

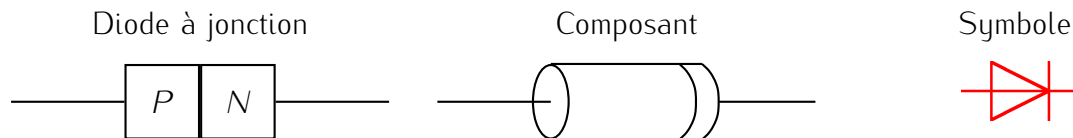
TP n°5

Diodes et frottements.

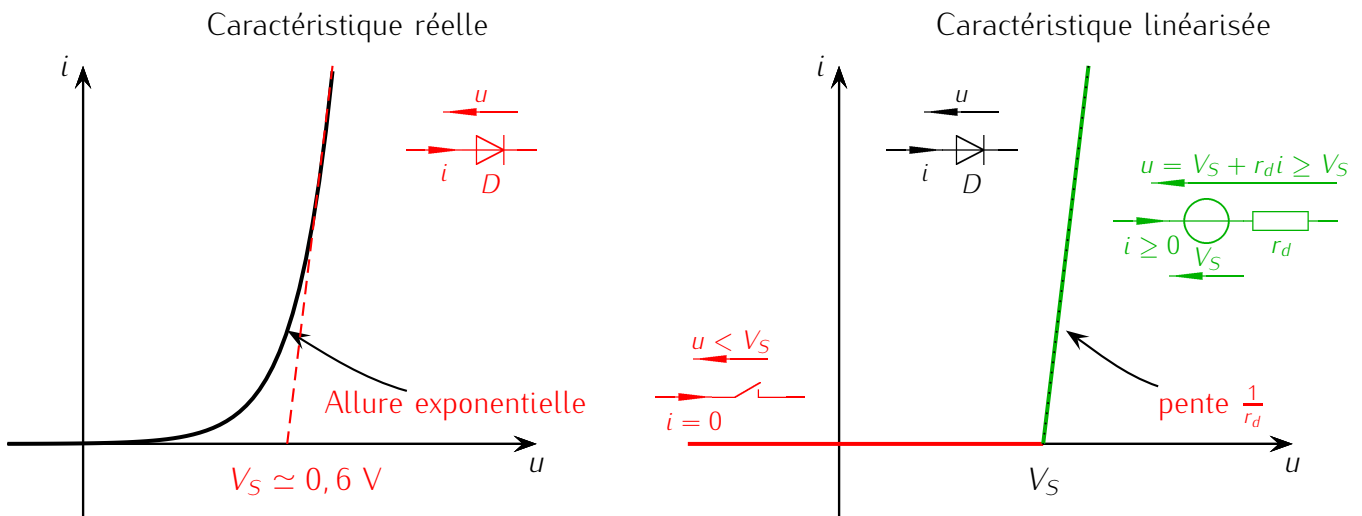
PCSI₂ 2025 – 2026

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 :

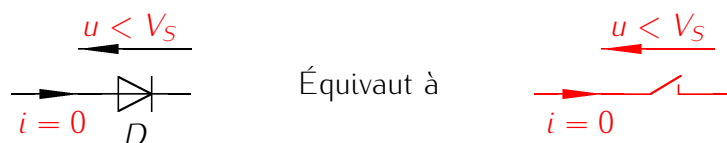


La diode réelle est un dipôle **passif, non linéaire et asymétrique**.

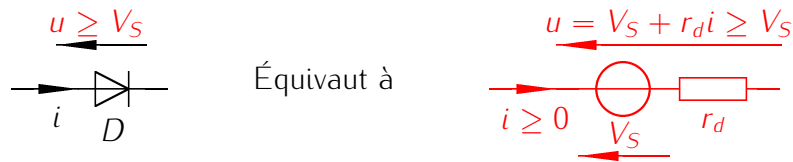
On peut tout de même distinguer deux domaines particuliers et linéariser la diode par morceaux.

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.

