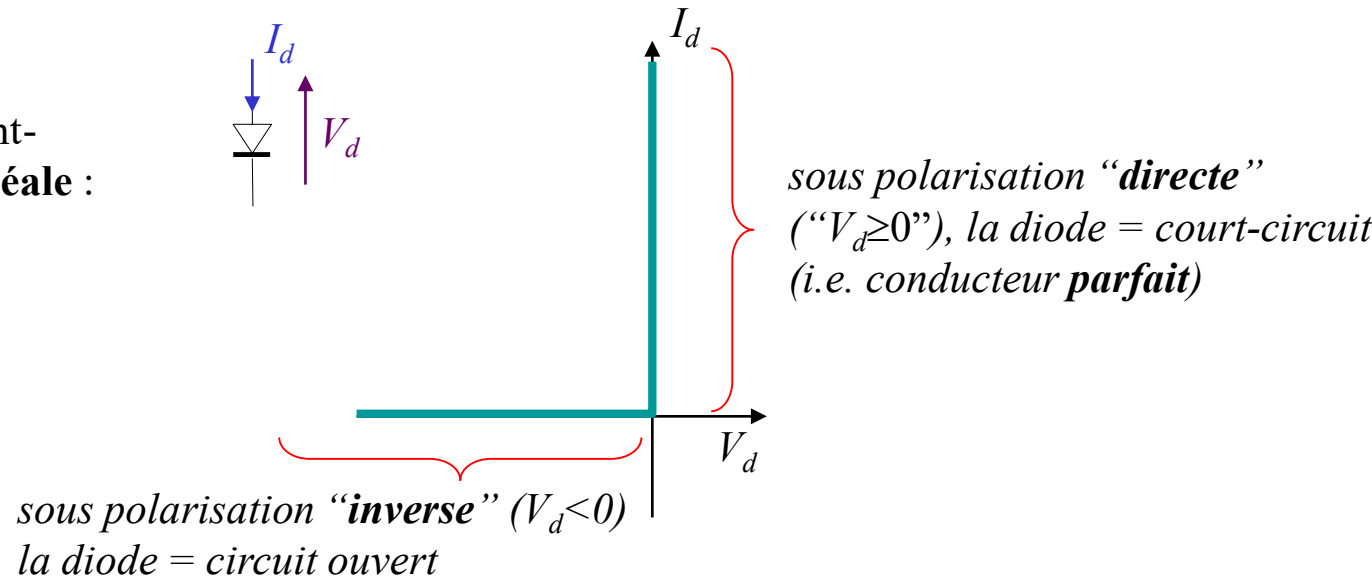


2.1 Définition

- Caractéristique courant-tension d'une **diode idéale** :



✉ Ce type de composant est utile pour réaliser des **fonctions électroniques** telles que le redressement d'une tension, la mise en forme des signaux (écrêtage, ...).

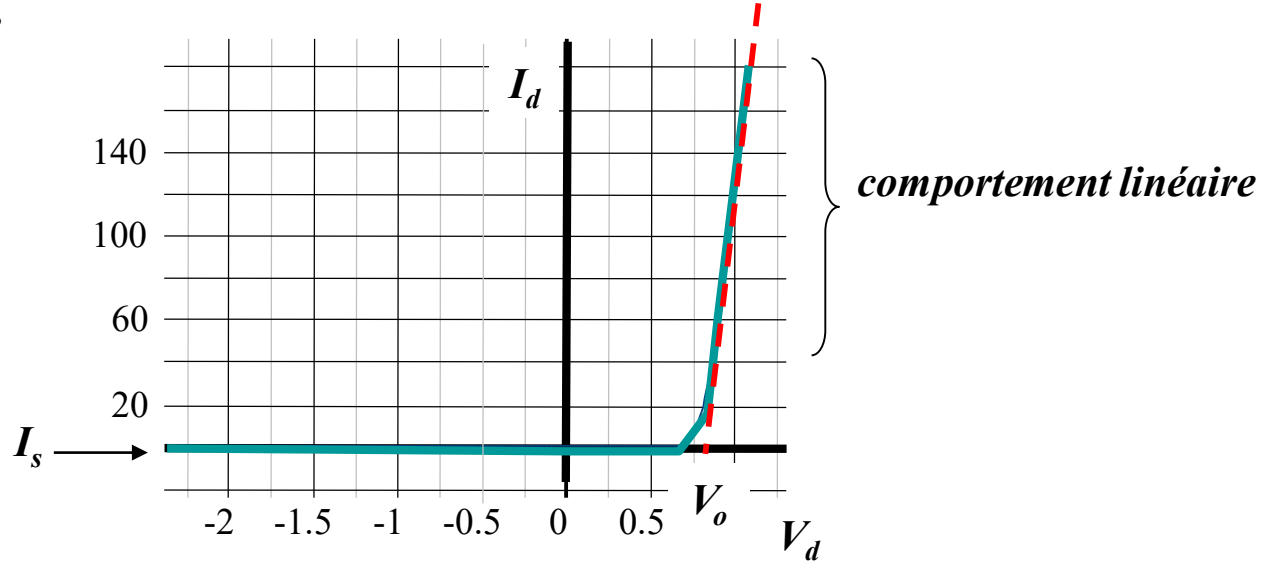
✉ La diode (même idéale) est un composant **non-linéaire**

