

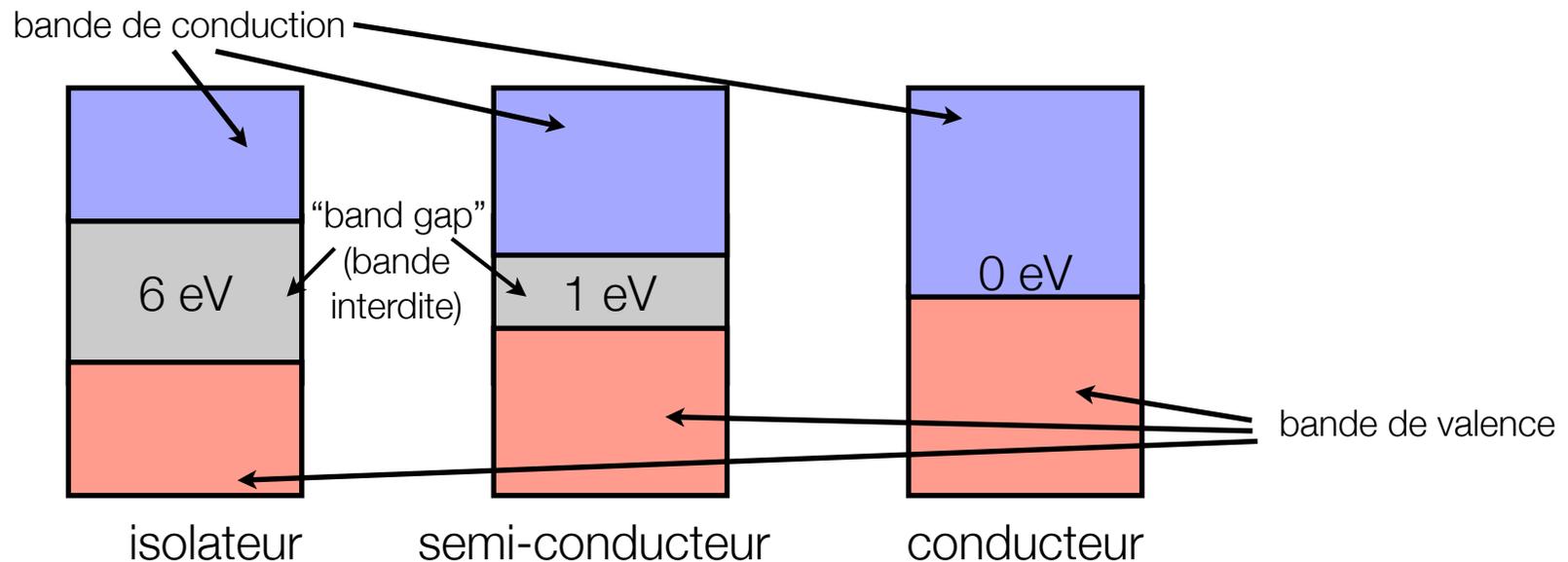
TP3 électronique:

2. Les diodes

Silvio Orsi (Silvio.Orsi@unige.ch)

Antonello Miucci (antonio.Miucci@cern.ch)

Les Semi-conducteurs



- Des matériaux avec caractéristiques électriques entre les conducteurs et les isolants
- Quand un électron passe de la bande de valence à la bande de conduction il laisse un "trou", c'est-à-dire une charge positive, dans la bande de valence. Ces 2 types de porteurs de charge bougent et créent un courant électrique.
- Les semi-conducteurs peuvent être intrinsèques ou extrinsèques

Semi-conducteurs intrinsèques

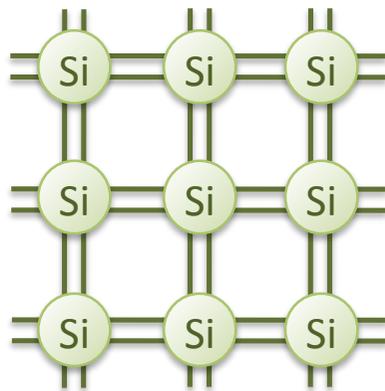
- Un semi-conducteur intrinsèque est un matériel pur, sans l'adjonction d'impuretés
- La conductivité électrique d'un semi-conducteur intrinsèque:
 - est intégralement déterminée par la structure du matériau
 - dépend seulement de la température: augmente par génération thermique
 - est nulle au zéro absolu, et augmente avec la température
- Le nombre de porteurs de charge électrique négatives (électrons dans la bande de conduction) et positives (“trous” dans la bande de valence) est égal
- Un semi-conducteur réel n'est jamais parfaitement intrinsèque, mais certains matériaux peuvent se rapprocher de ce comportement idéal, comme le silicium mono-cristallin pur. Semi-conducteurs typiques sont: Silicium, Germanium, Arséniure de gallium...

Semi-conducteurs extrinsèques et dopage

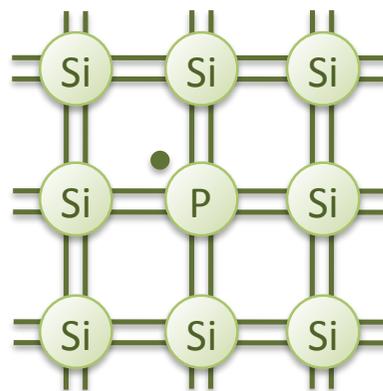
- Un semi-conducteur extrinsèque est un semi-conducteur auquel des impuretés sont ajoutées avec le procès de dopage
- La formation des bandes interdites étant due à la régularité de la structure cristalline, toute perturbation de celle-ci tend à créer des états accessibles à l'intérieur de ces bandes interdites, rendant le gap plus « perméable ». Le dopage consiste à implanter des atomes correctement sélectionnés (nommés « impuretés ») à l'intérieur d'un semi-conducteur intrinsèque afin d'en contrôler les propriétés électriques.
- Le dopage augmente la densité des porteurs de charge (électron ou trous) à l'intérieur du matériau semi-conducteur

Dopage de semi-conducteurs

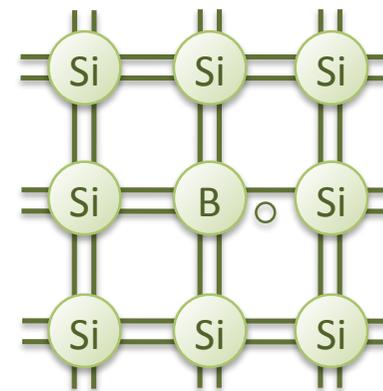
- **Type N** : Dopage avec phosphore (5 électrons) – le nombre d'électrons augmente. Si les électrons vont dans la bande de valence, la région devient chargée positivement.
- **Type P** : Dopage avec du bore (3 électrons) – le nombre de trous augmente. Si un trou disparaît (il est occupé par un électron), la région devient chargée négativement.



