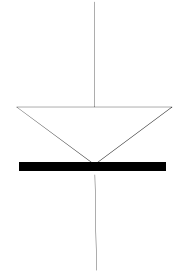


Ch2: Les Diodes a jonction



- **OBJECTIF**
 - **Fonctionnement**
 - **Montages de base**
 - **Diode Zener**

1 Introduction

- L'électronique serait bien ennuyeux et sans grand intérêt si l'on ne pouvait utiliser que des composants linéaires (résistances, condensateurs, sources,...). La plupart des fonctions électroniques (amplification, redressement, génération de signaux, ...) ne sont possibles que grâce aux composants **non-linéaires** dont la DIODE est le premier exemple étudié dans ce cours.

Définition & Applications

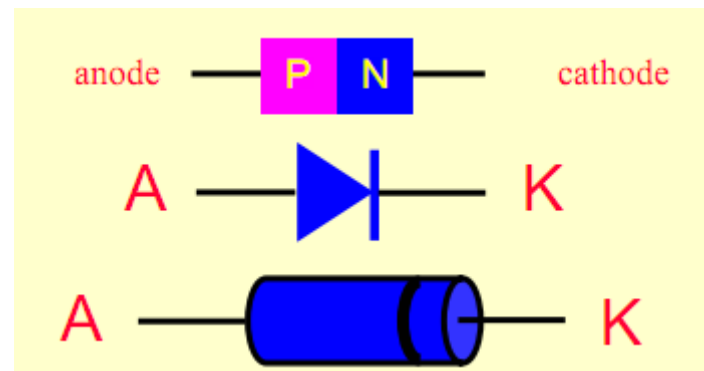
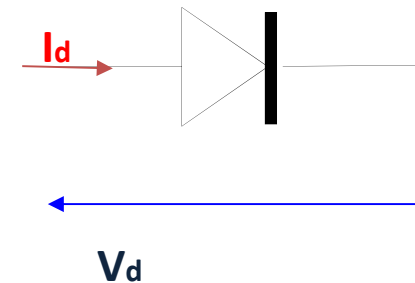
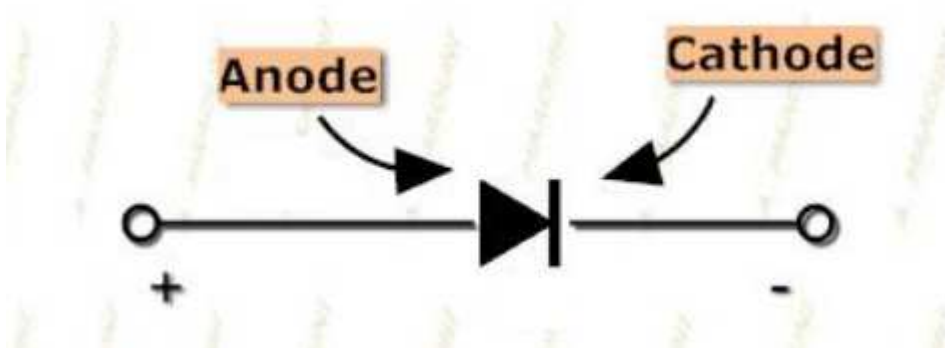
- une diode est un dipôle passif, non linéaire.
- Semi-conducteur de base: résultat d'une **jonction** entre un SC(P) et un SC(N): d'où l'appellation **diode à jonction**.

- La diode est un composant qui ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens.
- Une telle propriété lui œuvre un champ d'application très vaste en électronique:
 - Redressement
 - Détection de pic de signaux
 - Régulation
 - Mise en forme de signaux (Ecrêtage...)
 - Multiplieur de tension
 - Portes logiques
 - etc

2. Etude de la diode à jonction

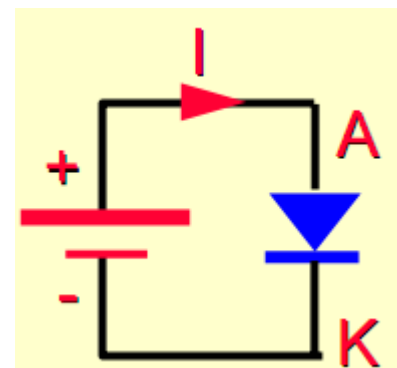
2.1. Notation et caractéristiques

1. Symbole

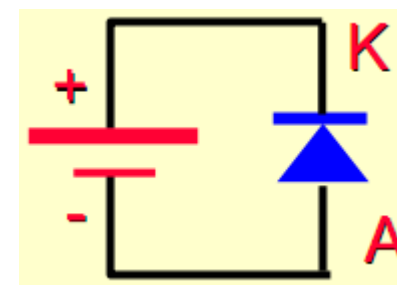


● Polarisation

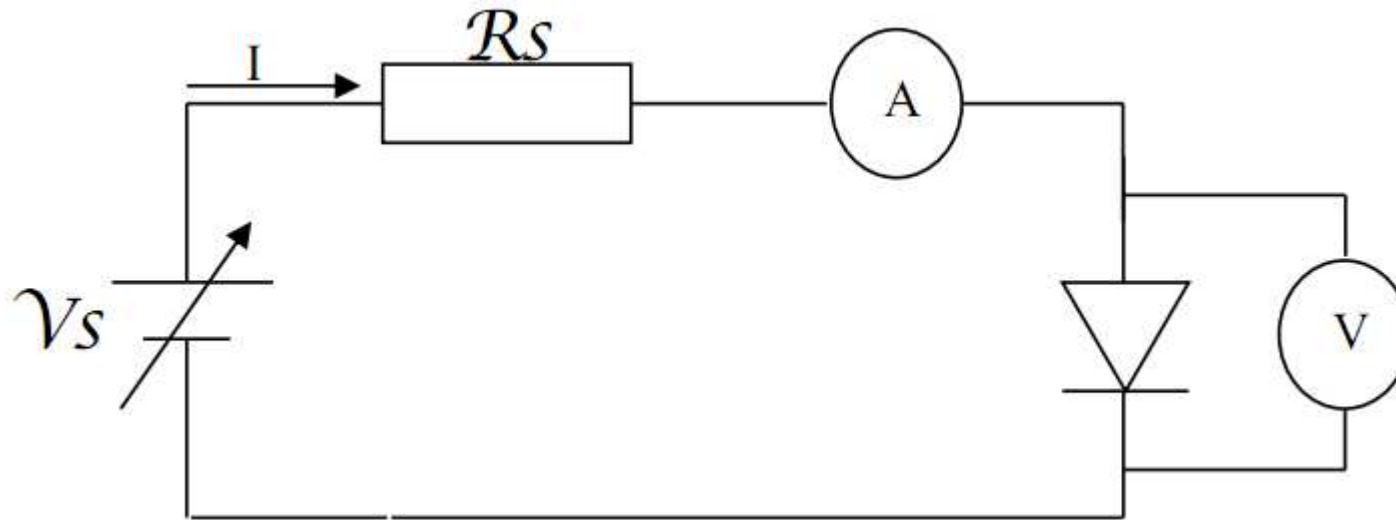
● Une diode est **polarisée en directe** si on applique une tension d'alimentation avec (+ sur A) et (- sur K), la diode est alors passante ou conductrice