✉ **Aujourd'hui** la **majorité** des diodes sont faites à partir de matériaux **semiconducteurs** (jonction PN ou diode Schottky, diode qui a un seuil de tension directe très bas et un temps de commutation très court, ceci permet la détection des signaux HF faibles et hyperfréquences)

2.2 Caractéristiques d'une diode réelle à base de Silicium

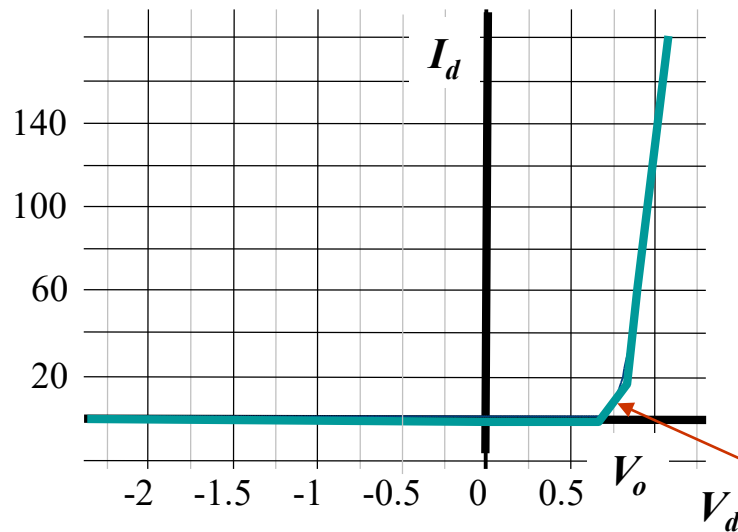
hyp: régime statique

(tension et courant indépendants du temps)



- 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**” $\sim V_o$)



■ **Zone « du coude »** : $V_d \in [0, \sim V_o]$: augmentation **exponentielle** du courant

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

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

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

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

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

I_s = *courant inverse*

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

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

✉ $V_T(300\text{K}) = 26 \text{ mV}$

Limites de fonctionnement :

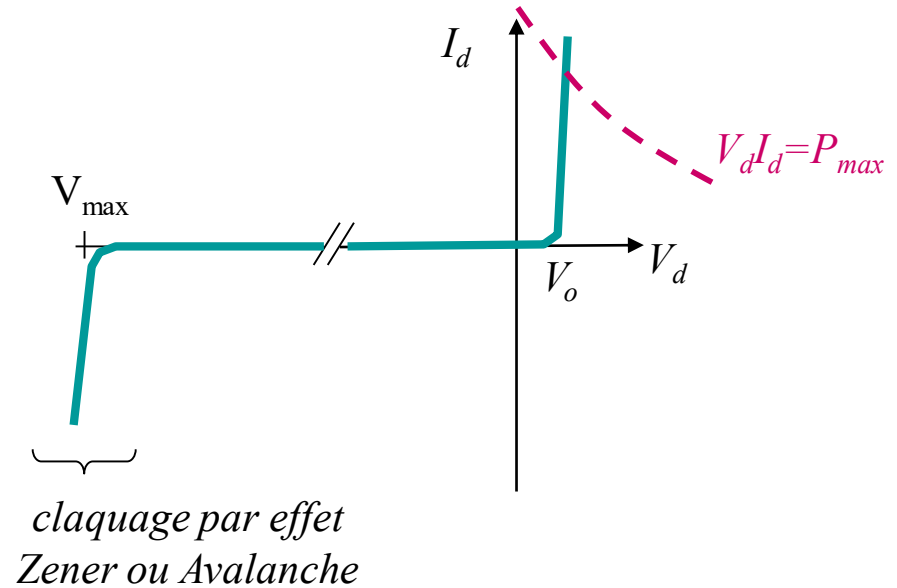
■ Zone de claquage inverse

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)