Silicium pure



Type N

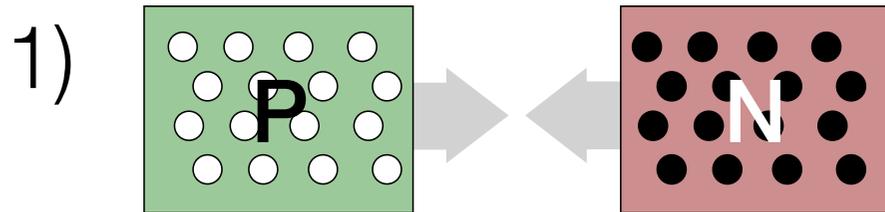


Type P

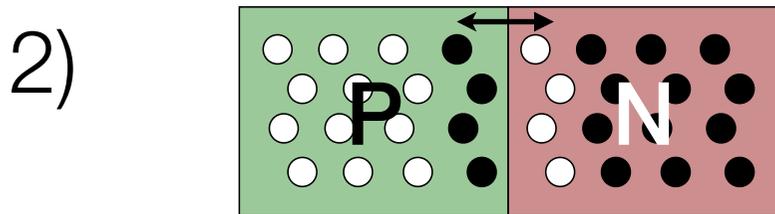
Les Diodes

- Une des plus simples composantes non linéaires (courant non-proportionnel au tension).
- Conduit le courant dans un sens, mais pas dans l'autre.
- Une jonction entre deux semi-conducteurs de types N et P. Des électrons libres se combinent avec des trous et créent une barrière potentielle.

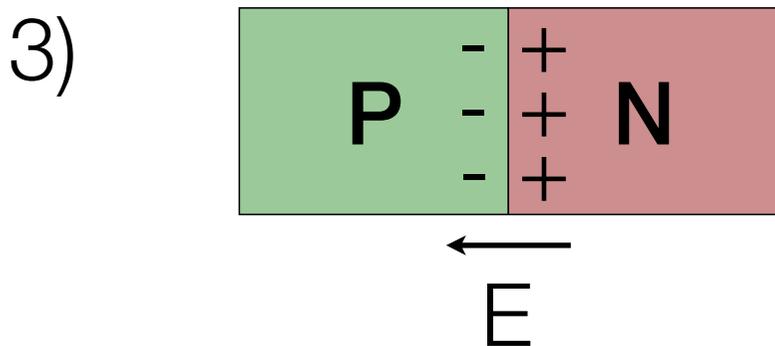
Diodes



- Des semi-conducteurs P ont une haute densité de trous, le semi-conducteurs N ont une haute densité d'électrons.



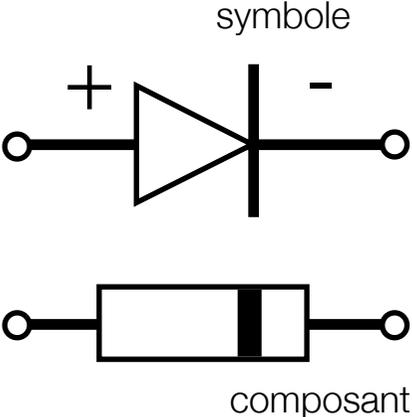
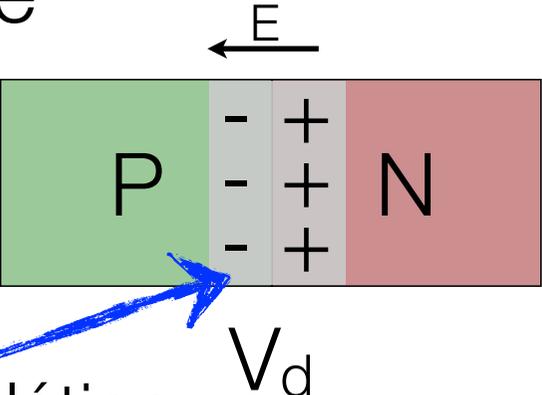
- Lorsqu'ils sont attachés ensemble, il y a un échange d'électrons-trous dans la zone près de la jonction.



- Lorsque l'équilibre est atteint, les semi-conducteurs se retrouvent avec des charges “découvertes” qui forment une région de déplétion. Des électrons libres se combinent avec des trous et créent une barrière de tension.

Polarisation

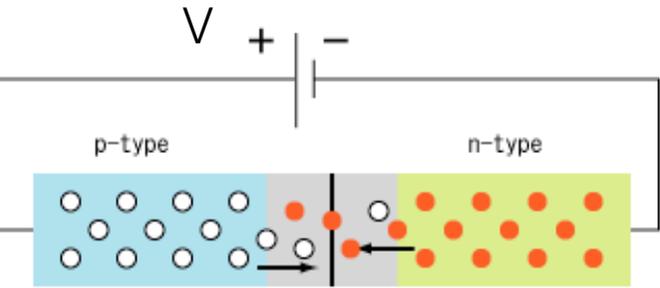
équilibre



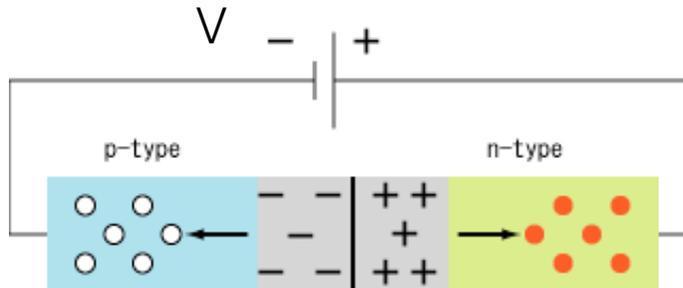
zone de déplétion

- Une diode peut avoir une polarisation directe ou inverse:
 - **directe** ($V > V_d$) : injection des porteurs minoritaires, trous en N, électrons en P. Les électrons se déplacent de trou en trou.
 - **inverse**: Les trous sont attirés par la borne positive, les électrons à la borne négative. La région de déplétion s'agrandit.