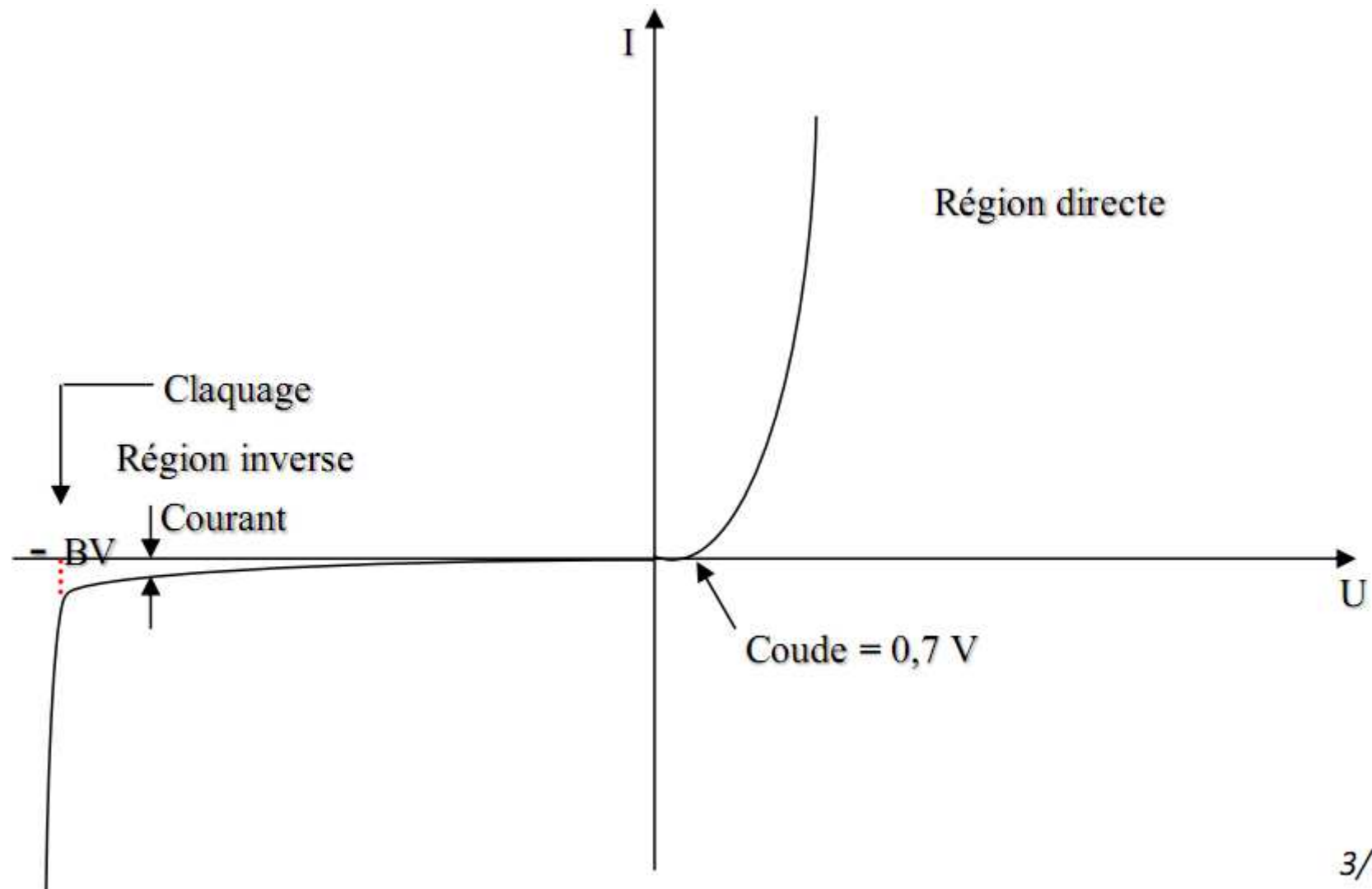


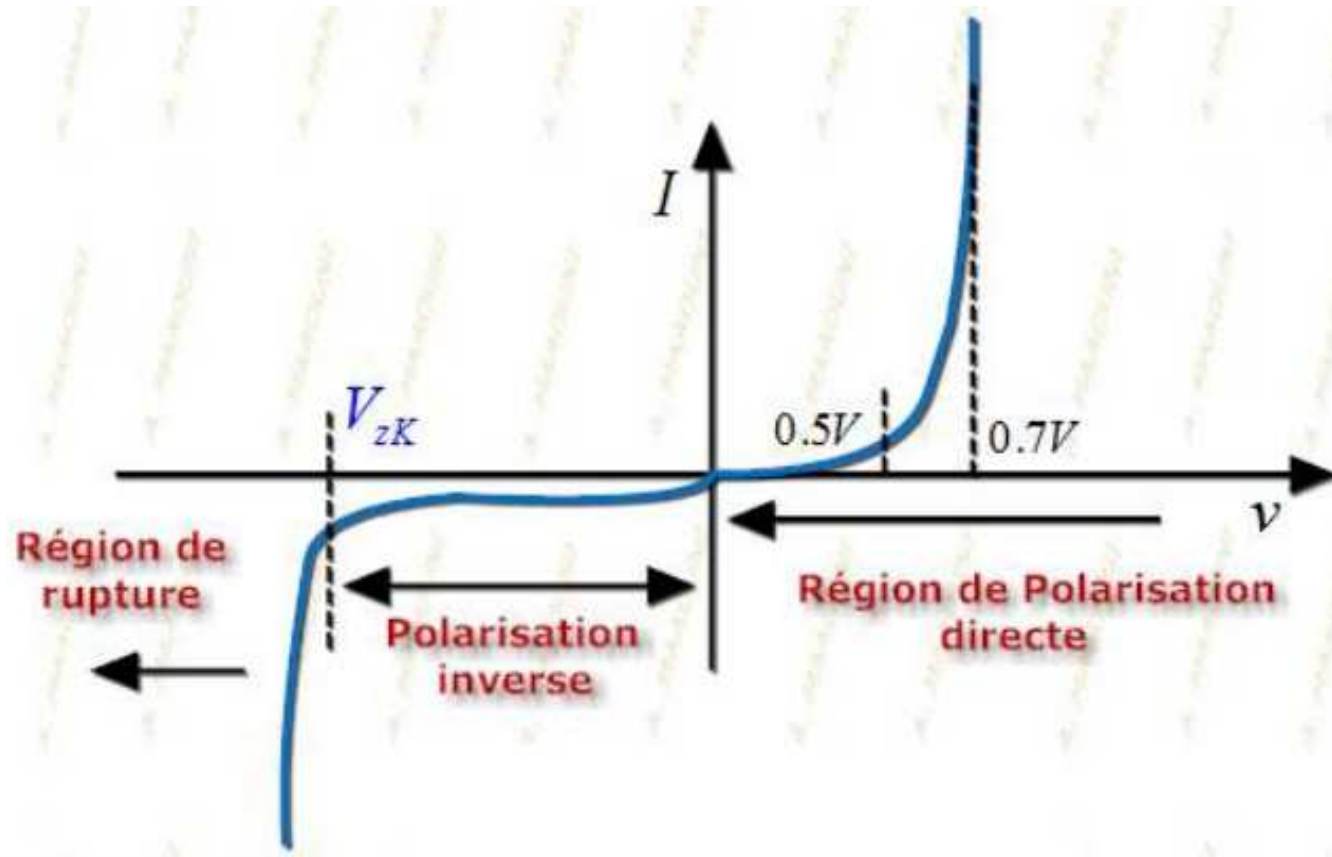
● Une diode est **polarisée en inverse** si on applique une alimentation avec (+ sur K) et (- sur A), la diode est **bloquée**.



