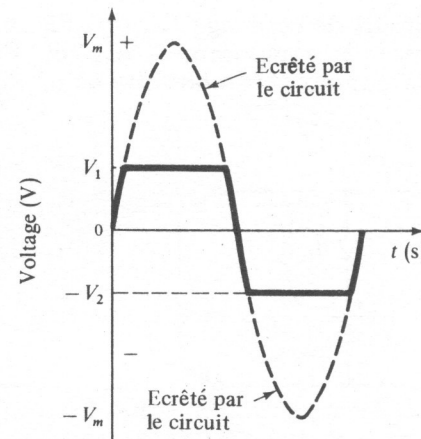
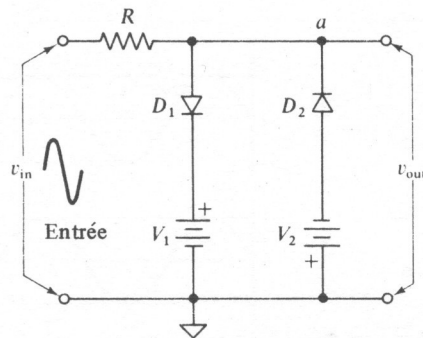
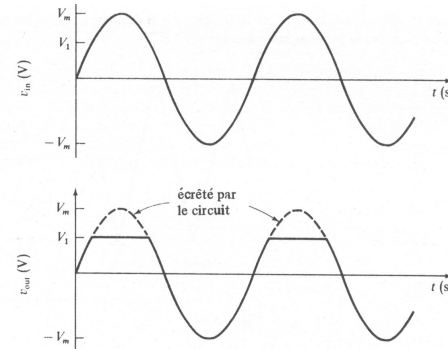
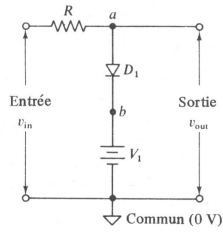
## 12- Diodes Zener