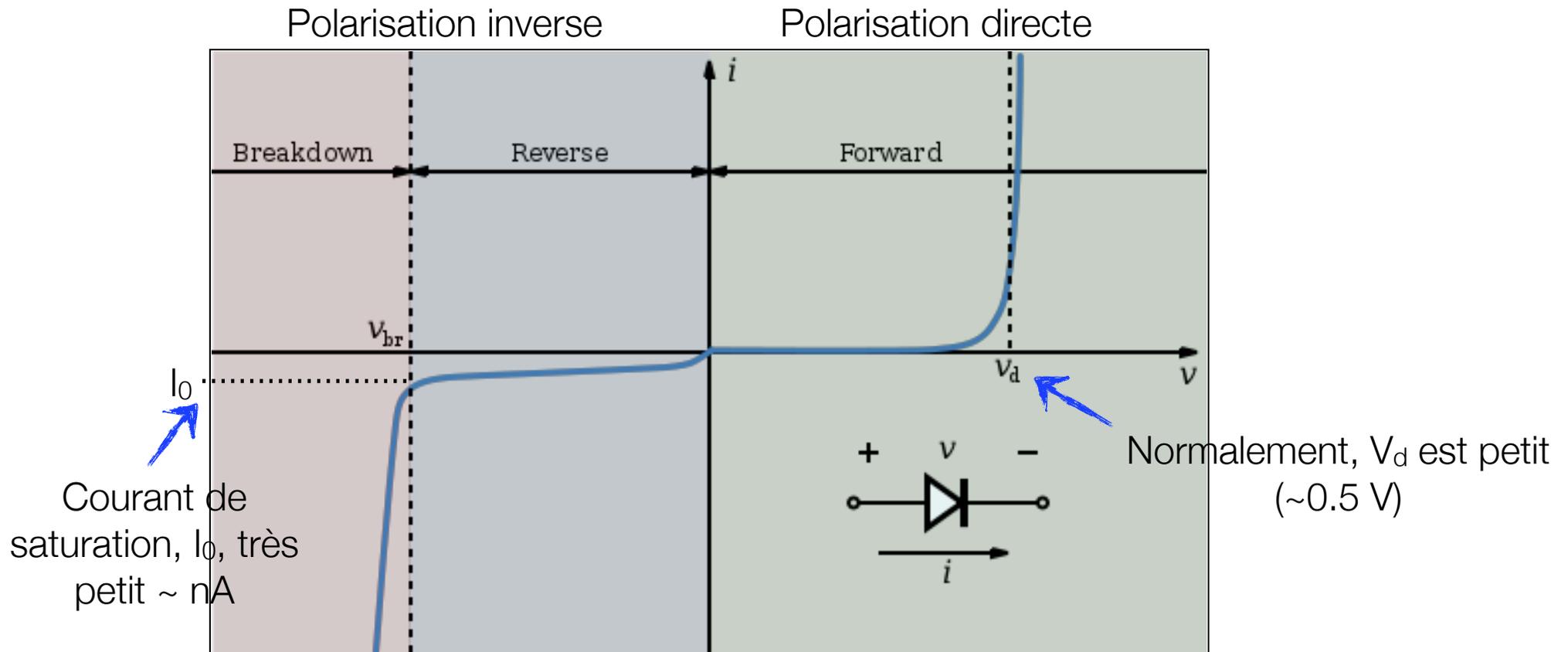
directe



inverse



I-V courbe caractéristique

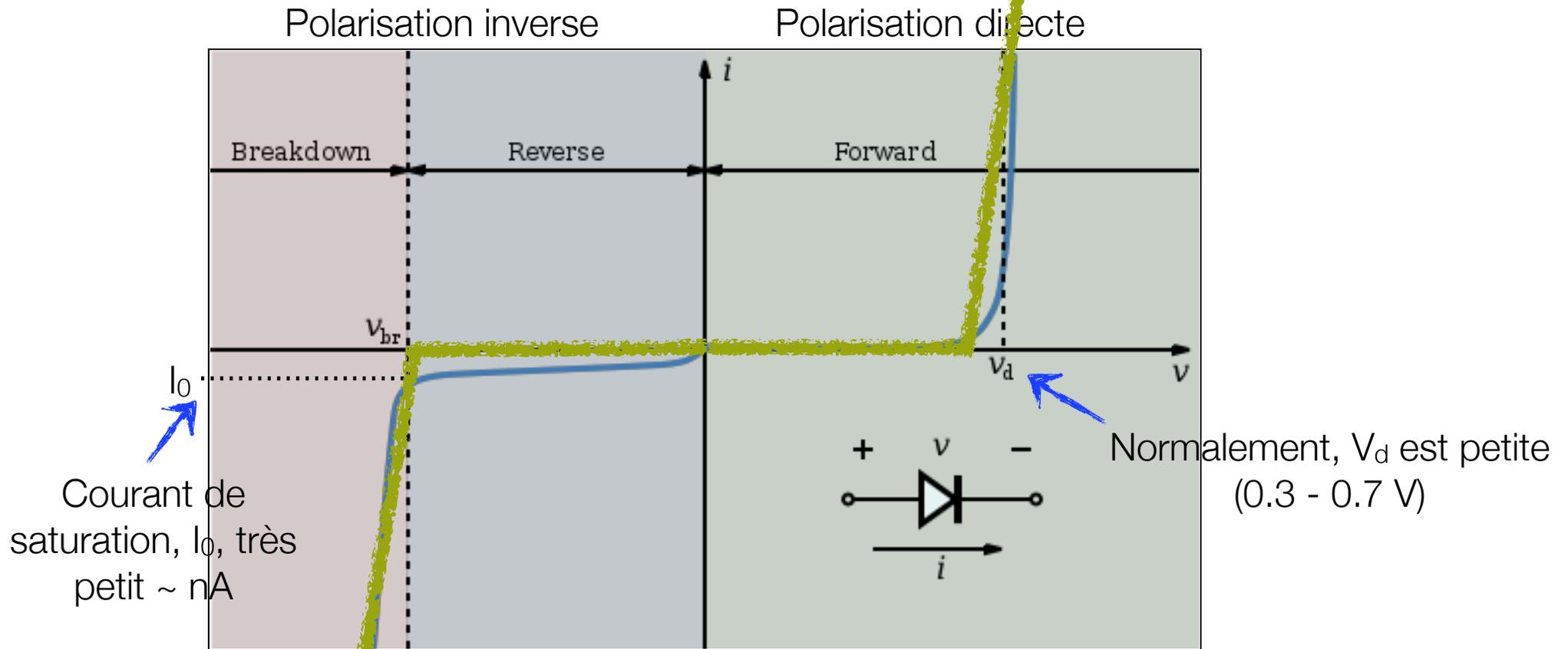


- Une diode a une résistance dynamique:

$$r = \frac{dV}{dI}$$

- directe: Si $V > V_d$ résistance petite ($r \ll$)
- inverse: Si $|V| < |V_{br}|$ résistance grande ($r \gg$), si $|V| > |V_{br}|$ résistance petite ($r \ll$)