2. Caractéristiques d'une diode réelle

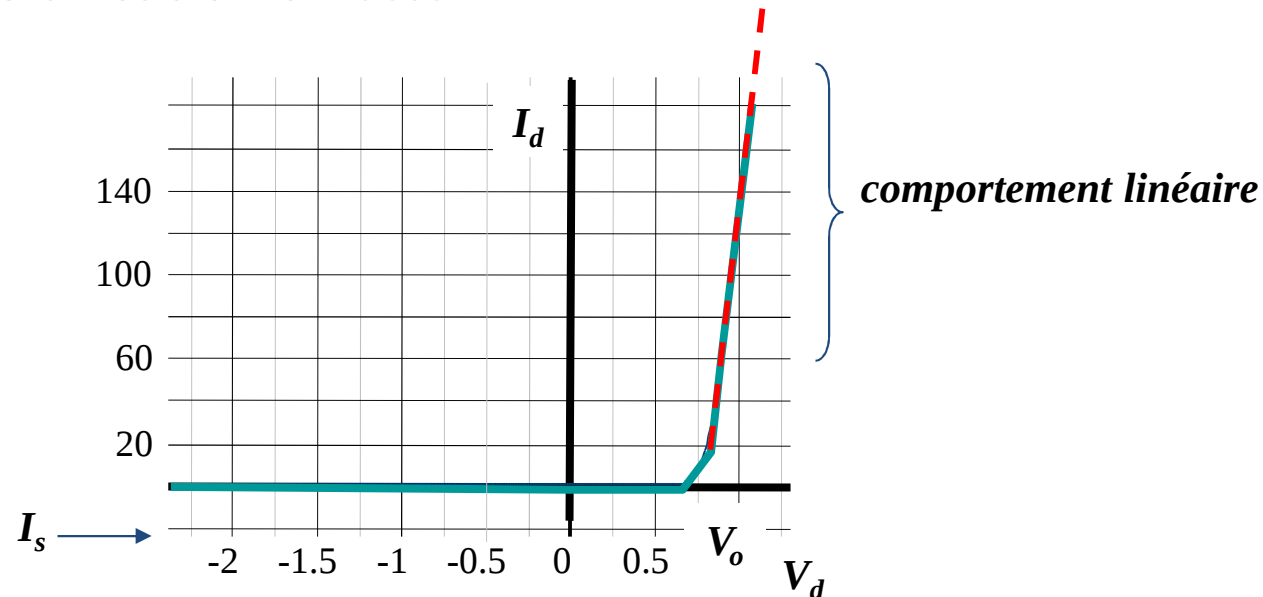






- La courbe obtenue est la caractéristique statique de la diode.
- **régime *statique***: (tension et courant indépendants du temps)

Analyse en polarisation directe



- Pour $V_d < 0$, la diode se comporte comme un **bon isolant** : $I_s \sim 1 \text{ pA} - 1 \mu\text{A}$,
 - ➔ la diode est dite “**bloquée**”
 - ➔ dans ce **domaine** son comportement est approximativement **linéaire**
 - ➔ le courant “**inverse**”, I_s , augmente avec la température
- Pour $V_d \gg \sim 0.7$, le courant augmente **rapidement** avec une **variation** à peu près **linéaire**
 - ➔ la diode est dite “**passante**”
 - ➔ mais I_d **n’est pas proportionnel** à V_d (il existe une “**tension seuil**” $\sim V_o$)

- Le courant direct I_d a une croissance exponentielle en fonction de la tension V_d

avec $1 \leq \eta \leq 2$ (facteur “d’idéalité”)

$$I_d \cong I_s \left[\exp\left(\frac{V_d}{\eta V_T}\right) - 1 \right]$$

$V_T = k \cdot T/e =$ tension thermodynamique

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K = constante de Boltzmann

$e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb, T la température en °Kelvin

$I_s =$ courant de saturation dépendant de la température

↙ le comportement est fortement **non-linéaire**

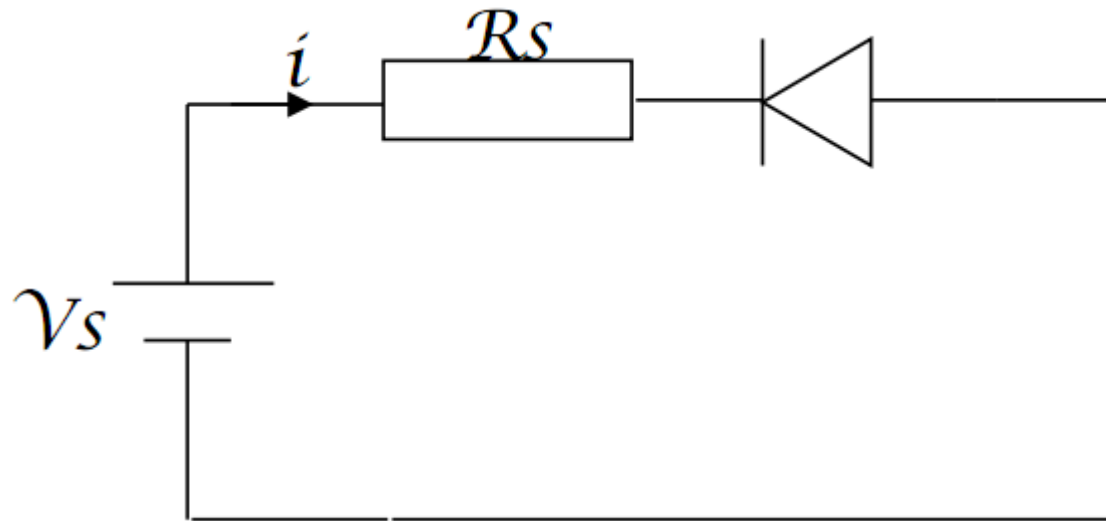
↙ forte **variation** avec la **température**

✉ $V_T(300K) = 26 \text{ mV}$

- La tension de seuil est caractérisée par la nature du semi-conducteur.

Nature du semi-conducteur	V_d
Silicium	0.6 à 0.7 V
Germanium	0.2 à 0.3 V
Arséniure de Gallium	1

Analyse en polarisation inverse



- En polarisation inverse et pour des faibles tensions un courant très faible ($-I_s$) traverse la diode
- au-delà d'une certaine valeur de tension inverse on atteint une zone dite **d'avalanche (croissance rapide due au claquage de la jonction)**.

- I_S = Courant de Saturation du au porteurs minoritaires
- Limité par l'énergie thermique: saturation

Pour les diodes au Silicium I_S double tous les 10°C et pour le Germanium tous les 6°C .

En plus du courant inverse dans le cristal, il existe un petit courant à la surface du cristal.