# Symbole pour la diode Zener

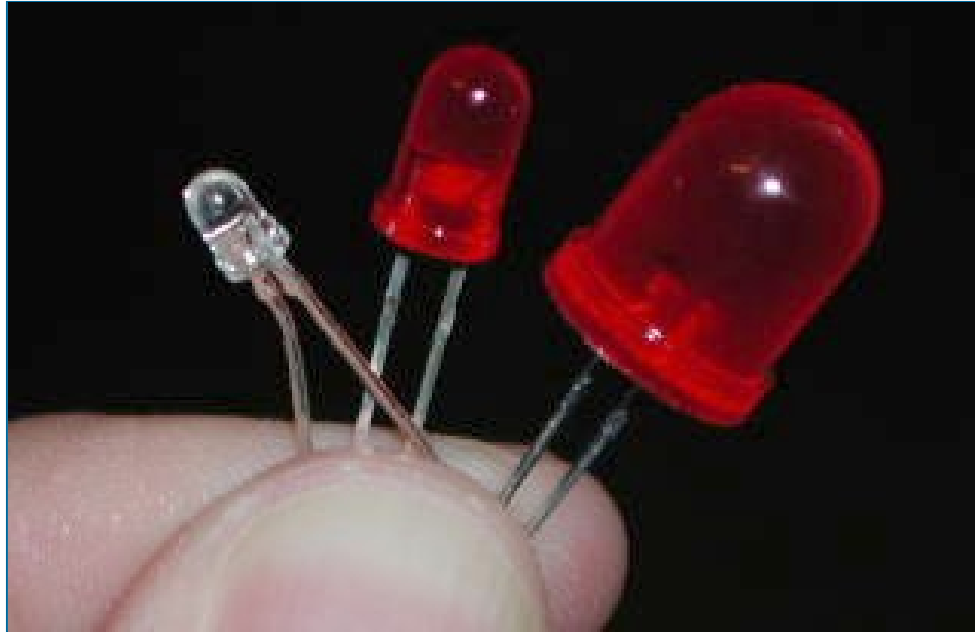


# 13- Ecreteurs



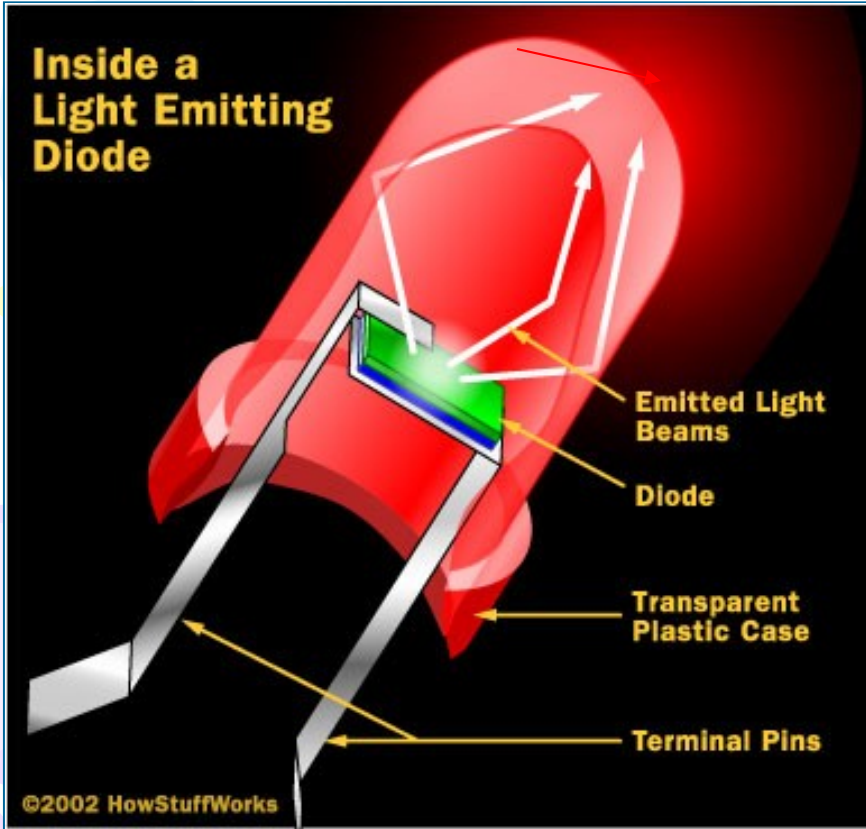
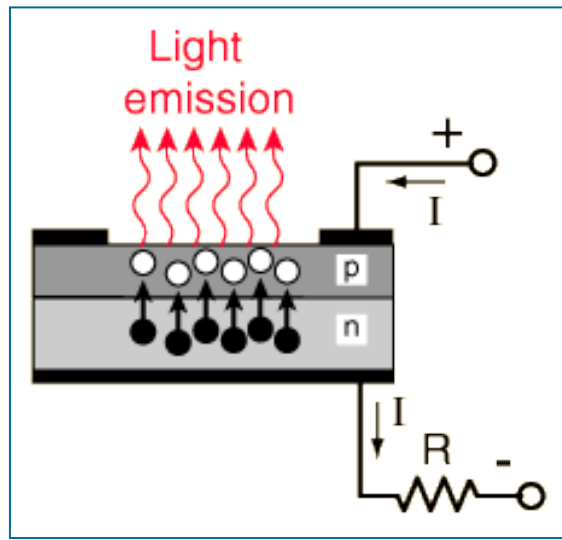
Signal de sortie