■ Limitation en puissance

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

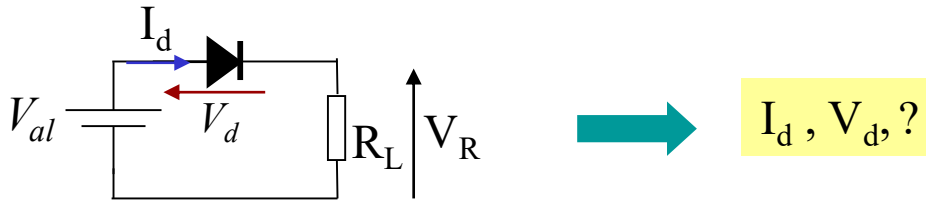
■ **Influence de T** : diode **bloquée** : I_d **double** tous les 10°C (diode en Si)

diode **passante** : V_d (à I_d constant) diminue de $\sim 2\text{mV}/^\circ\text{C}$

2.3 Diode dans un circuit et droite de charge

2.3.1 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**

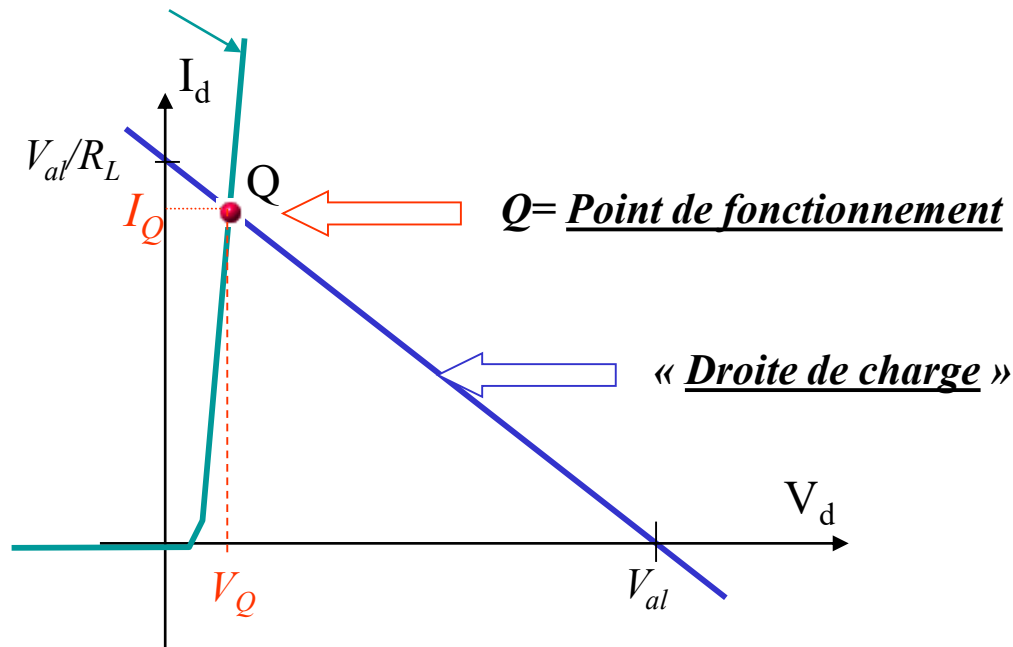
↓ I_d et V_d sont sur la **caractéristique $I(V)$** du composant

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

2.3.2 Droite de charge

■ Loi de Kirchoff : $\cdots \rightarrow I_d = \frac{V_{al} - V_d}{R_L}$ = **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**.