Cette composante du courant inverse s'appelle courant de **pureté superficielle**. I_{SL}
(Surface leakage = pureté superficielle). Les puretés superficielles créent des chemins ohmiques pour le courant et causent I_{SL}

On regroupe I_{SL} et I_S en un seul courant appelé courant inverse I_R (Reverse)

$I_S \rightarrow$ sensible à la température

$I_{SL} \rightarrow$ sensible à la tension

$I_R \rightarrow$ sensible à la T° et à la tension

Exemple : Diode 1 N 914 $\Rightarrow$ Si $V_R=20V$, $T_A=25^\circ C$ alors $I_R=25nA$.

🌐 Limites de fonctionnement :

■ Zone de claquage inverse

Ordre de grandeur :

V_{max} = quelques dizaines de Volts

👉 peut conduire à la destruction pour une diode non conçue pour fonctionner dans cette zone.

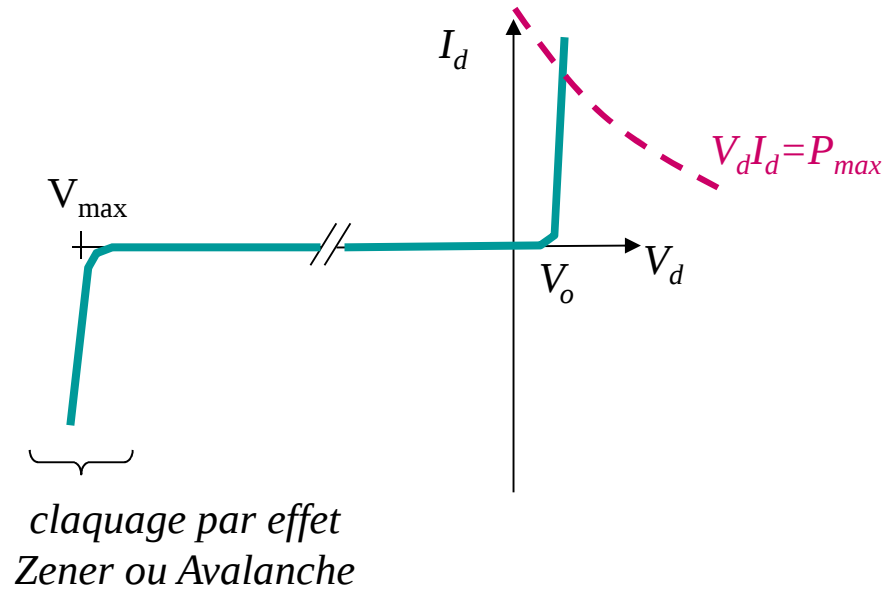
👉 V_{max} = « P.I. V » (Peak Inverse Voltage) ou
« P.R.V » (Peak Reverse Voltage) ou
« B.V » (Breakdown Voltage)

■ Limitation en puissance

Il faut que $V_d I_d = P_{max}$

■ **Influence de T :** diode **bloquée** : $I_d = I_S$ **double** tous les 10°C (diode en Si)

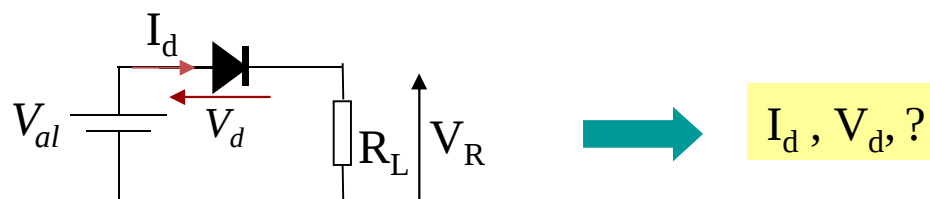
diode **passante** : V_d (à I_d constant) diminue de ~2mV/°C



3. la diode dans un circuit et droite de charge

3.1 Point de fonctionnement

- Comment déterminer la tension aux bornes d'une diode insérée dans un circuit et le courant qui la traverse?



⇒ I_d et V_d respectent les **Lois de Kirchhoff**

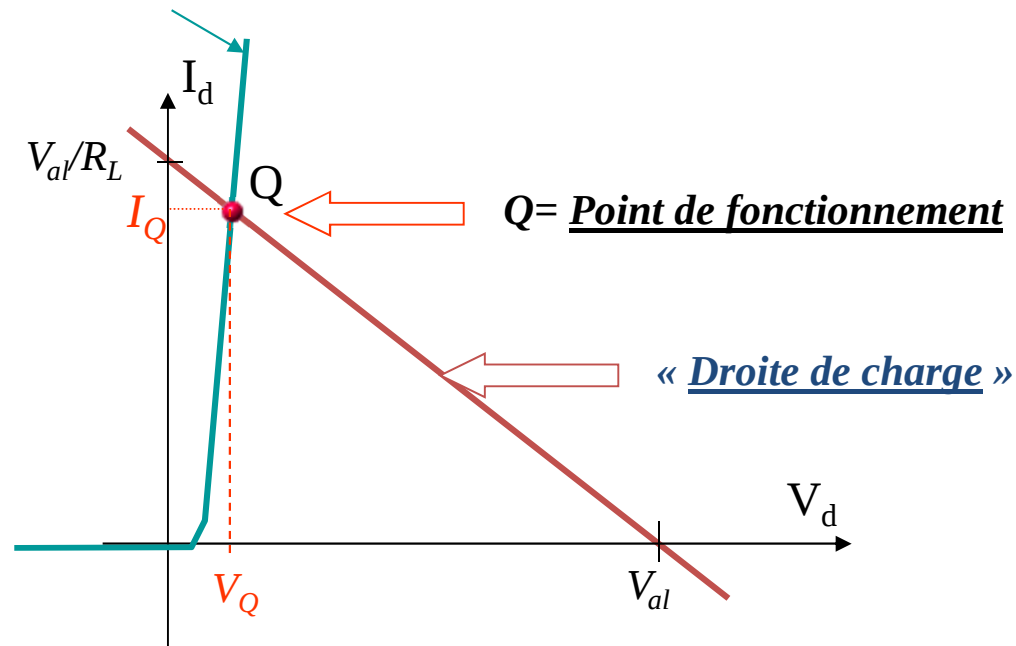
⇒ I_d et V_d sont sur la **caractéristique $I(V)$** du composant

⇒ Au **point de fonctionnement** de la diode, (I_d, V_d) remplissent ces **deux** conditions

3.2 Droite de charge

■ Loi de Kirchhoff : $\dots \rightarrow I_d = \frac{V_{al} - V_d}{R_L}$ = **Droite de charge** de la diode dans le circuit

Caractéristique $I(V)$



⇒ Connaissant $I_d(V_d)$ on peut **déterminer graphiquement** le point de fonctionnement

☞ *procédure valable quelque soit la caractéristique $I(V)$ du composant !*

⇒ On peut “**calculer**” le point de fonctionnement en décrivant la diode par un **modèle simplifié**

