

# TP n°5

## Diodes et applications.

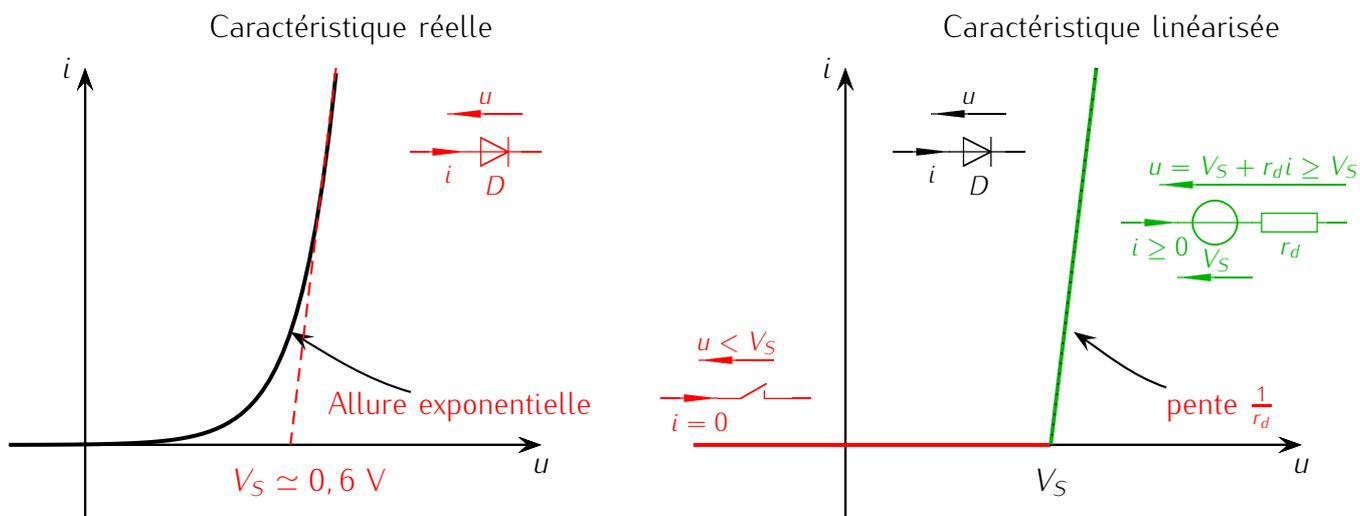
PCSI 2023 – 2024

### I Exemple de dipôle non linéaire : la diode à jonction

Une diode résulte de la mise en contact de deux semi conducteurs de natures différentes : l'un dopé  $P$  et l'autre dopé  $N$ .



En convention récepteur, on obtient une caractéristique statique qui a l'allure suivante :

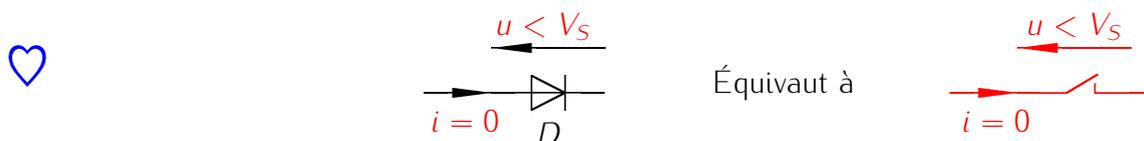


La diode réelle est un dipôle **passif, non linéaire et asymétrique**.

On peut tout de même distinguer deux domaines particuliers et linéariser la diode par morceaux.

**Remarque** : il faut faire attention aux limitations en courant et en tension sous peine de destruction de la diode, on place souvent une résistance "de sécurité" en série.