2.4 Modèles Statiques à segments linéaires \leftrightarrow *hyp*: I_d, V_d constants

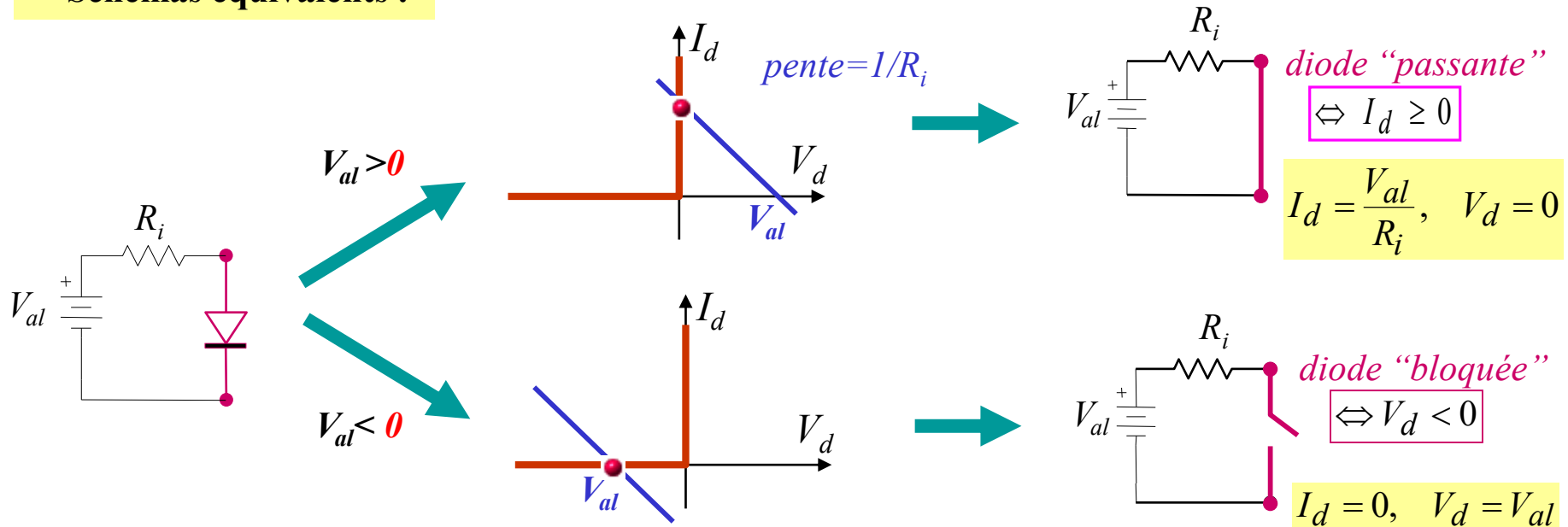
2.4.1. “Première” approximation: Diode « idéale »

\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

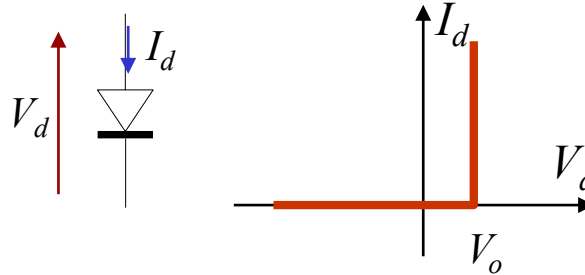


■ Schémas équivalents :