4. Modèles Statiques de la diode (Approximation) $\leftrightarrow$ *hyp*: I_d , V_d constants

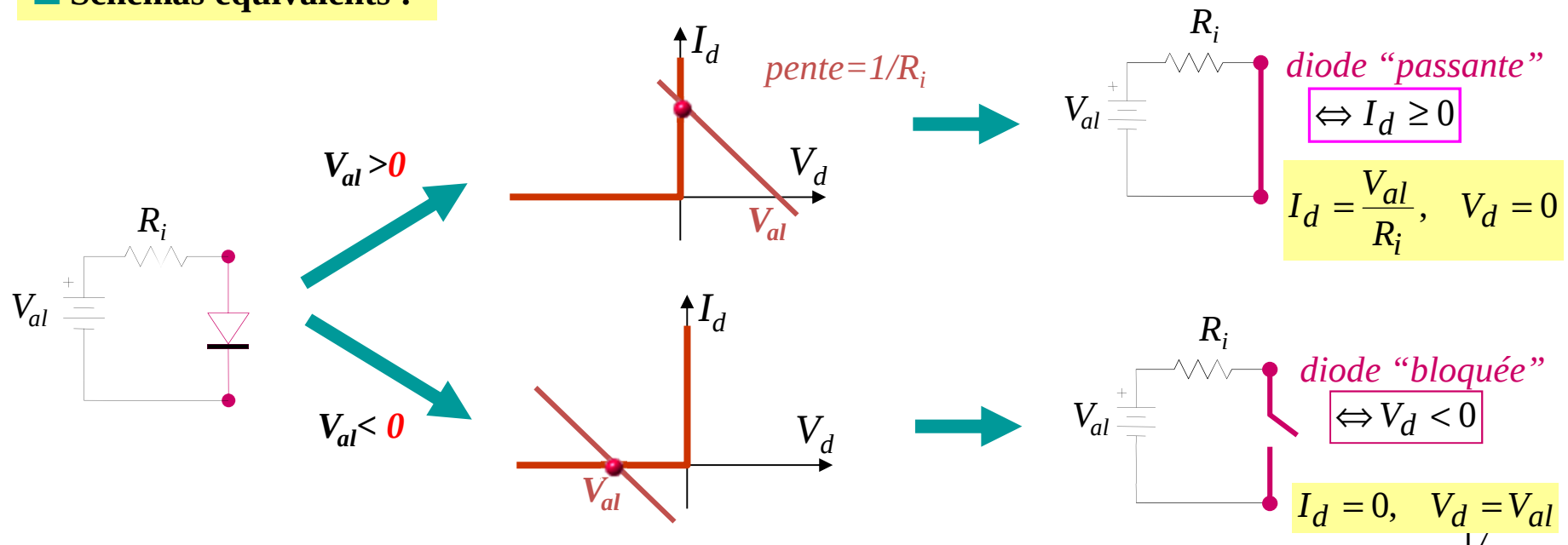
4.1. “Première” approximation: Diode « idéale »

$\leftrightarrow$ On néglige l'écart entre les caractéristiques réelle et idéale

- pas de tension seuil
- conducteur parfait sous polarisation directe
- $V_d < 0$: circuit ouvert

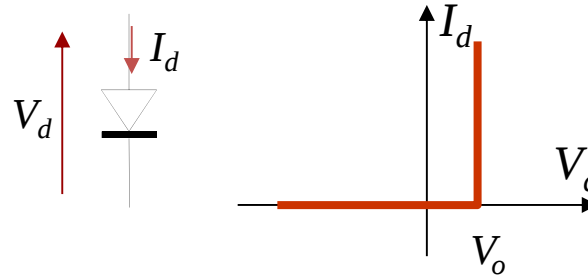


■ Schémas équivalents :



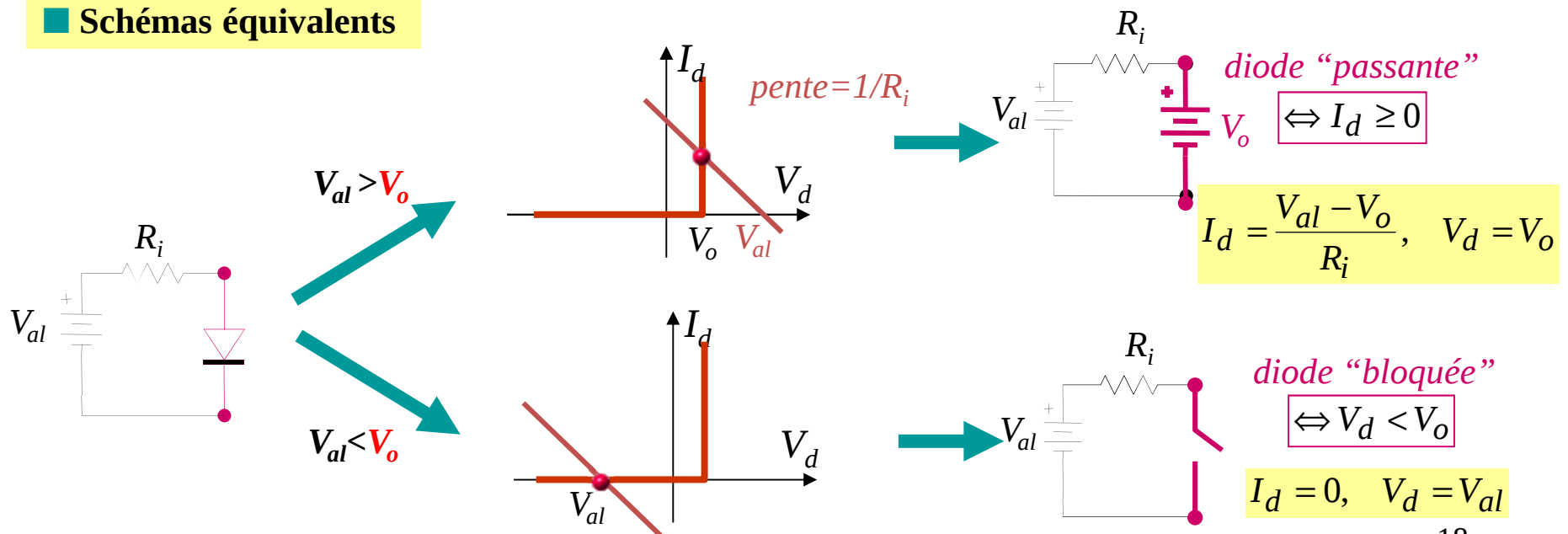
4.2 Seconde approximation: Diode parfaite

- tension seuil V_o non nulle
- caractéristique directe verticale (pas de "résistance série")
- $V_d < 0$: circuit ouvert



✉ Pour une diode en Si: $V_o \approx 0,6-0,7$ V

■ Schémas équivalents

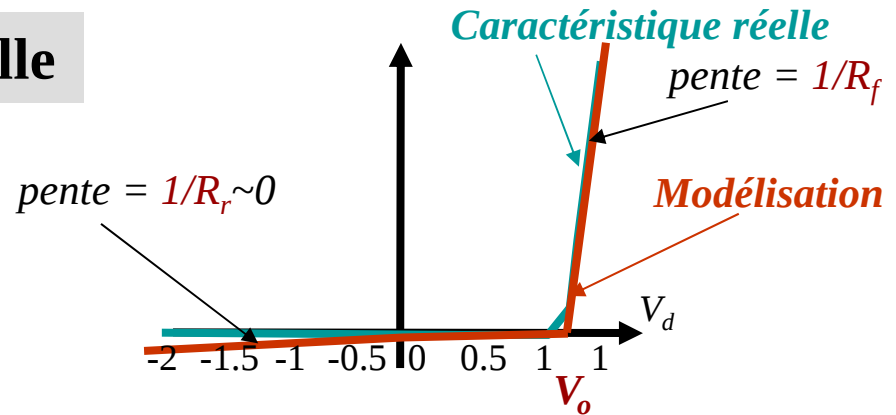
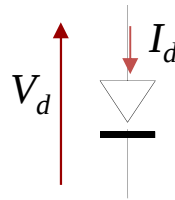