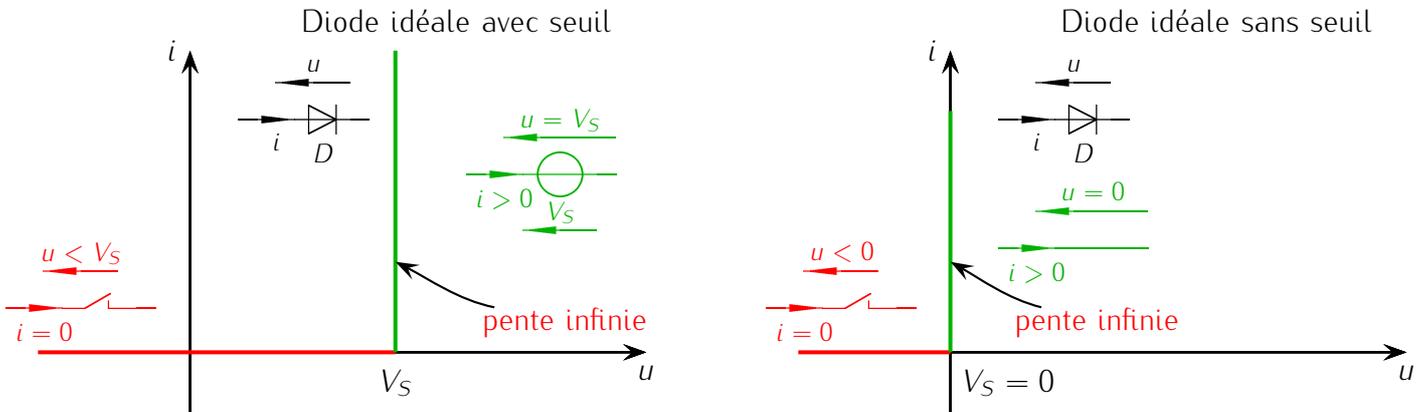
- Pour  $u < V_s \simeq 0,6 \text{ V}$ , la tension de seuil,  $i \simeq 0$ , la diode se comporte comme un interrupteur ouvert, elle est **bloquée**



- Pour  $u \geq V_s$ , le courant passe, la diode est **passante** et  $u = V_s + r_d i$  avec  $r_d$  la résistance dynamique (en sens passant) inférieur à  $1 \Omega$  d'où la représentation équivalente suivante :



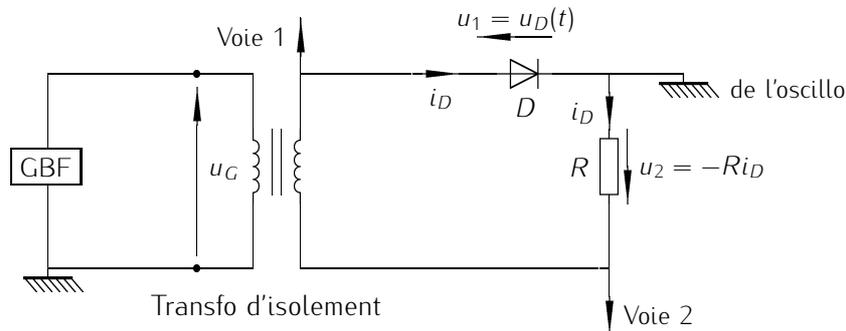
On peut encore simplifier le modèle pour aboutir à la diode idéale pour laquelle  $r_d = 0$ , d'où les caractéristiques suivantes :



## II Visualisation de la caractéristique sur un oscilloscope

**Principe :** à l'aide du montage ci-contre, il est possible de tracer la caractéristique  $i$  en fonction de  $u$  d'un composant (la diode) sur l'écran d'un oscilloscope placé en mode X-Y.

On applique  $u_1 = u_D$  sur la voie 1 et  $-u_2 = R \cdot i_D$  sur la voie 2.



- Pourquoi doit-on placer un transformateur d'isolement ?
- Expliquez pourquoi on doit utiliser la fonction *invert* sur la voie 2 pour obtenir la caractéristique dans le bon sens.

### Application à la diode à jonction :

- Réalisez le montage ci-dessus avec  $R = 100 \Omega$  (boîte AOIP).
- Réglez le GBF pour qu'il délivre un signal sinusoïdal d'amplitude 5 V de fréquence 100 Hz.
- Placez l'origine de la caractéristique au centre de l'écran, effectuer les réglages nécessaires (sensibilités des voies) avant d'imprimer.

Précisez la convention d'orientation de la diode sur la caractéristique.

- Mesurez une valeur approchée de la tension seuil  $U_S$ .
- La résistance dynamique  $r_d$  en sens direct  $r_d = \frac{du_D}{di_D}$  correspond à la pente de la courbe  $u_D(i_D)$  c'est à dire à l'inverse de la pente de la caractéristique.