## *Diodes électroluminescentes*

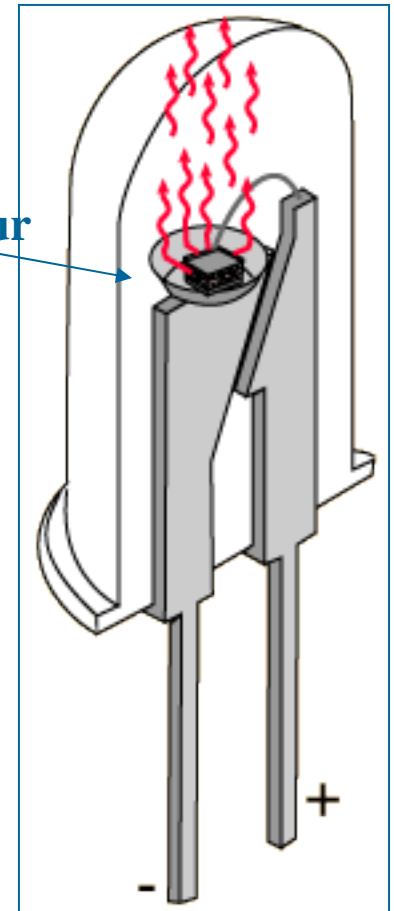


## *Light Emitting Diodes*

# Diodes électroluminescentes

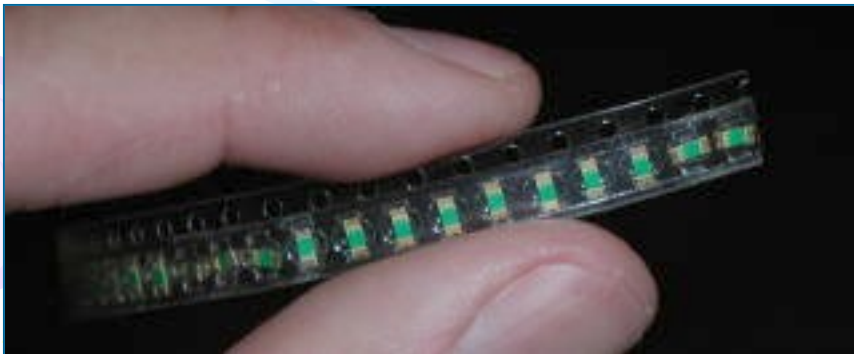
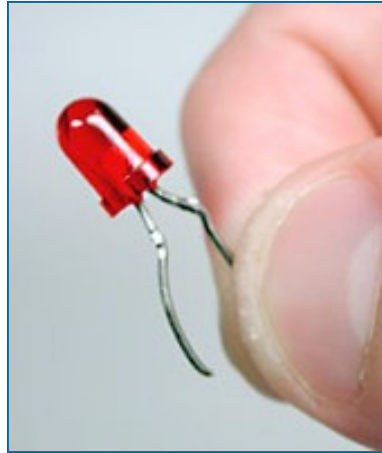


réflecteur



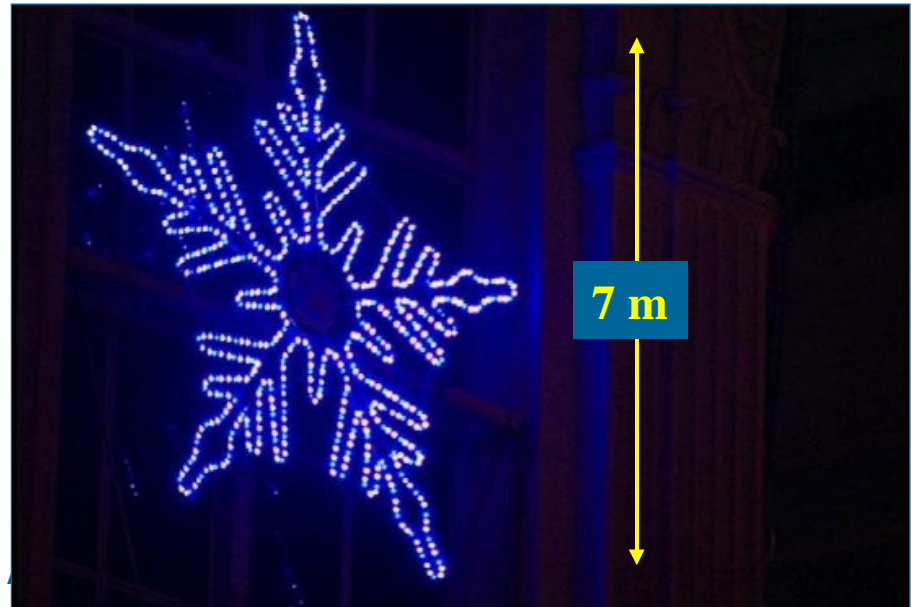
our Lounis

# Diodes électroluminescentes



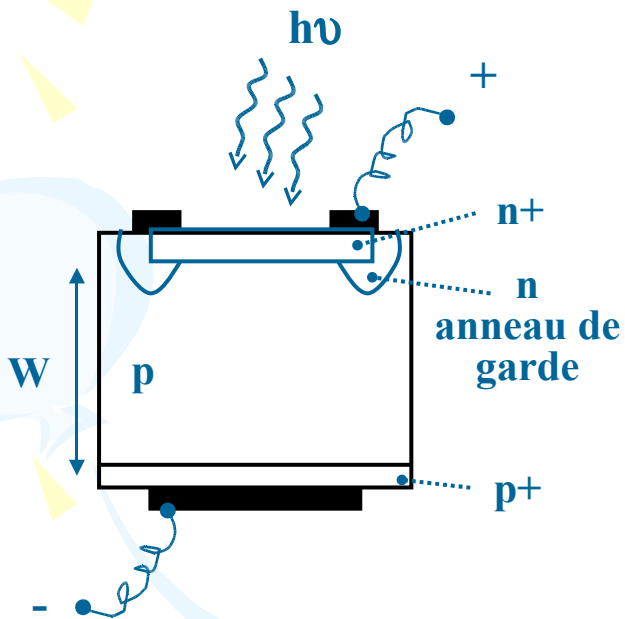


## Décorations ....





# Photodiodes à avalanches



## Principe de fonctionnement :

Le photocourant est amplifié par un effet avalanche dans la région où le champ  $E$  dépasse le champ critique d'ionisation