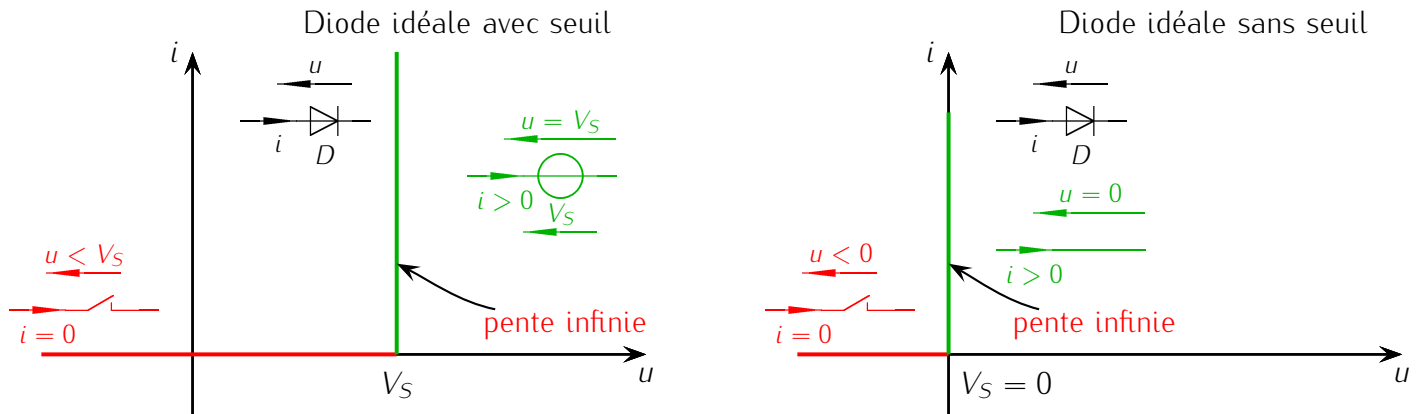
- Pour $u < V_s \simeq 0,6 \text{ V}$, la tension de seuil, $i \simeq 0$, la diode se comporte comme un interrupteur ouvert, elle est **bloquée**



- 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 1Ω d'où la représentation équivalente suivante :



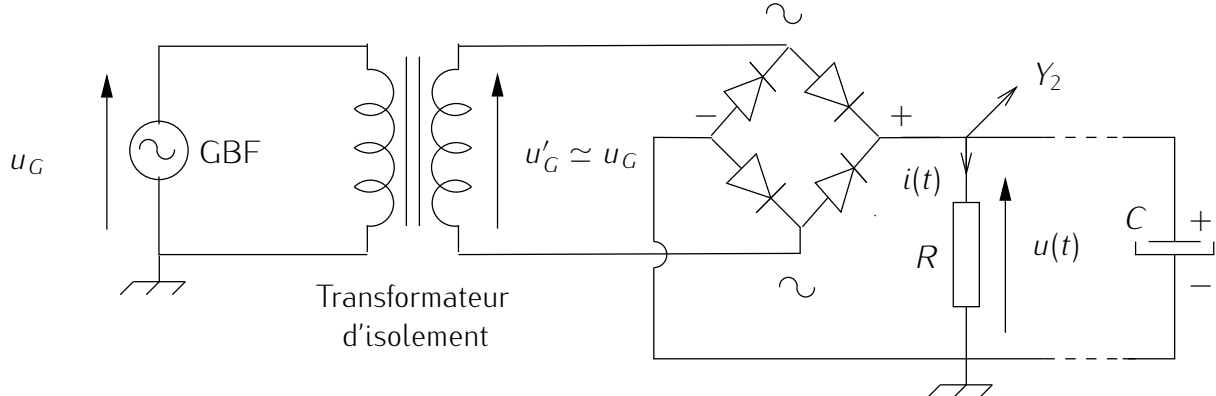
On peut encore simplifier le modèle pour aboutir à la diode idéale pour laquelle $r_d = 0$, d'où les caractéristiques suivantes :



II Redressement à l'aide de diodes à jonction

1. 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.

- Déterminez la valeur moyenne de $u(t)$ puis le rapport α de la valeur moyenne de $u(t)$ à l'amplitude U'_{Gm} de $u'_G(t)$.

2. 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.