Quelle est sa valeur pour  $u_1 = u_D < 0$  puis pour  $i_D = 20 \text{ mA}$ , c'est à dire lorsque  $-u_2 = R i_D = 2 \text{ V}$  ?

### III Redressement à l'aide de diodes à jonction

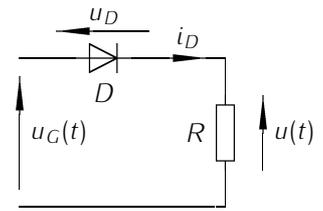
**Redressement mono – alternance :** on utilise une seule diode.

- Réalisez le montage ci-contre en prenant  $R = 1 \text{ k}\Omega$ .
- $u_G(t)$  délivrée par le GBF sera sinusoïdale, d'amplitude 5 V et de fréquence 100 Hz.
- Visualisez à l'oscilloscope les tensions  $u_G(t)$  en voie 1 et  $u(t)$  en voie 2, mêmes calibres et même position de la masse, au centre de l'écran. Imprimer.
- Visualisez  $u = f(u_G)$  à l'écran et tracez son allure sur votre rapport. En déduire la relation liant  $u_G(t)$  et  $u(t)$ . Cette relation est-elle linéaire?
- Que se passe-t-il lorsque l'on passe du mode DC au mode AC pour l'observation de  $u(t)$ ? Expliquez. Déterminez la valeur moyenne de  $u(t)$  en utilisant une des fonctions du menu *Mesures* de l'oscilloscope.
- Calculez le rapport de la valeur moyenne de  $u(t)$  à l'amplitude  $U_{Gm}$  de  $u_G(t)$  :

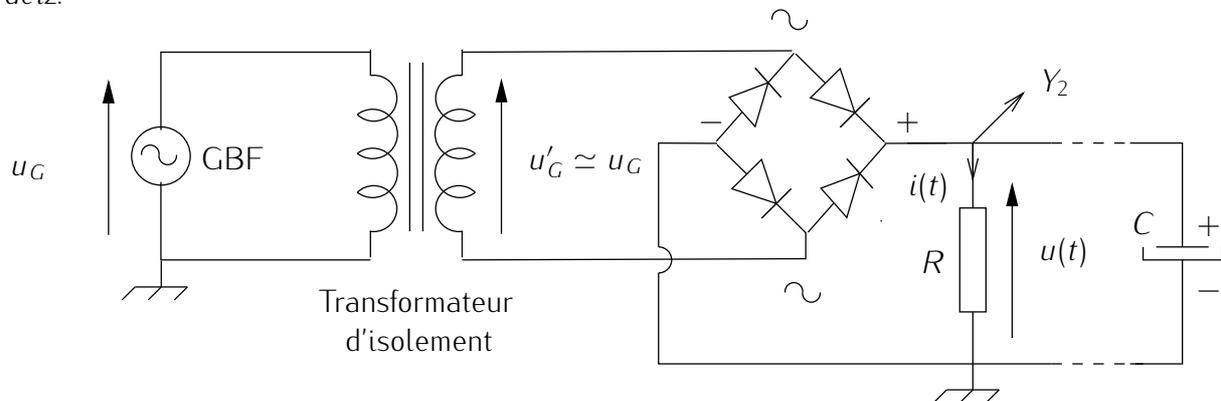
$$\alpha = \frac{\langle u(t) \rangle}{U_{Gm}}$$

Plus il se rapproche de 1, plus le redressement est de qualité.

- Diminuez l'amplitude de  $u_G(t)$  et observez l'influence de la tension seuil de la diode sur  $u(t)$ . Commentez.



**Redressement double alternance :** on utilise un montage en pont constitué de 4 diodes, appelé *pont de Graëtz*.



Ne **pas** réaliser ce montage pour le moment.