4.3 3^{ème} Approximation: Diode réelle

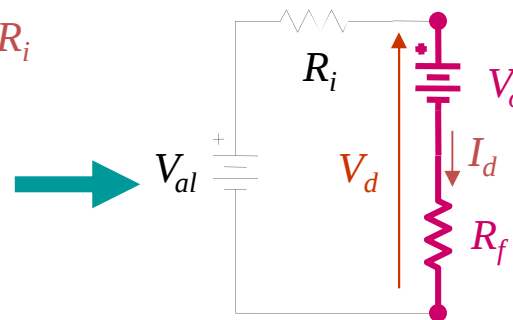
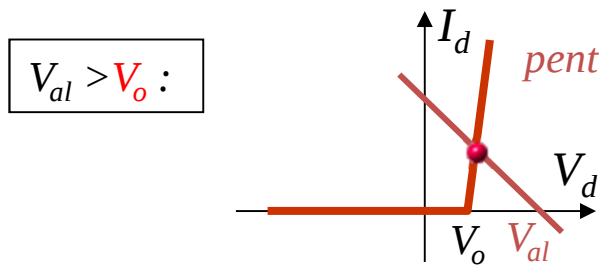
- tension seuil V_o non nulle
- résistance directe R_f non nulle
- $V_d < 0$: résistance R_r finie

➡ Pour une diode en silicium,
 $V_o = 0,6-0,7V$, $R_f \sim q.q.$
 10Ω , $R_r >> M\Omega$,

■ Schémas équivalents



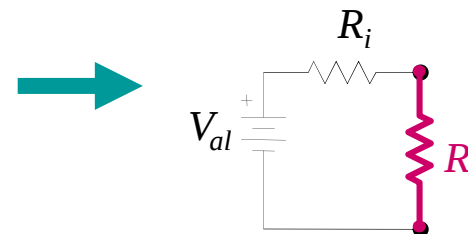
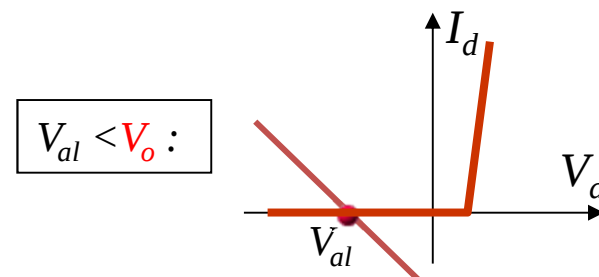
schémas équivalents :



diode passante

$$\Leftrightarrow I_d \geq 0 \text{ et } V_d \geq V_o$$

$$\rightarrow V_d = V_o + R_f I_d$$



diode bloquée

$$\Leftrightarrow V_d < V_o$$

Remarques :

- $R_f \neq \frac{V_d}{I_d}$

- Le choix du modèle dépend de la précision requise.

→ La 2^{ème} approx. est souvent suffisante pour une étude **qualitative** du fonctionnement d'un circuit

- Les effets **secondaires** (influence de la température, non-linéarité de la caractéristique inverse,) sont pris en compte par des modèles plus évolués (modèles utilisés dans les simulateurs de circuit de type SPICE).

5. Applications des Diodes

Un aperçu qui sera complété en TD et TP.

Valeur moyenne et valeur efficace d'un signal $v(t)$:

Valeur moyenne

$$V_m = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot dt$$

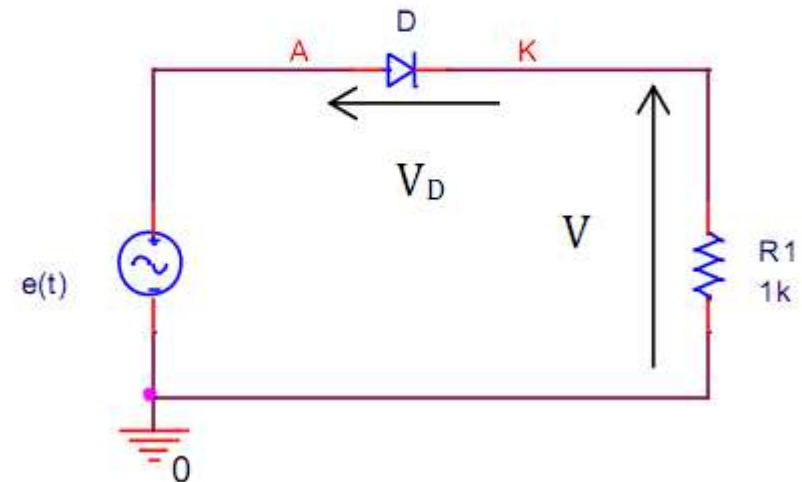
Valeur efficace

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) \cdot dt}$$

Applications

$e(t) = \sin(\omega t)$. Représenter les signaux $e(t)$, $v(t)$ et $V_D(t)$.

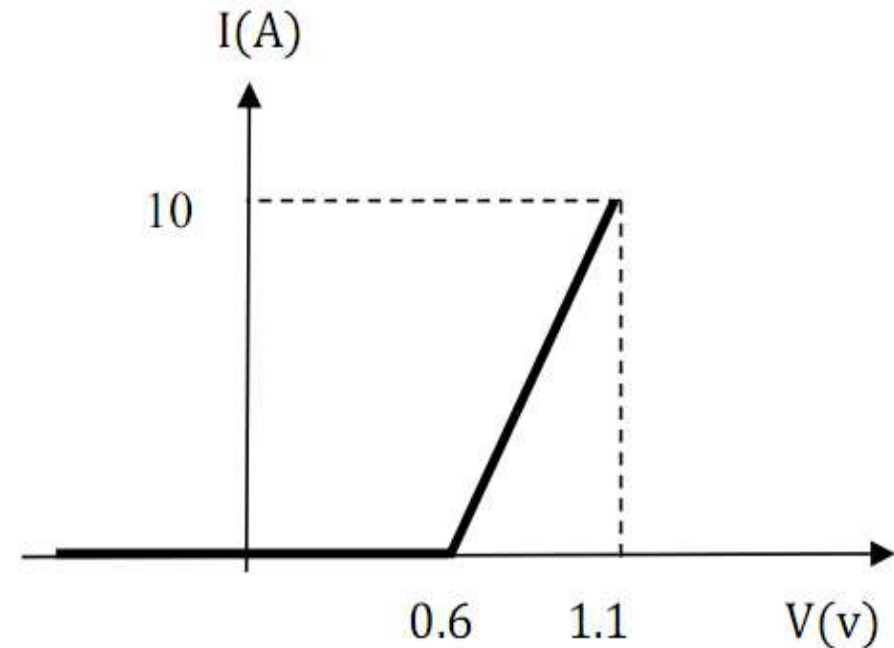
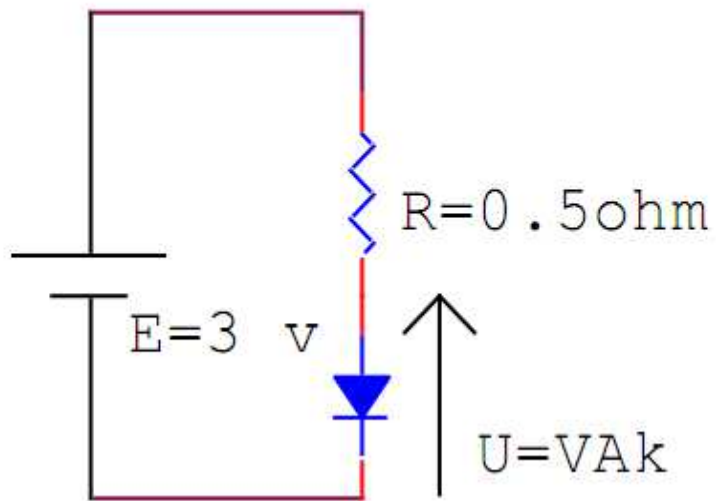
Faire deux cas (cas où la diode est parfaite où sa tension de seuil est 0,7 V); et cas où la diode est idéale)