## Intérêt :

grande sensibilité  
amplification de courant  $\approx 100$ ;

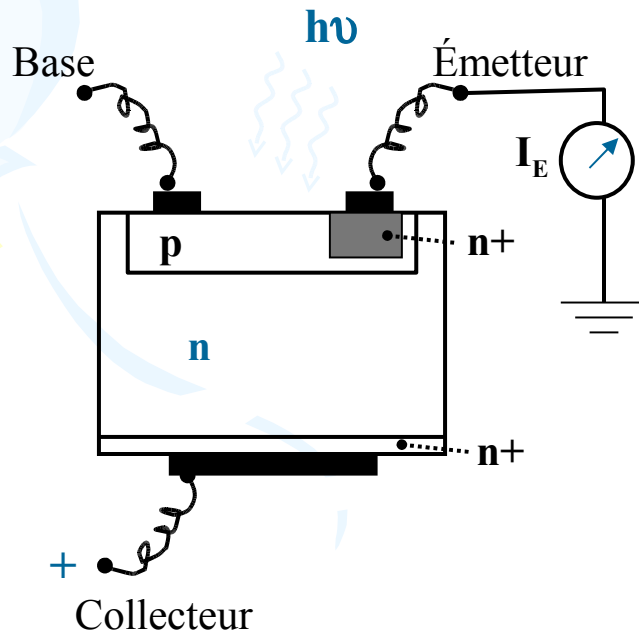
## Inconvénients :

Influence de la température et de la tension de polarisation ;  
bruit dû à la nature aléatoire du processus de multiplication des charges

# Les phototransistors

Le phototransistor est constitué d'un support de type n sur lequel est formé une base de type p et un émetteur de type n.

Quand les rayons lumineux atteignent la surface de base, un courant inverse dû à l'effet photoélectrique s'écoule dans la jonction base collecteur, ce courant est amplifié par le transistor.



## Intérêt :

grande sensibilité (jusqu'à 5A/W);  
amplification de courant  $\approx 100$ ;

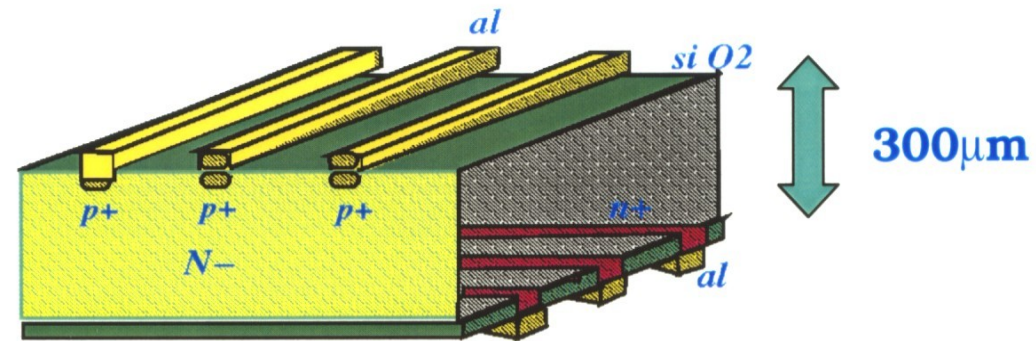
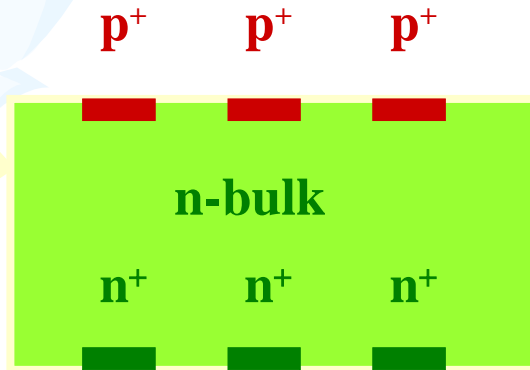
## Mise en garde :

faible temps de réponse (lente diffusion des porteurs dans la base).