- Expliquez l'intérêt du transformateur d'isolement.  
S'il n'est pas parfait, on risque d'avoir  $u'_G(t) \neq u_G(t)$ , on réglera donc  $U'_{Gm}$ , l'amplitude de  $u'_G(t)$  à 5 V **avant de placer le pont de Graëtz**.  
Peut-on visualiser en même temps  $u'_G(t)$  et  $u(t)$  à l'oscilloscope?  $u_G(t)$  et  $u(t)$ ?  
Où doit-on alors placer les bornes de l'oscilloscope? M'appeler avant de réaliser le branchement, sous peine de **Destruction du pont de Graëtz**.
- Réalisez maintenant le montage en prenant  $R = 1 \text{ k}\Omega$ , un signal  $u_G(t)$  sinusoïdal de fréquence 100 Hz et tel que l'amplitude de  $u'_G(t)$  soit 5 V : régler  $U'_{Gm} = 5 \text{ V}$  **avant de placer le pont de Graëtz**.  
Ne **pas** brancher le condensateur  $C$  pour le moment.

- Visualisez la tension  $u(t)$  aux bornes de  $R$  et  $u_G(t)$  avec les mêmes calibres et la même position de la masse, au centre de l'écran. Justifiez le nom du montage.
- Quelle est la valeur du décalage entre  $u$  et  $|u_G|$ ? Justifiez.
- Déterminez la valeur moyenne de  $u(t)$  puis le rapport  $\alpha''$  de la valeur moyenne de  $u(t)$  à l'amplitude  $U'_{Gm}$  de  $u'_G(t)$ ; comparez avec le redressement mono – alternance ( $\alpha$ ) puis avec le redressement mono – alternance sans seuil ( $\alpha'$ ).

## IV Filtrage par condensateur

**Principe :** on reprend le montage précédent que l'on complète de façon à obtenir un signal le plus proche du continu en sortie.

Pour que le courant débité par le pont redresseur dans la charge  $R$  ne s'annule jamais, on place à ses bornes un condensateur  $C$  qui va se charger lorsque la tension à ses bornes est importante et se décharger lorsque cette tension est trop faible.

Si le condensateur a une capacité suffisante, la tension aux bornes de  $R$  varie peu. Ce condensateur est appelé condensateur de filtrage.

Les condensateurs de filtrage devant avoir une forte capacité, on utilise des condensateurs électrochimiques qui sont polarisés. Respectez obligatoirement leur polarité.

**Taux d'ondulation du signal de sortie** La tension de sortie présente une ondulation  $\Delta u = u_{\max} - u_{\min}$  autour de la valeur moyenne  $\langle u \rangle$ .

On se propose de vérifier que cette ondulation dépend du produit  $\tau = RC$ , constante de temps du circuit.

- Complétez le montage précédent en ajoutant un condensateur (attention à la polarité) aux bornes de  $R$ . On prendra  $C = 1\mu\text{F}$  puis  $C = 470\mu\text{F}$ .
- Gardez le signal  $u_G(t)$  précédent (sinusoïdal, amplitude telle que  $U'_{Gm} = 5\text{V}$ , fréquence  $f = 100\text{Hz}$ ).
- Représentez sur le même schéma l'allure de  $u(t)$  pour diverses valeurs de  $C$  (et  $R = 1\text{k}\Omega$ ).
- Expliquez clairement comment mesurer facilement  $\langle u \rangle$  en utilisant l'oscilloscope en mode DC puis  $\Delta u$  (surtout pour les faibles valeurs) en mode AC.
- Déterminez  $\langle u \rangle$ ,  $\Delta u$  puis le taux d'ondulation  $\delta = \frac{\Delta u}{\langle u \rangle}$  pour les diverses valeurs de  $C$ .

## V Polarisation de la lumière

### 1. Structure de l'onde électromagnétique

Les observations et expériences d'optique géométrique ou ondulatoire (interférences ou diffraction) ont été interprétées à l'aide d'une théorie scalaire de la lumière, en ne considérant que l'amplitude de l'onde. En effet, les capteurs photosensible comme notre œil ne sont sensibles qu'au module au carré du champ électrique ( $|\vec{E}|^2$ ). Ce modèle ne permet cependant pas de comprendre certains résultats. Il faut alors mettre en place une théorie vectorielle.