Exercice 1:

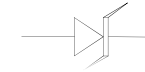
Afin de redresser la tension $e(t) = V_M \sin(\omega t)$, on utilise une diode au silicium de tension de seuil égale à 0,7V du circuit de la figure ci-dessus. Représenter la tension $V'(t)$ pour $V_M = 10V$, $V_M = 1V$, $V_M = 0,3V$. Pour $V_M = 0,3V$ quel est l'état de la diode.

Exercice 2:



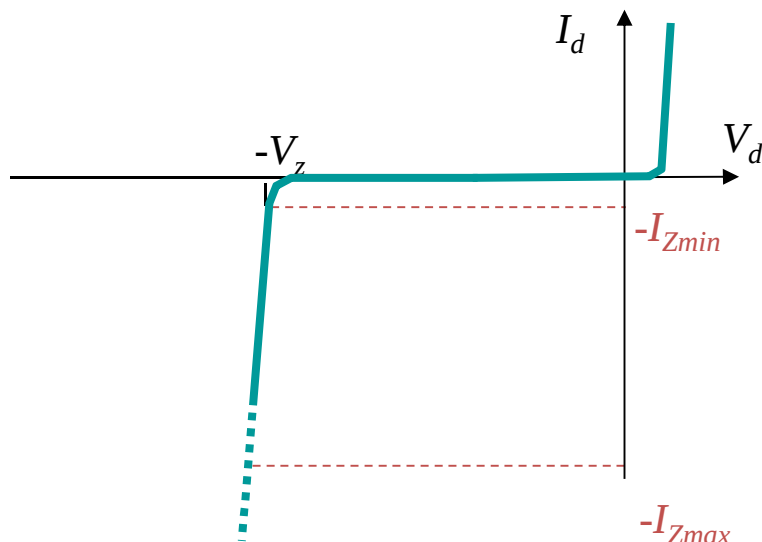
- Quel est le schéma équivalent de la diode définie par sa caractéristique $I = f(V_{AK})$
- Que vaut la tension U .
- Quelle est la puissance dissipée dans la diode.

6. Diode Zener



- ✉ Diode conçue pour **fonctionner** dans la **zone de claquage inverse**, caractérisée par une tension seuil négative ou « **tension Zener** » (V_Z)
- ✉ Très forte variation de courant pour une très faible variation de tension
- ✉ L'effet Zener a été découvert par Clarence ZENER (1905-1993)

■ Caractéristiques



V_Z : tension Zener (par définition: $V_Z > 0$)

I_{Zmin} : courant minimal (en valeur absolue) au delà duquel commence le domaine linéaire “Zener”

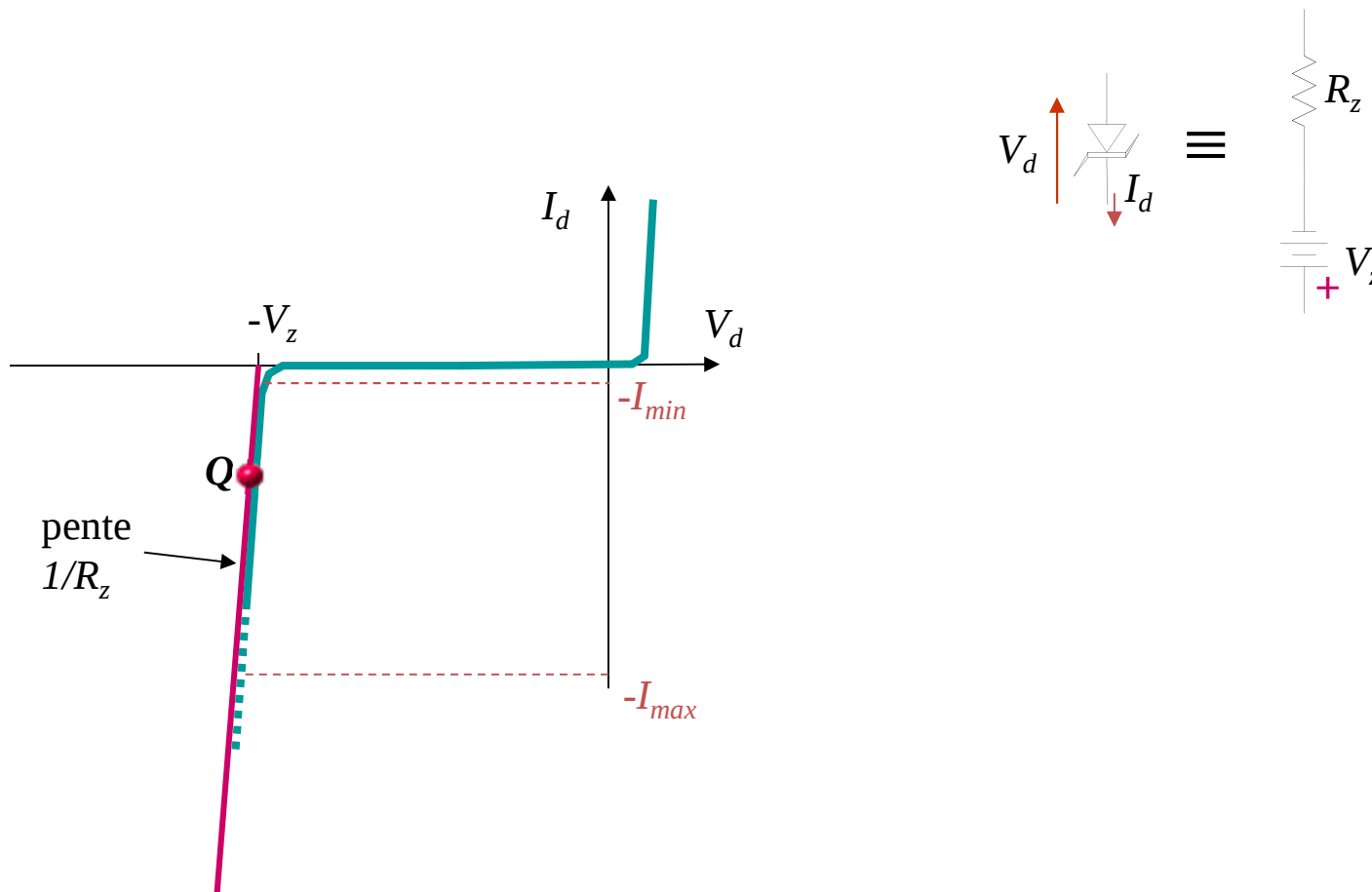
I_{Zmax} : courant max. supporté par la diode
(puissance max: $P_{max} \sim V_Z I_{Zmax}$)