# Micropistes au silicium à deux dimensions

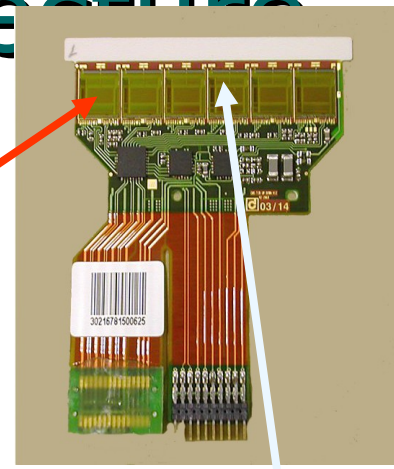
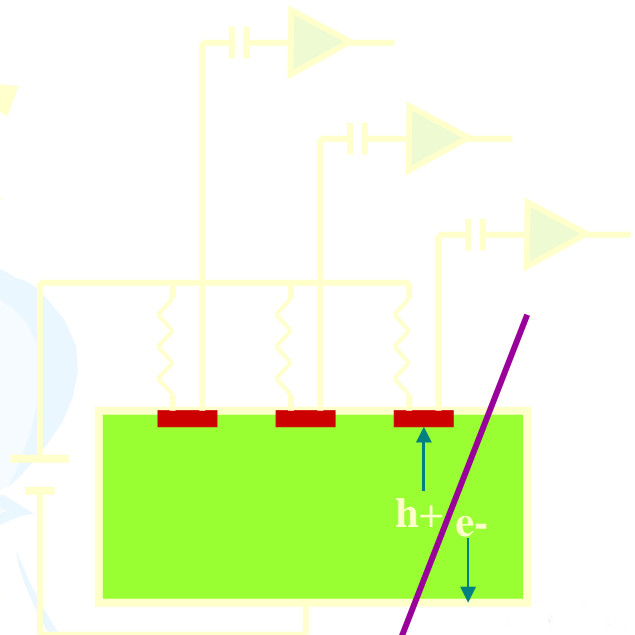
Collections d'électrons et de trous sur les deux faces côté  $p^+$  et côté  $n^+$