La lumière, comme toute onde électromagnétique, résulte de la propagation simultanée d'un champ électrique  $\vec{E}$  et d'un champ magnétique  $\vec{B}$ . C'est une onde transversale car les deux champs sont orthogonaux à la direction de propagation (celle du rayon lumineux). Ils sont, de plus, orthogonaux entre eux. Les récepteurs, étant sensibles à  $|\vec{E}|^2$ , on ne fera plus allusion à l'existence du champ magnétique par la suite. La polarisation d'une onde lumineuse indique les directions que prend le vecteur champ électrique  $\vec{E}$  au cours son évolution temporelle le long du rayon lumineux. La lumière naturelle est non polarisée, la direction du champ  $\vec{E}$  variant aléatoirement dans le plan d'onde. On sait produire différents types

de lumière polarisée, suivant la courbe décrite par l'extrémité du vecteur champ (rectiligne, circulaire, elliptique, ...). On ne s'intéresse ici qu'à la polarisation rectiligne dans laquelle le champ  $\vec{E}$  garde une direction constante au cours du temps.

## 2. Polariseur

Une lumière non polarisée peut être considérée comme la superposition de 2 ondes indépendantes, de même intensité et polarisées linéairement dans 2 directions perpendiculaires. Le polariseur ne transmet que l'onde parallèle à une direction caractéristique du polariseur, appelé axe de transmission.

Si un faisceau de lumière naturelle d'intensité  $\phi_0$  tombe sur un polariseur linéaire, un faisceau de lumière polarisée linéairement d'intensité :  $\phi_1 = \phi_0/2$  est transmis.

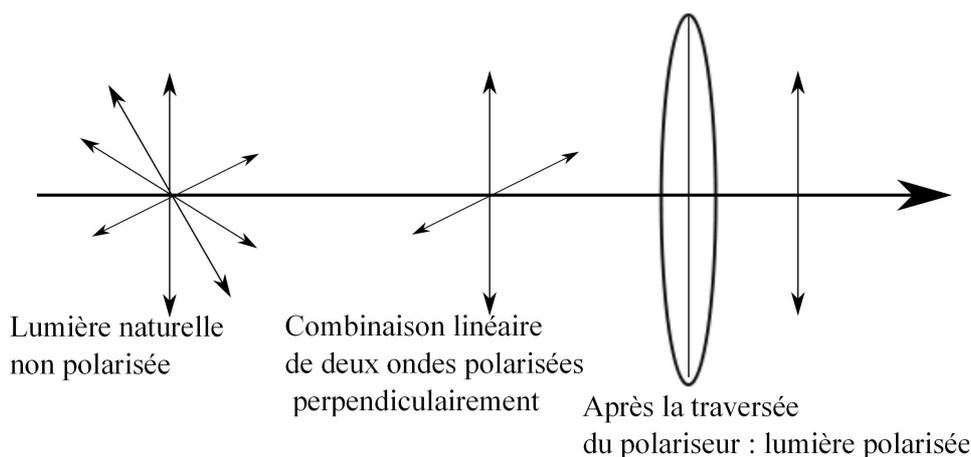
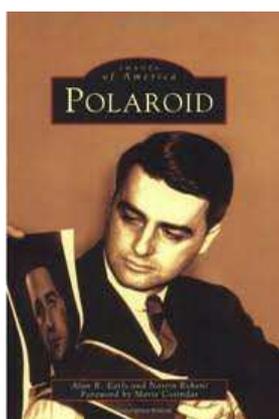


FIGURE 1 – Principe de fonctionnement d'un polariseur.

### Polaroïds



Inventés par Edwin H. Land, à l'Université de Harvard, en 1928. Une feuille transparente de nitrocellulose est échauffée et étirée, alignant ses molécules d'hydrocarbure en rangées presque parallèles, formant de longues chaînes.

La feuille est ensuite trempée dans une solution riche en teinture d'iode. Les atomes d'iode s'attachent à chaque molécule polymère, formant ainsi une longue chaîne conductrice. Si le champ électrique est parallèle à ces chaînes, les électrons de conduction associés à l'iode peuvent alors se déplacer sur chaque chaîne, comme si la molécule était un long fil microscopique. Le résultat est une grille de fils. Or, vous verrez en seconde année qu'une onde électromagnétique arrivant en incidence normale sur un conducteur parfait est totalement réfléchi par celui-ci (pensez aux miroirs ou aux paraboles satellites).