I-V courbe caractéristique



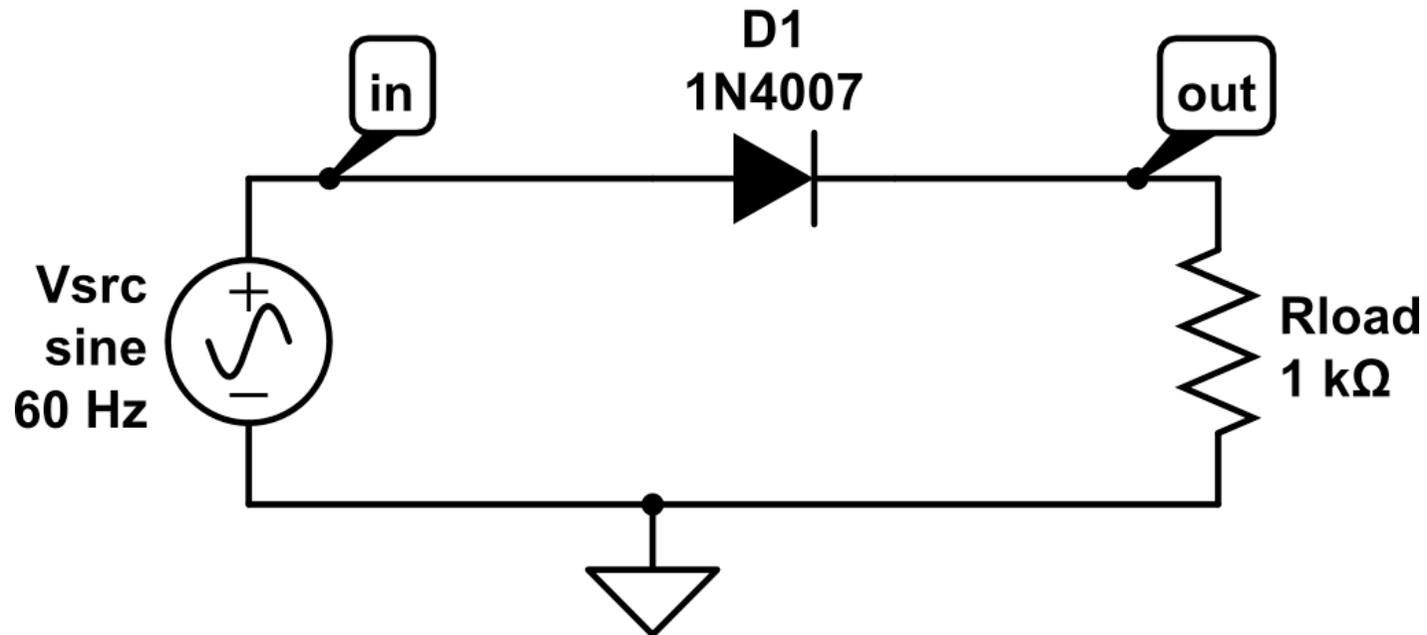
- Une diode a une résistance dynamique:

$$r = \frac{dV}{dI}$$

- directe: Si $V < V_d$ résistance grande, si $V > V_d$ résistance petite
- inverse: Si $|V| < |V_{br}|$ résistance grande, si $|V| > |V_{br}|$ résistance petite

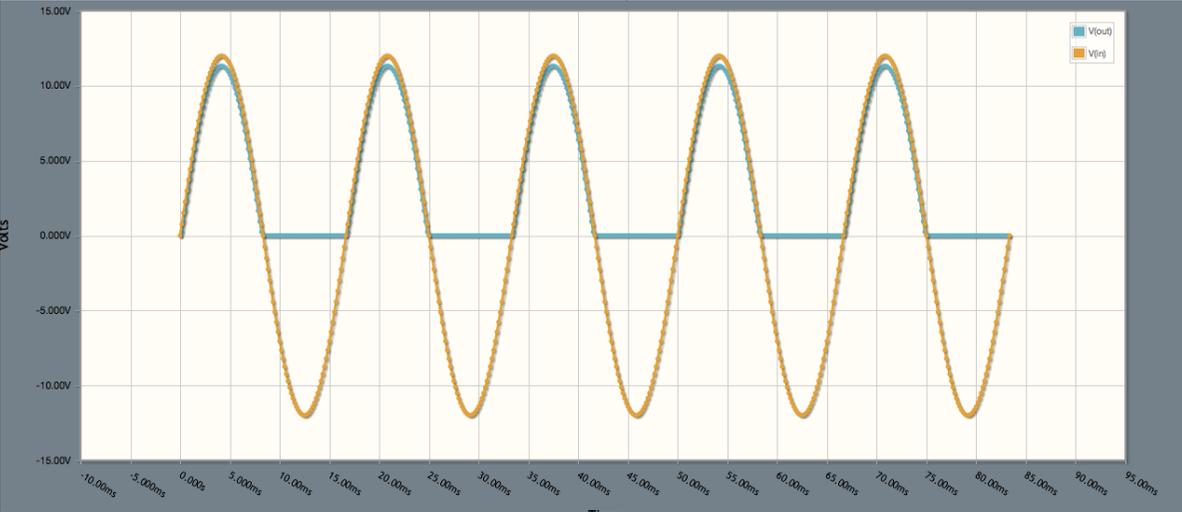
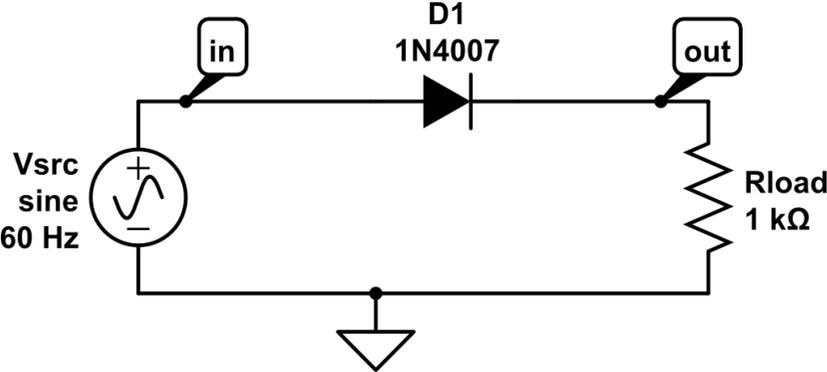
Application 1: onde pleine

- Décrivez le comportement du circuit!