Double métallisation

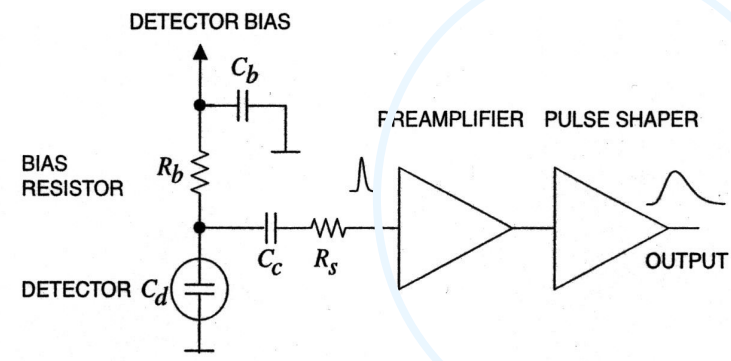


# Electronique de lecture

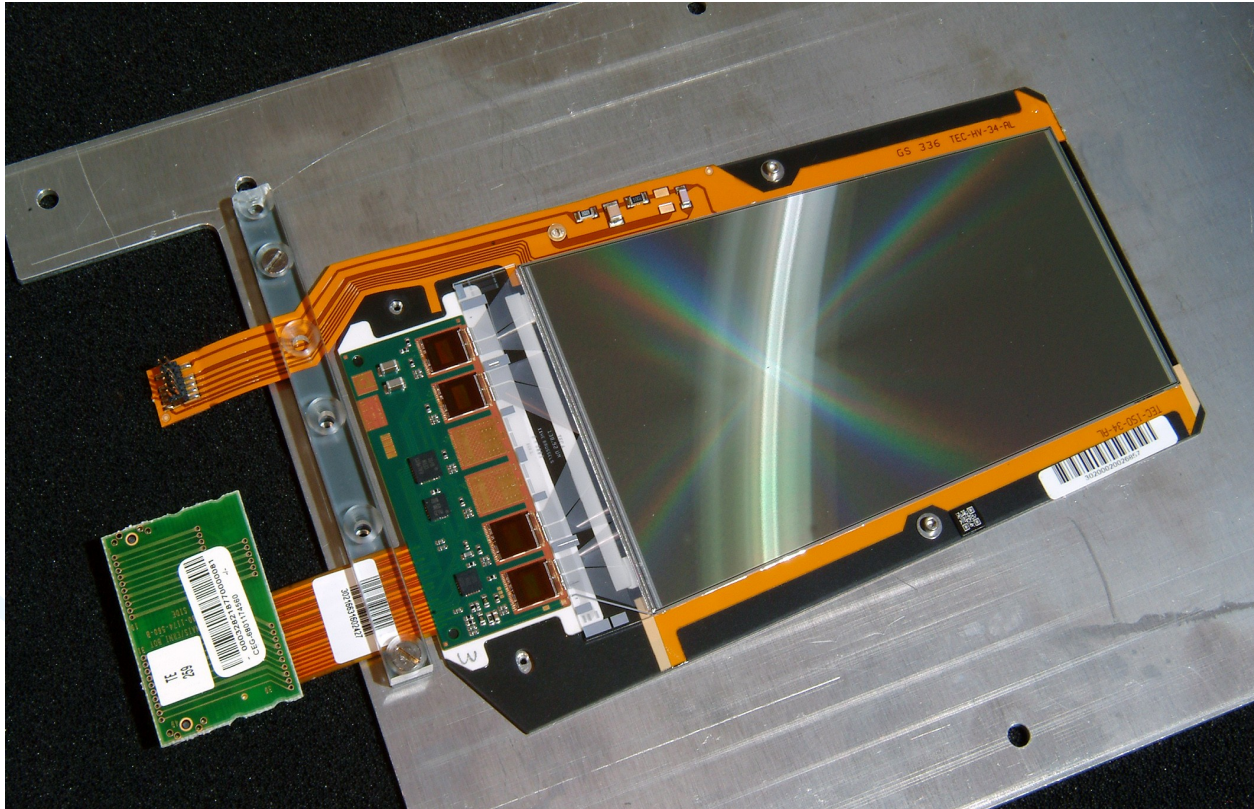
Chaînes de traitement du signal



hybride de lecture

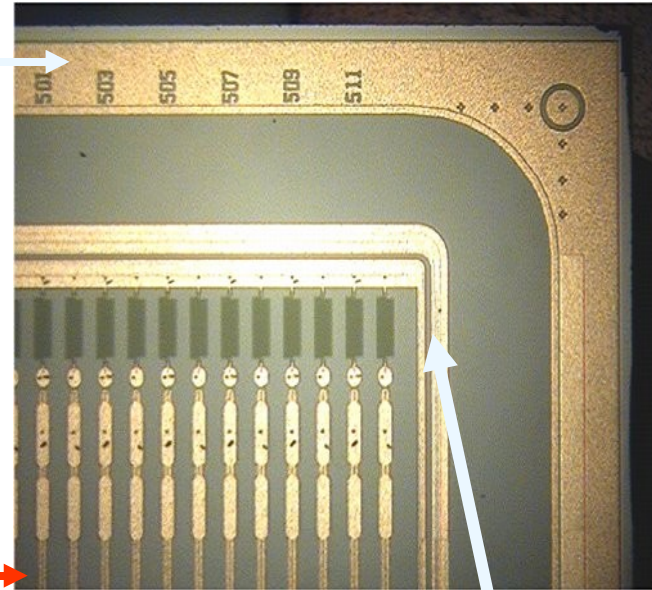


# illustration simple face



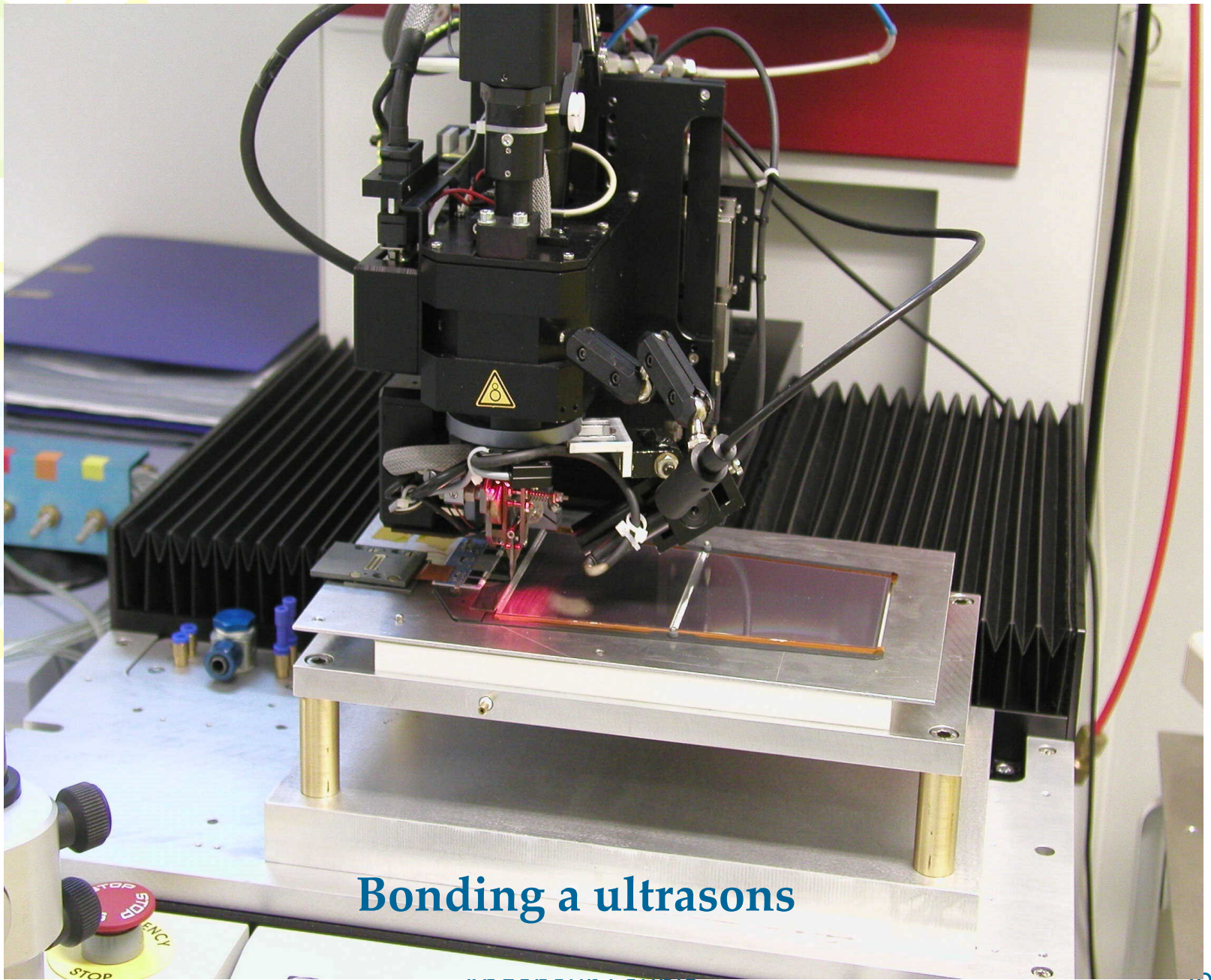