Il en est de même pour une onde polarisée rectilignement arrivant sur un grille conductrice dont les fils sont parallèles à la direction de polarisation du champ. En effet, le parallélisme des fils et du champ  $\vec{E}$  incident permet la création de courants dans ces fils, courants qui engendrent l'onde réfléchi. L'écartement des fils est en outre trop faible pour permettre la propagation d'ondes guidées entre les fils, avec un champ  $\vec{E}$  parallèle aux fils. En revanche, si le champ incident est polarisé orthogonalement à la direction des fils, aucun courant n'est engendré, et la propagation «entre» les fils est possible avec un champ orthogonal : l'onde incidente est entièrement transmise. Par conséquent, pour une onde incidente non polarisée, le champ  $\vec{E}$  incident peut toujours être décomposé en une composante parallèle aux fils et une composante orthogonale : la composante parallèle est réfléchi, la composante normale est transmise. Après la grille,

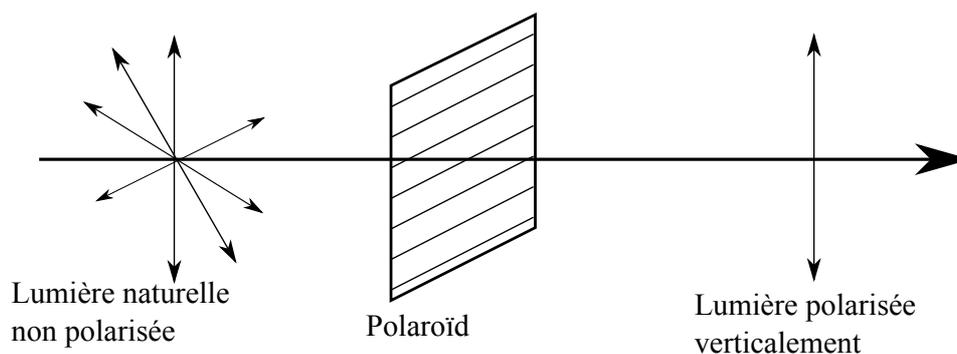


FIGURE 2 – Traversée d'une lumière naturelle à travers un polaroïd

on obtient donc une onde polarisée rectilignement, de direction de polarisation orthogonale aux fils de la grille : cette grille constitue un polariseur rectiligne. En lumière naturelle, chaque feuille paraît grise, car elle absorbe environ la moitié de la lumière.

### 3. Loi de Malus



Étienne Louis Malus (de son nom de famille complet Malus de Mitry), né à Paris le 23 juillet 1775 et mort à Paris le 23 février 1812, est un ingénieur, physicien et mathématicien français. Une grille du même type que le polariseur pourra servir de détection d'une lumière polarisée. En effet, si on place une deuxième grille du même type que le polariseur derrière celui-ci, celle-ci «laisse passer» l'onde polarisée si ses fils sont orthogonaux à la direction de polarisation ( donc en fait parallèles à ceux du polariseur ) et la réfléchit totalement si ses fils sont parallèles à la direction de polarisation ( donc en fait orthogonaux à ceux du polariseur ). Cette deuxième grille est alors appelée analyseur. Quand on peut observer avec un analyseur «l'extinction» complète d'une onde, c'est que celle-ci était polarisée

rectilignement. Imaginons enfin que les deux directions des fils du polariseur et de l'analyseur fassent entre elles un angle  $\theta$ . Le polariseur a "fabriqué" une onde rectiligne de direction  $y$ , de module  $E_0$ . Le champ de cette onde doit à nouveau être décomposé selon les deux axes  $X$  et  $Y$  de l'analyseur. Seule la composante  $E_Y$  est transmise. L'onde finale est donc polarisée selon  $Y$  et est de module  $E_0 \cos \theta$ . Finalement, l'énergie lumineuse est proportionnelle à  $E_0^2 \cos^2 \theta$ .

### 4. La photodiode

On se propose dans cette partie du TP d'étudier un capteur photosensible : la photodiode. La photodiode est une diode dont la caractéristique varie en fonction de l'énergie lumineuse qu'elle reçoit.

Proposer un protocole qui permet de mettre en évidence et de quantifier cette propriété.

- Faites valider votre protocole par votre professeur.
- Réaliser le montage.
- Commenter ce que vous observez.