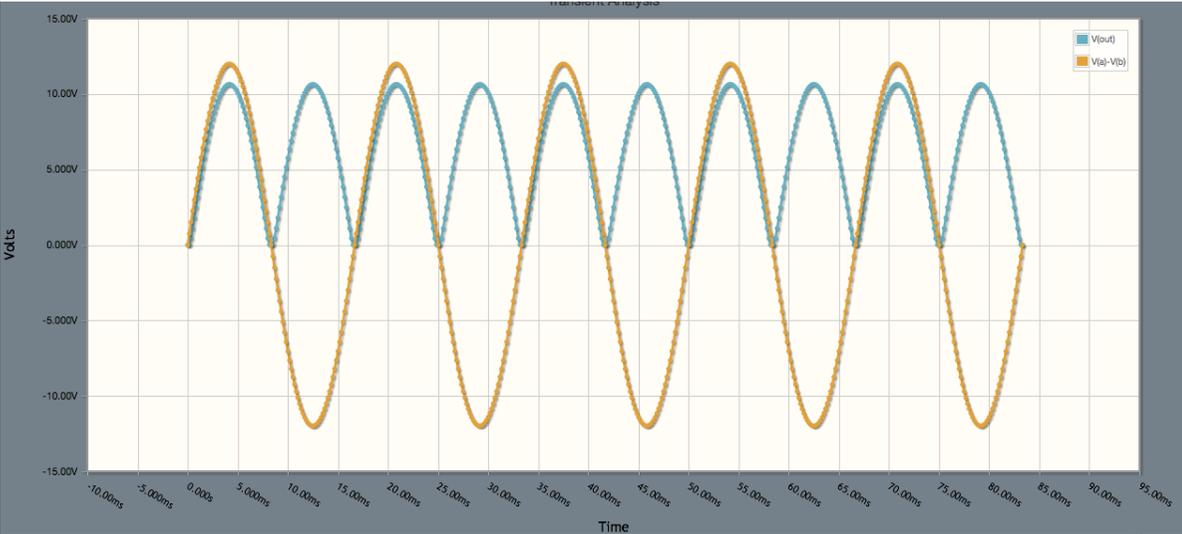
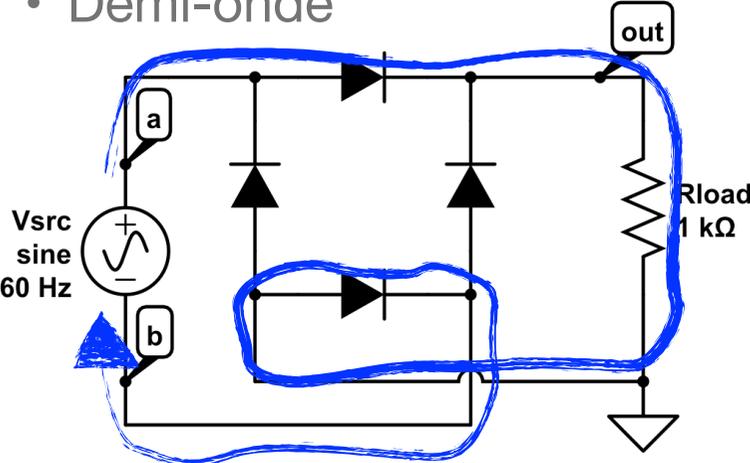


Exemples: www.circuitlab.com

- Onde-pleine

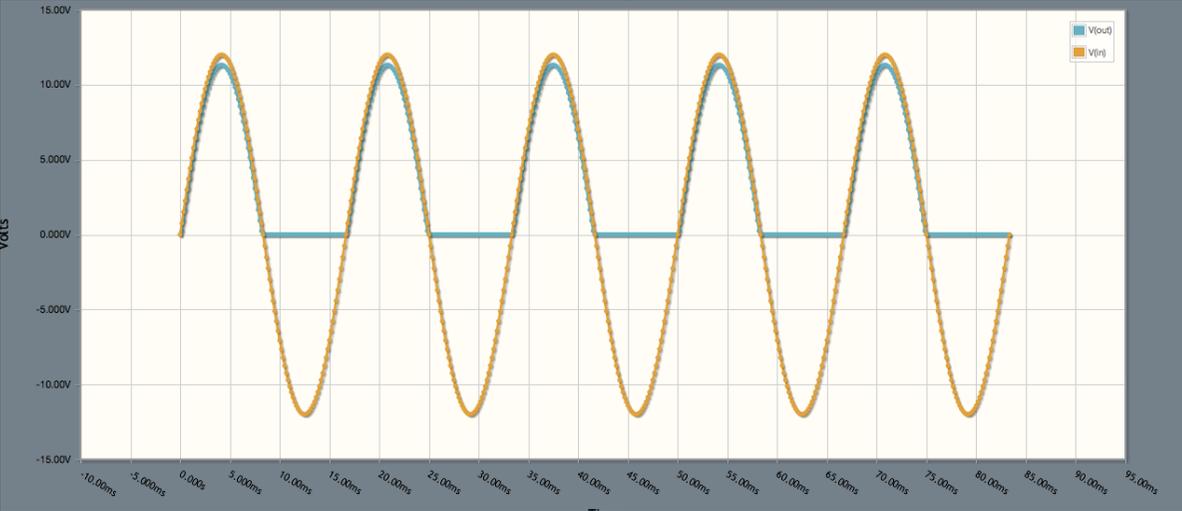
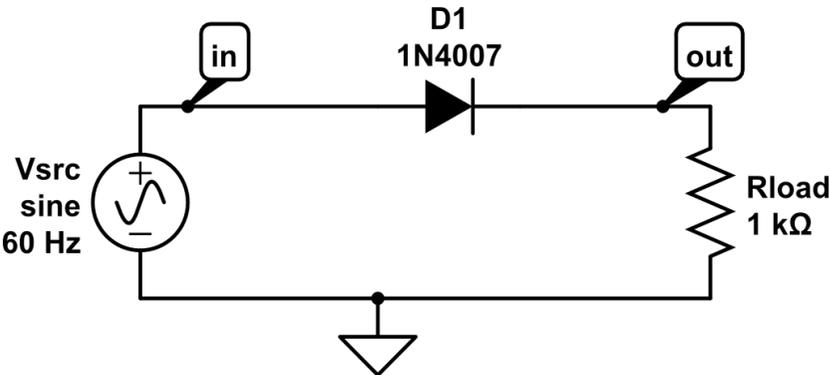