**Anneau de garde**

**Pistes p+**



**Structure d'un détecteur micropiste au silicium**

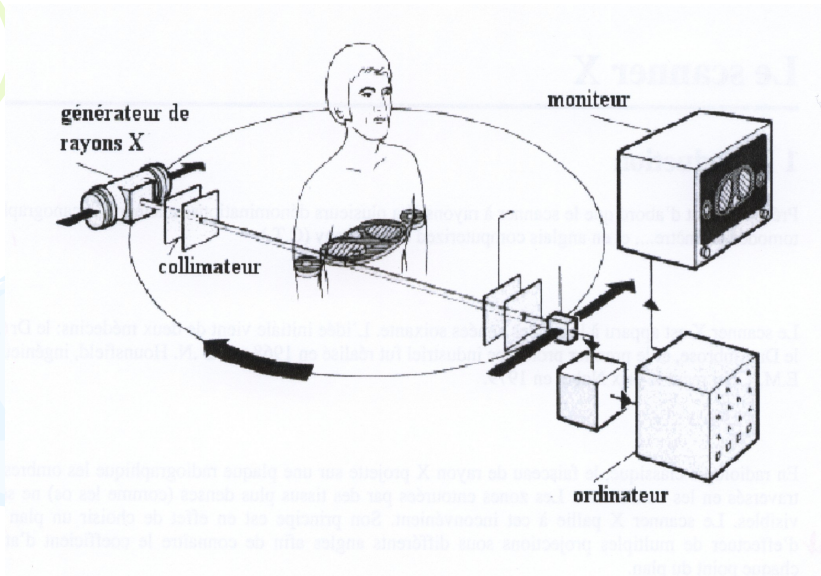




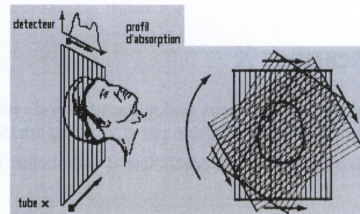
## Bonding a ultrasons

Abdenour Lounis

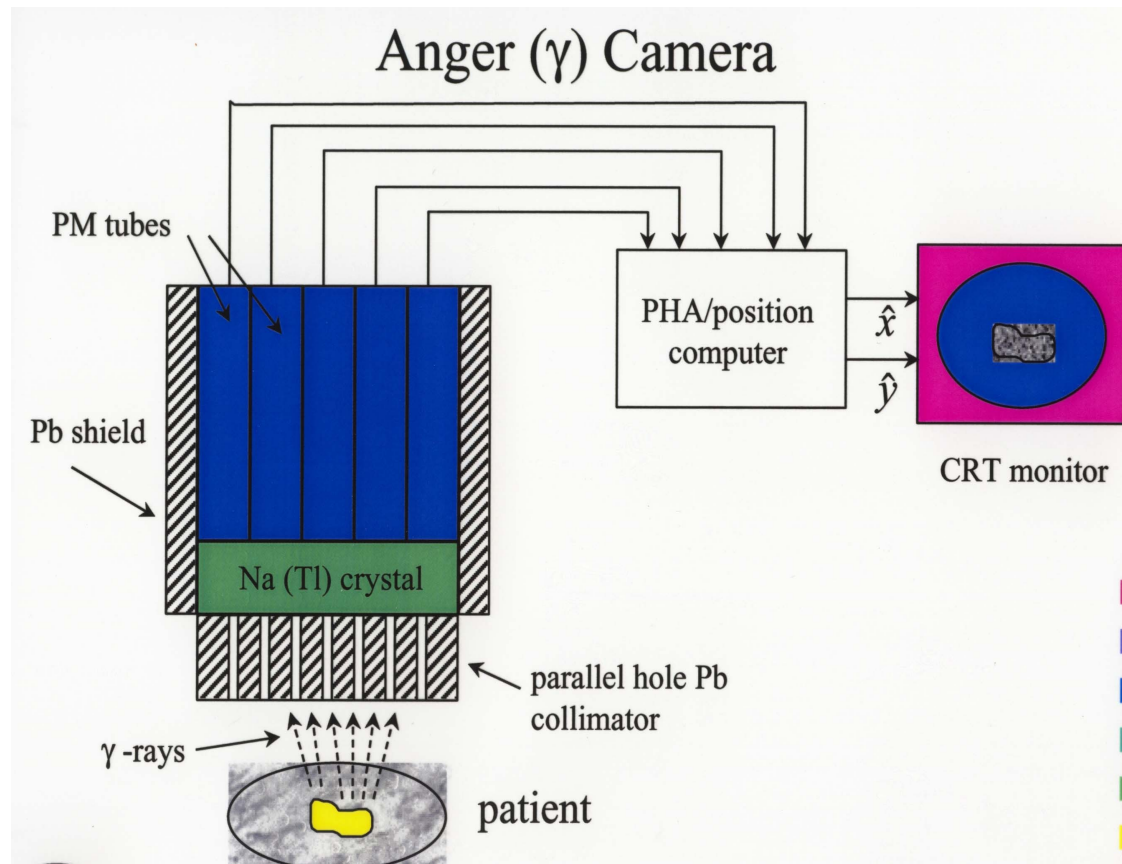
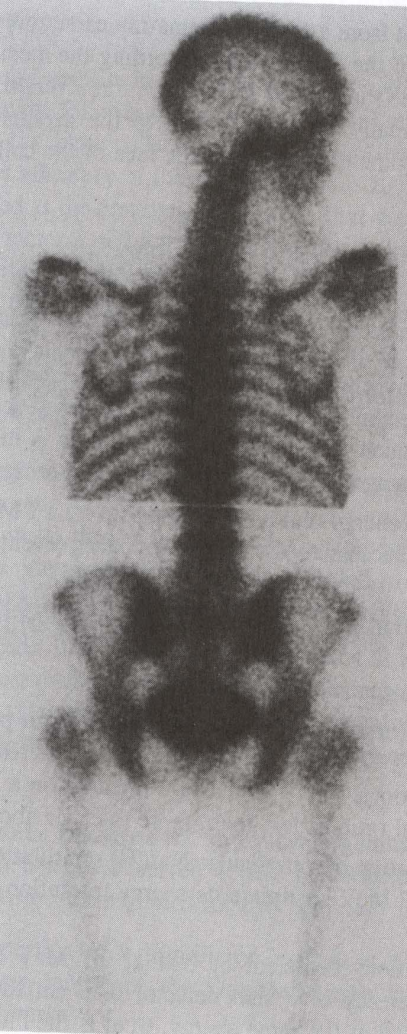
# SCANNER RAYONS X



La réalisation la plus simple d'un scanner X nécessite donc un émetteur de rayons X et un détecteur olidaire. Le corps étudié est bien sûr placé entre l'émetteur et le détecteur.







Exemple d'un scan produit par une gamma caméra de la distribution d'une substance de méthylène diphosphate marquée avec du  $^{99}\text{Tm}$

# Positron Emission Tomographie