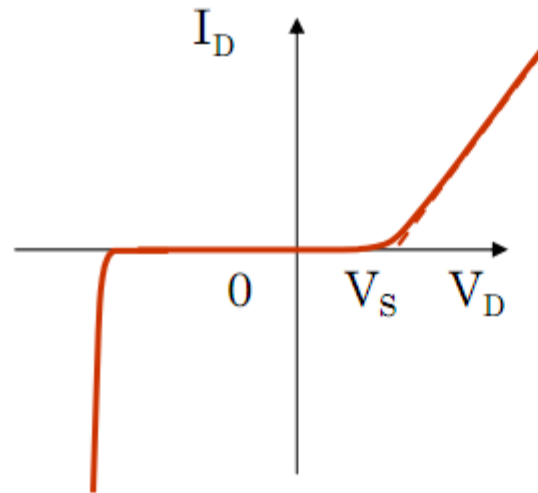
Ordre de grandeur : $V_Z \sim 1-100 \text{ V}$, $I_{min} \sim 0,01- 0,1 \text{ mA}$, $P_{max} \leftrightarrow$ régime de fonctionnement

■ schémas équivalents

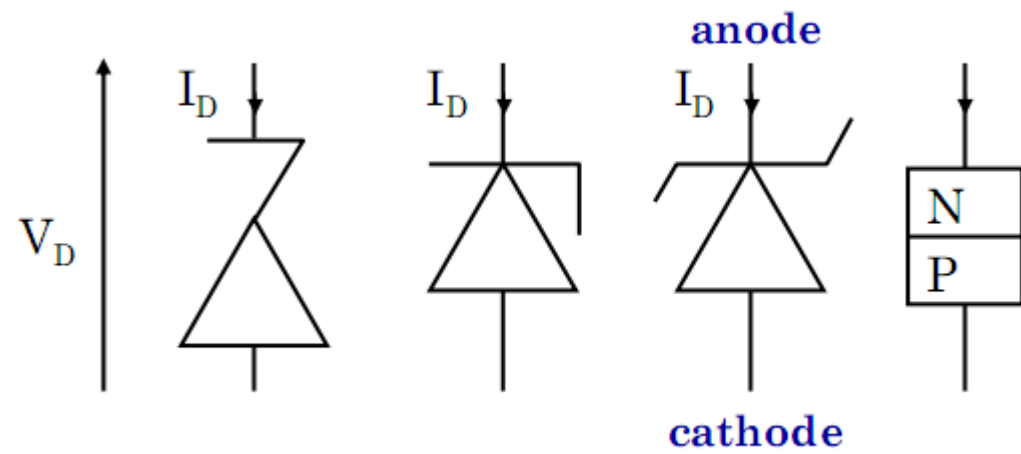
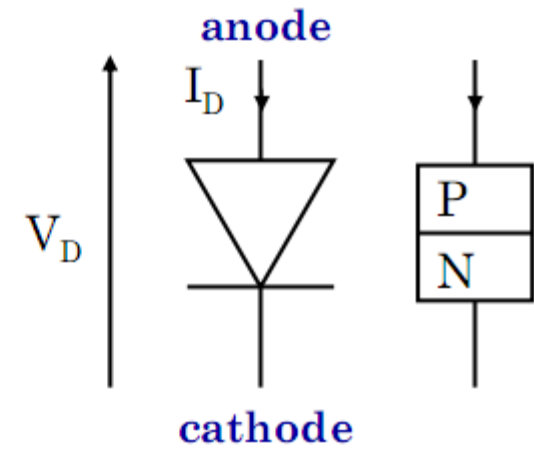
hyp : $Q \in$ domaine Zener

⇒ *Modèle statique :*

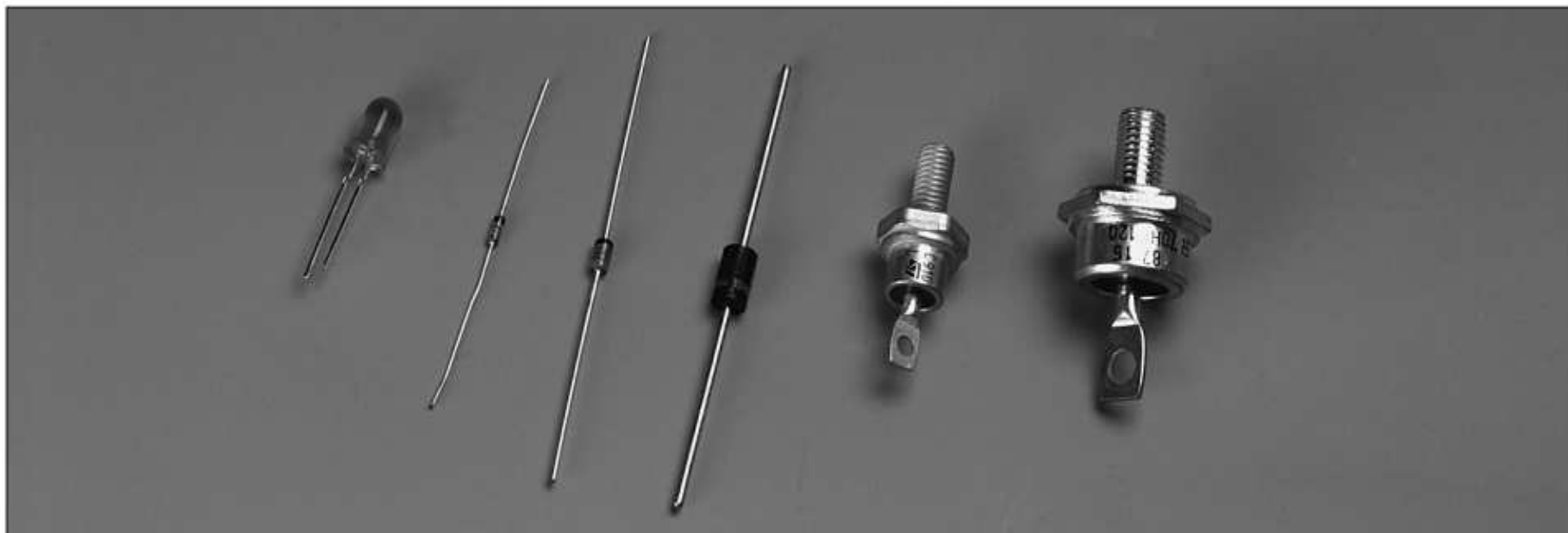




diode PN



diode zener



Jeu de diodes : DEL, diodes Zéner, diodes de redressement.