- Demi-onde

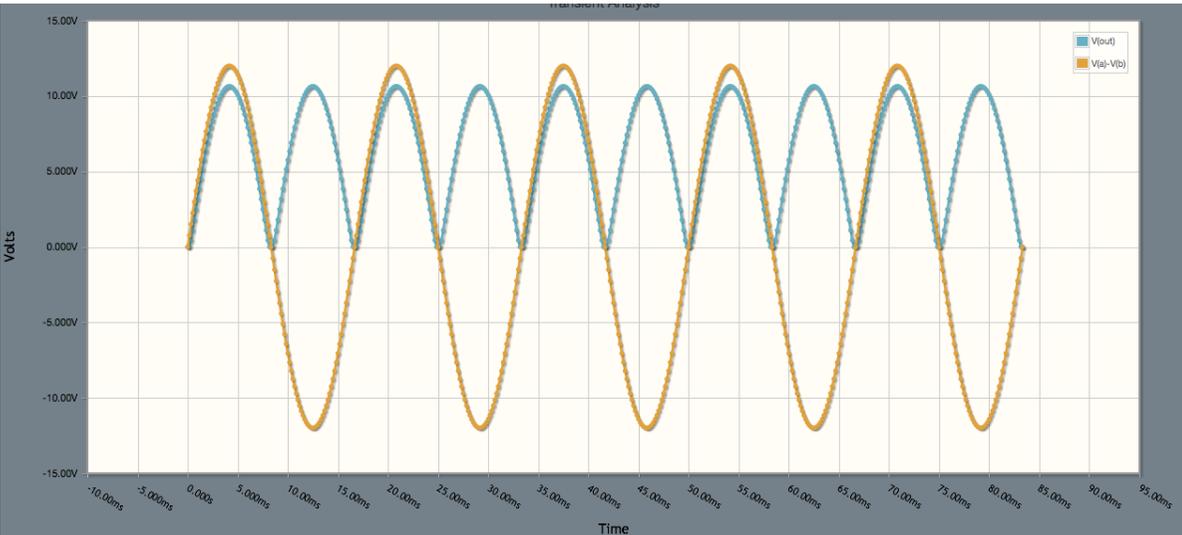
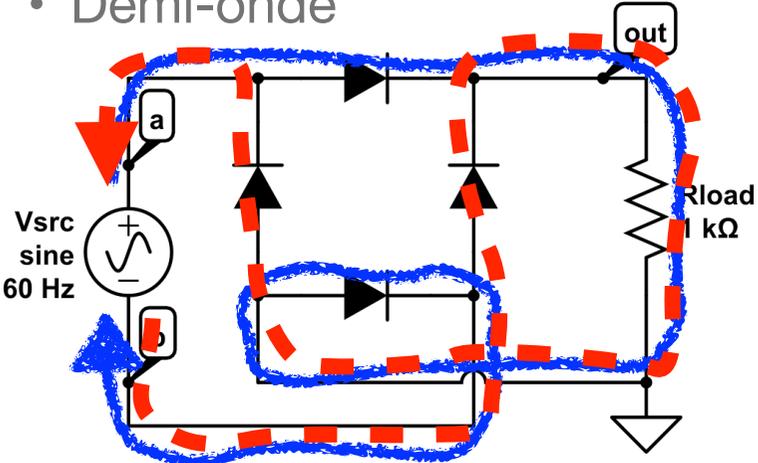


Exemples: www.circuitlab.com

- Onde-pleine

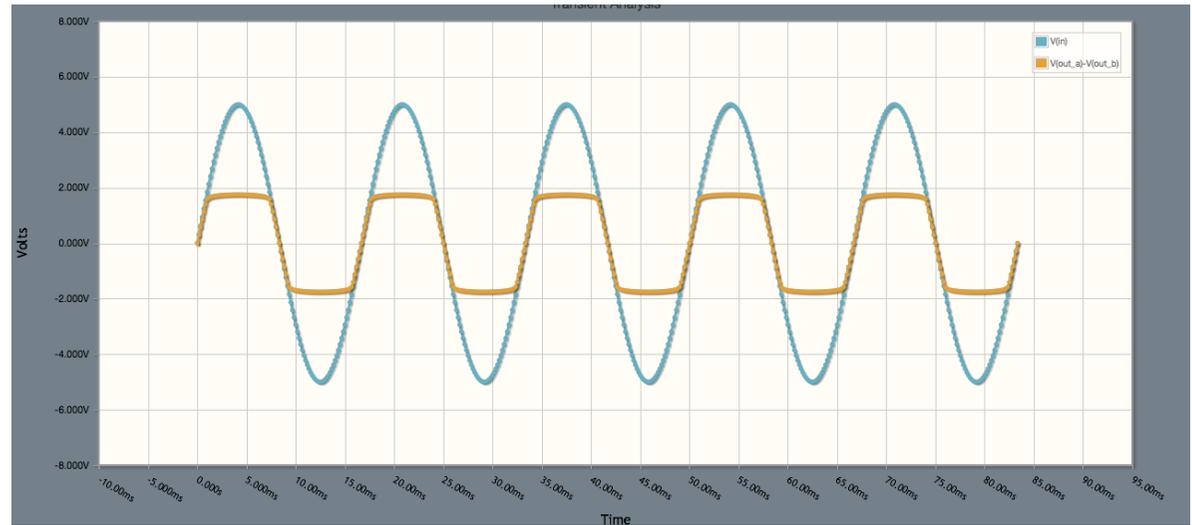
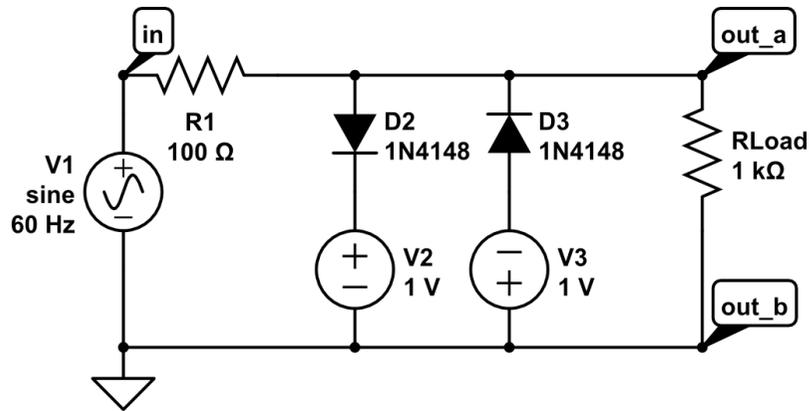