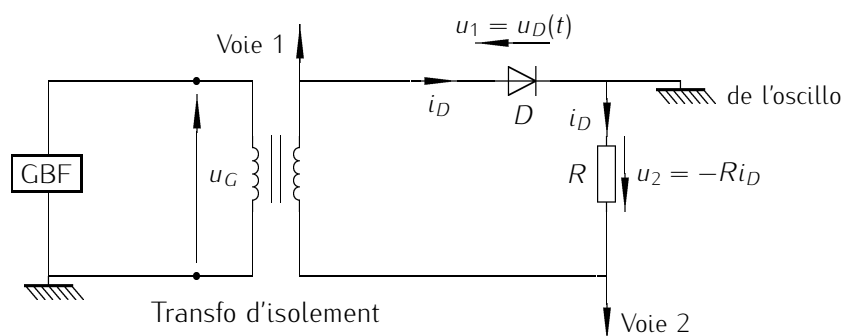
- Complétez le montage précédent en ajoutant un condensateur (attention à la polarité) aux bornes de R . On prendra $C = 1\mu\text{F}$ puis $C = 470\mu\text{F}$.
- Gardez le signal $u_G(t)$ précédent (sinusoïdal, amplitude telle que $U'_{Gm} = 5\text{ V}$, fréquence $f = 100\text{ Hz}$).
- Représentez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

III Étude de la photodiode

1. Visualisation de la caractéristique à l'écran

Principe : à l'aide du montage ci-contre, il est possible de tracer la caractéristique i en fonction de u d'un composant (la photodiode) 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 photodiode :

- Réalisez le montage ci-dessus avec $R = 10 \text{ k}\Omega$ (boîte à décades).
- Réglez le GBF pour qu'il délivre un signal sinusoïdal d'amplitude 5 V de fréquence 20 Hz.
- Placez l'origine de la caractéristique au centre de l'écran, effectuer les réglages nécessaires (sensibilités des voies).
- Reporter l'allure de la caractéristique dans votre cahier de TP. Précisez la convention d'orientation de la diode sur la caractéristique.
- Éclairer la photodiode avec un laser. Comment la caractéristique est-elle modifiée ?

La photodiode est une diode dont la caractéristique varie en fonction de l'énergie lumineuse qu'elle reçoit. Le courant inverse (i pour $u < 0$) dépend de l'éclairement. On souhaite caractériser cette propriété.

IV 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 photosensibles 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 ϕ_0 tombe sur un polariseur linéaire, un faisceau de lumière polarisée linéairement d'intensité : $\phi_1 = \phi_0/2$ est transmis.

Polaroïds

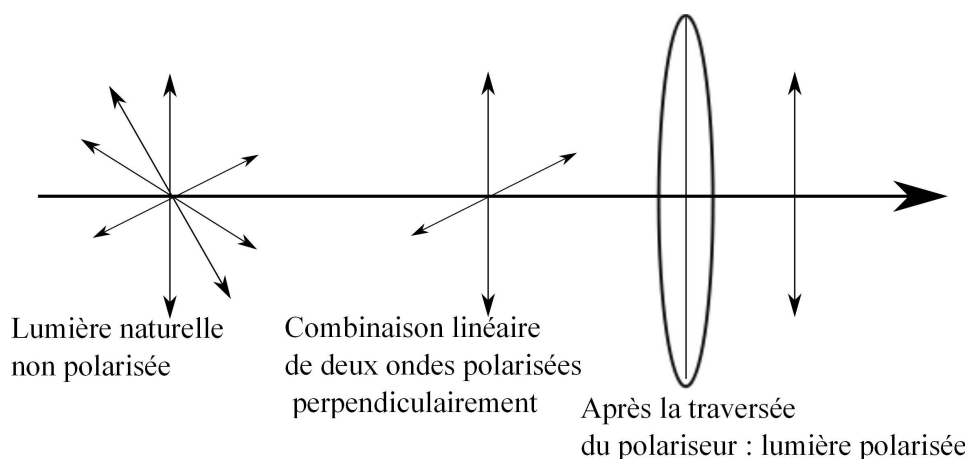
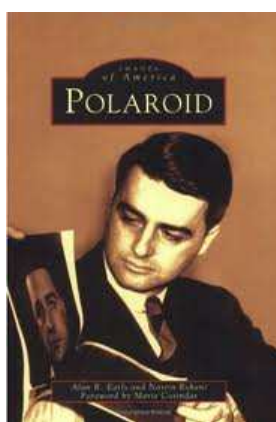


FIGURE 1 – Principe de fonctionnement d'un polariseur.