- Demi-onde



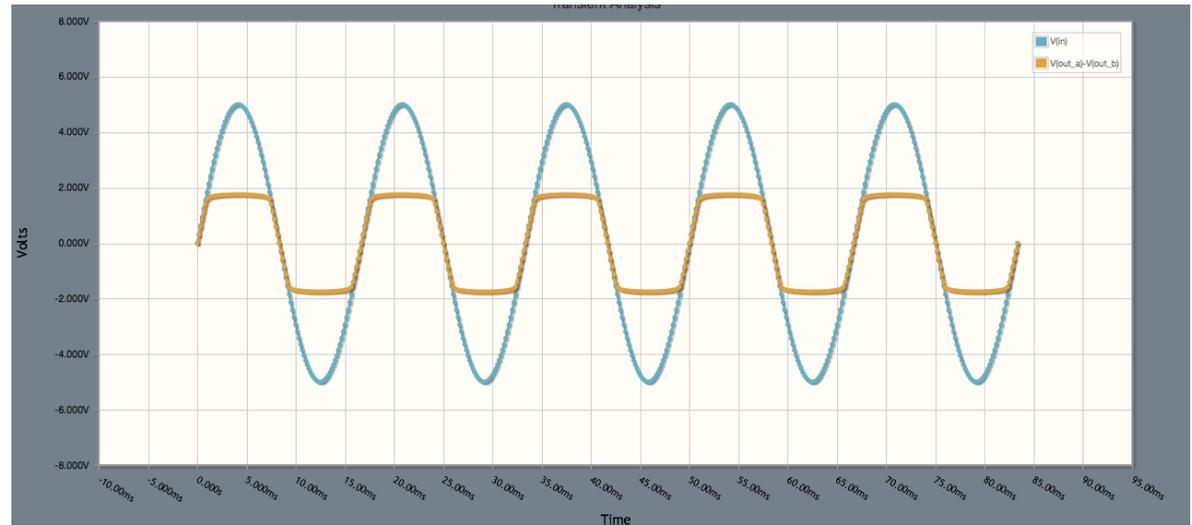
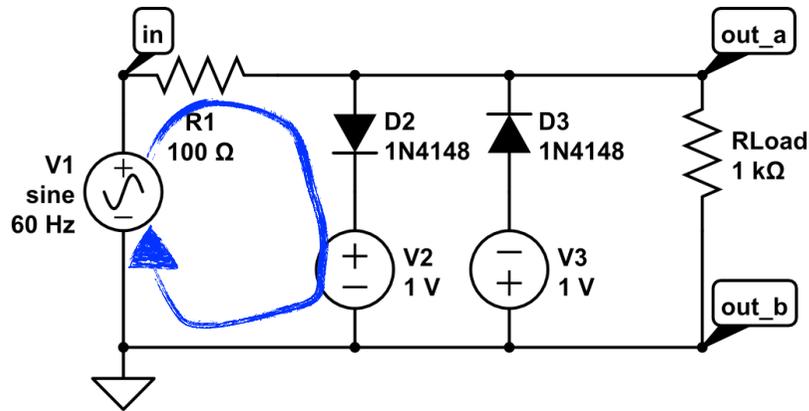
Exemples: www.circuitlab.com

- circuit écrêteur



Exemples: www.circuitlab.com

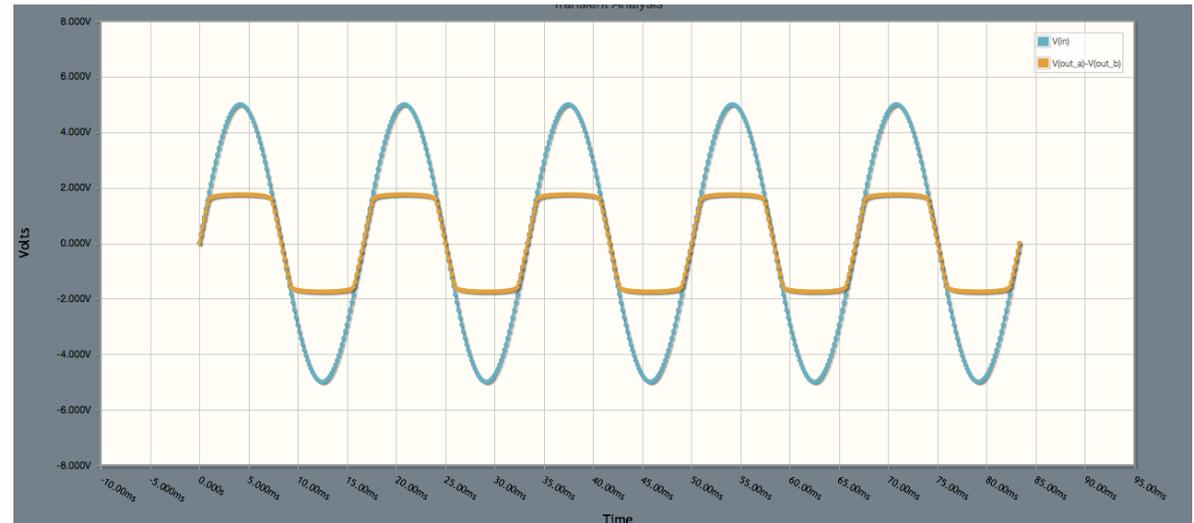
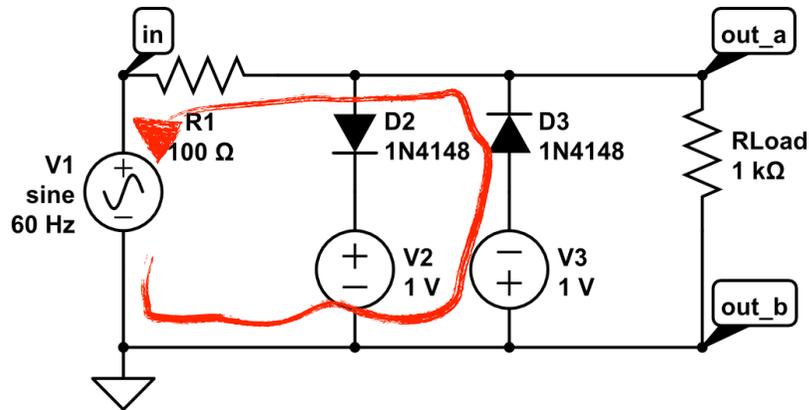
- circuit écrêteur



- **Cycle positif:** Lorsque $V1 \leq V2$, pas courant et $V_{out} = V1$, lorsque $V1 \geq V2$, la diode est polarisée et $V_{out} = V2$ (moins V_d)

Exemples: www.circuitlab.com

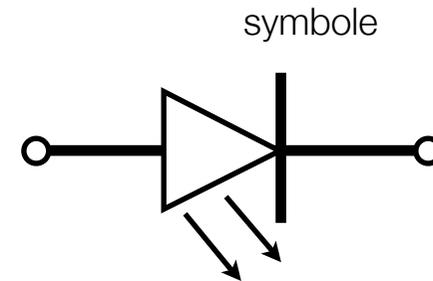
- circuit écrêteur



- **Cycle positif:** Lorsque $V_1 < V_2$, pas courant et $V_{out} = V_1$, lorsque $V_1 \geq V_2$, diode est directement polarisé et $V_{out} = V_2 - V_d$
- **Cycle negatif:** Lorsque $|V_1| < V_3$, pas courant et $V_{out} = V_1$, lorsque $|V_1| \geq |V_3|$, diode est directement polarisé et $|V_{out}| = |V_3| - |V_d|$

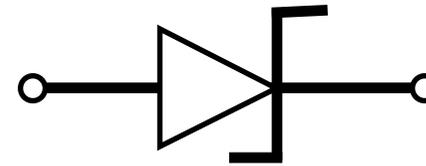
Diodes électroluminescentes (LED)

- Les LED sont actives lorsqu'elles sont placées dans le sens du courant (polarisation directe), qui contrôle l'intensité de la lumière émise.