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).

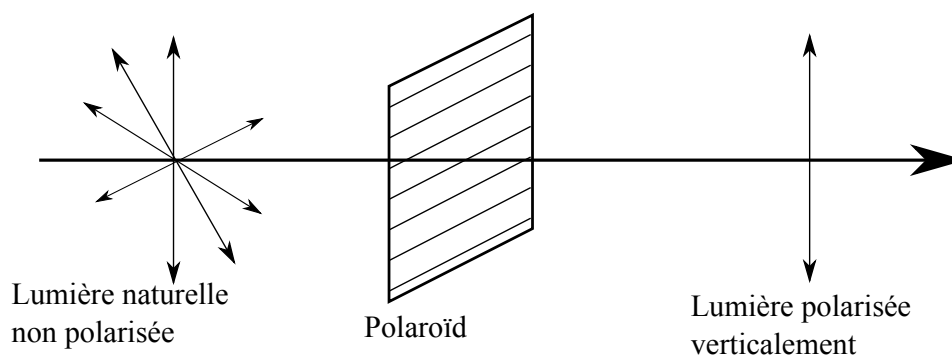


FIGURE 2 – Traversée d'une lumière naturelle à travers un polaroid

Il en est de même pour une onde polarisée rectilignement arrivant sur une 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, 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 θ . 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. Application à la photodiode

1. Intercaler deux polaroids entre le laser et la photodiode.
2. Faire varier l'angle θ entre le polariseur et l'analyseur.
3. Tracer le courant inverse en fonction de $\cos^2(\theta)$ et conclure.

V Bombes à eau

Vous avez lancé des bombes à eau depuis la salle G301, il est maintenant temps d'étudier leur chute. Toutes ces bombes à eau avaient le même volume mais des masses différentes.

On a mesuré les masses suivantes pour les différents ballons :

Ballon	1	2	3
Masse (g)	34	198	484

On assimile un ballon à un objet ponctuel de masse m , lâché depuis une hauteur h avec une vitesse initiale nulle dans le champ de pesanteur uniforme $\vec{g} = -g\vec{e}_z$. Marie a filmé la chute et sa vidéo est à télécharger depuis Hugoprépa.

1. Ouvrir LatisPro et importer la vidéo de la chute.
2. Pointer la position de chaque ballon.
3. Tracer la courbe représentant la vitesse de chaque ballon au cours du temps.
4. Justifier que les frottements de l'air ne peuvent pas être négligés dans cette expérience.
5. Pourquoi, selon vous, les données semblent évoluer par « paliers » ?
6. Estimer, pour chaque ballon, sa vitesse limite avec son incertitude $u(v_{lim})$.

On veut, tout d'abord, savoir si la force de frottement $\vec{f}$ obéit à une relation du type $\vec{f} = -\alpha\vec{v}$ ou du type $\vec{f} = -\beta v\vec{v}$.

7. Faire un schéma en plaçant les axes du repère cartésien d'étude.
8. Frottement en $-\alpha\vec{v}$

- (a) Établir le système d'équation différentielle régissant le mouvement d'un ballon.
 - (b) Montrer que le mouvement est rectiligne.
 - (c) Exprimer la vitesse limite v_{lim} , vitesse atteinte au bout d'un temps très long, d'un ballon en fonction des données du problème ? (*On n'attend pas de résolution d'équation différentielle*).
9. Mêmes questions pour une loi de frottement en $-\beta v\vec{v}$.
10. Les ballons ont respectivement une masse $m_1 = 22$ g et $m_2 = 2m_1 = 44$ g. Que valent les rapports $\frac{v_{lim}(m_2)}{v_{lim}(m_1)}$ pour chacune des lois de vitesse.
11. Conclure quant à la loi de vitesse valide compte tenu des mesures. Quelle grandeur devrait-on calculer pour en être certain en tenant compte des incertitudes ?
12. Dédire des mesures une valeur du coefficient de frottement α ou β .