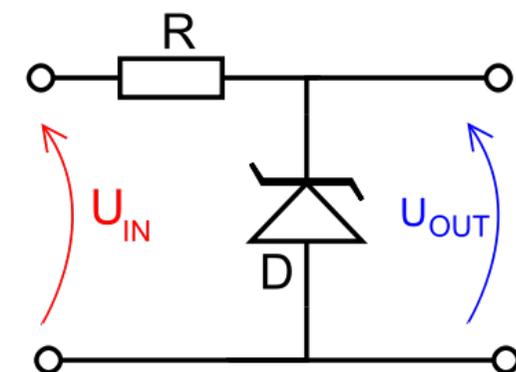
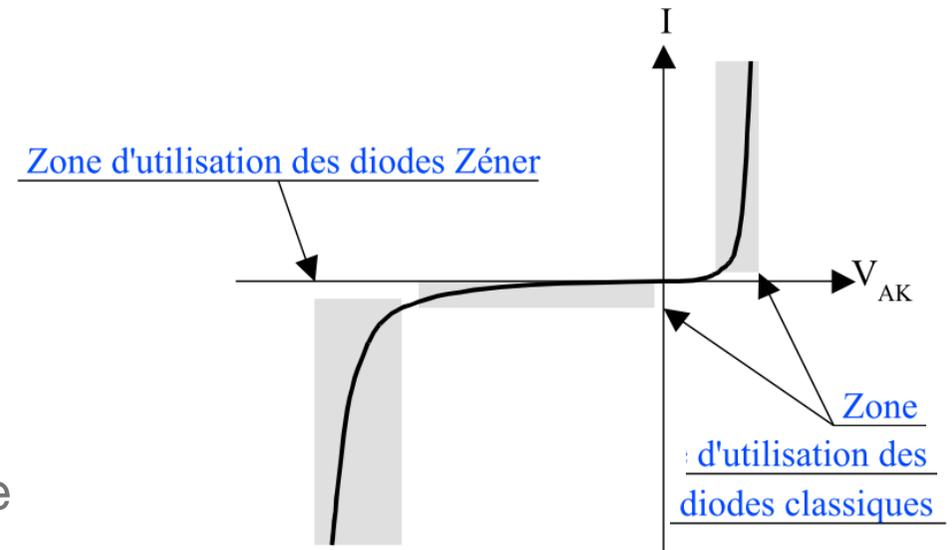


Les diodes Zener

symbole

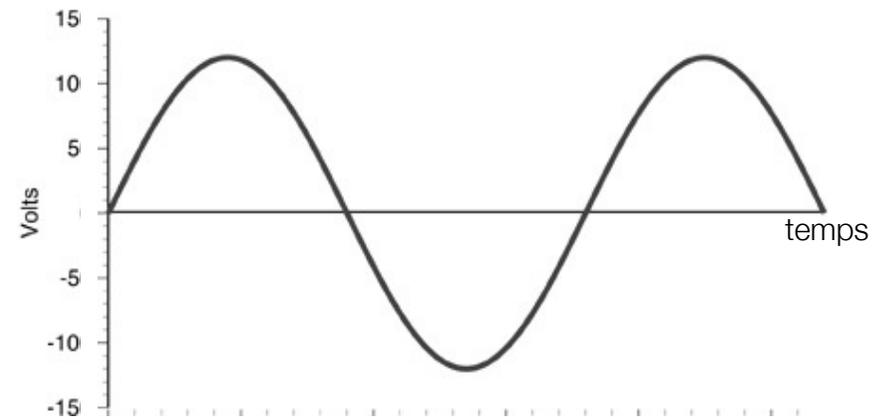
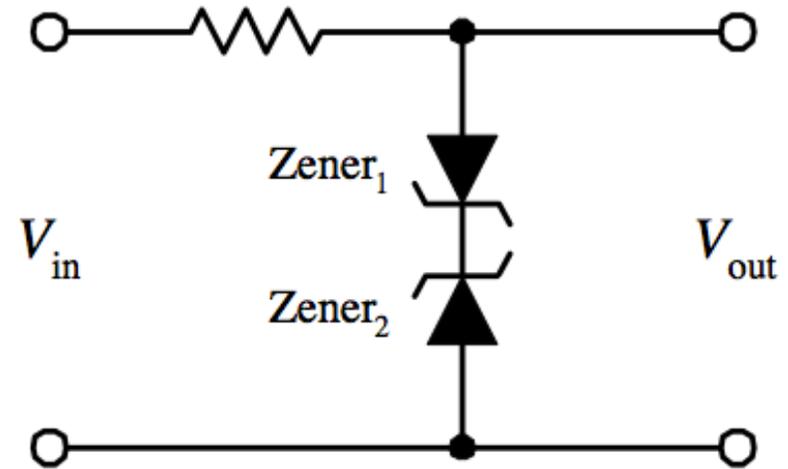


- Si la jonction P-N d'une diode est fortement dopée, la zone de charge d'espace est très mince et des électrons peuvent traverser la jonction dans la bande d'énergie commune par l'effet tunnel.
- Ainsi, la diode soumise à une tension inverse peut conduire un courant par l'effet tunnel.
- La tension d'apparition de l'effet tunnel est très faible si le dopage est très grand. Cette tension (V_Z) dépend du niveau de dopage et de la tension inverse.
- Les diodes Zener travaillent en polarisation inverse et stabilisent la tension.



Les diodes Zener

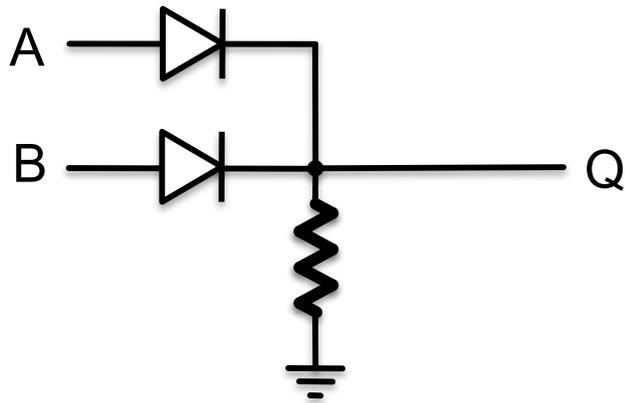
- Décrivez le comportement du circuit!
- Donné la tension d'entrée V_{IN} , faites un plot de la tension de sortie V_{OUT} en fonction du temps.
- Pour cet exemple: $V_{Z1} = 2V$ et $V_{Z2} = 6V$.



Logique digitale

- Électronique numérique: les tensions V_A et V_B ont 2 valeurs possibles: $+V_{cc}$ (état logique "1") et $0V$ (état "0")
- Portes logiques "ou" et "et":
- Remplissez la table de vérité: valeurs logique Q, et courant dans R (oui/non)

| A | B | I | Q |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | | |
| 0 | 1 | | |
| 1 | 0 | | |
| 1 | 1 | | |



| A | B | I | Q |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | | |
| 0 | 1 | | |
| 1 | 0 | | |
| 1 | 1 | | |