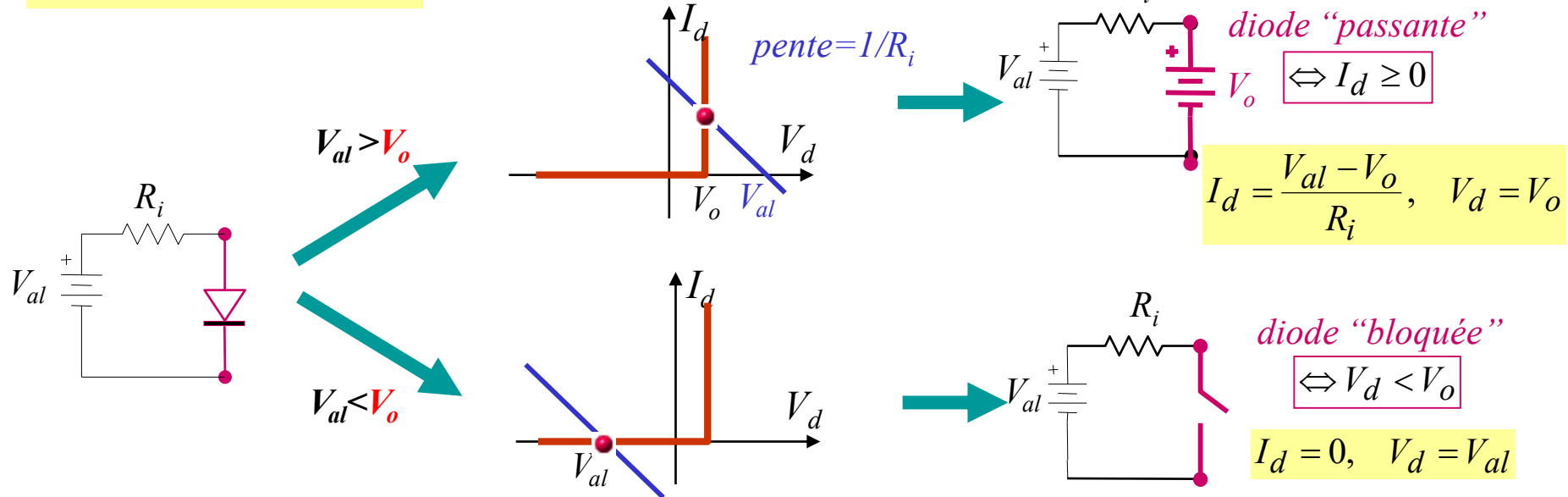
2.4.2 Seconde approximation

- 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



2.4.3 3^{ième} Approximation

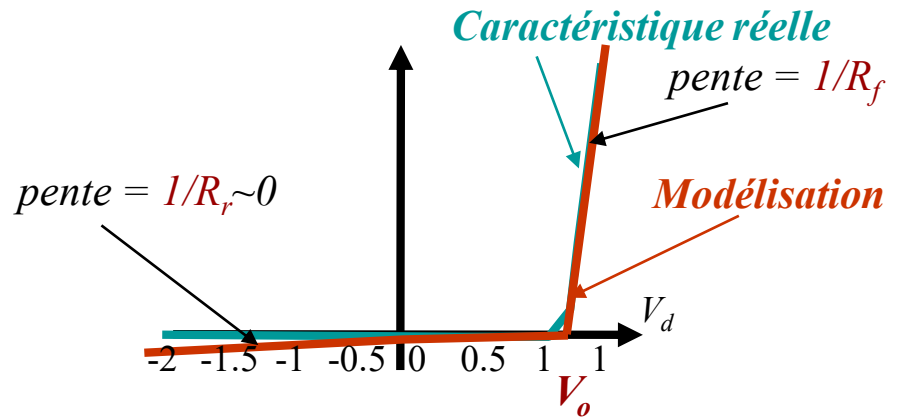
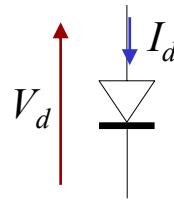
- tension seuil V_o non nulle
- résistance directe R_f non nulle (F=Forward, = sens direct)
- $V_d < 0$: résistance R_r finie (R=Reverse, = sens bloqué ou indirecte)

Pour une diode au silicium,

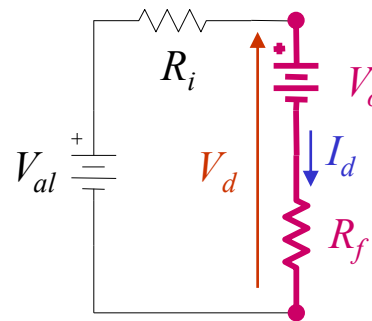
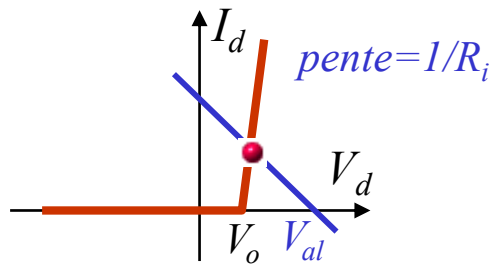
☒ $V_o = 0,6-0,7V$,

☒ $R_f \sim q.q. 10\Omega$, $R_r \gg M\Omega$,

■ Schémas équivalents



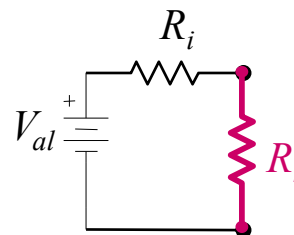
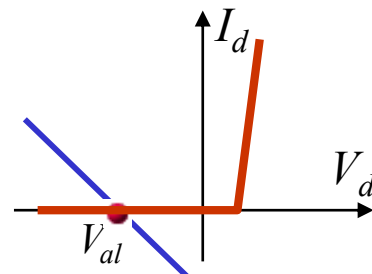
schémas équivalents :



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.
- 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).

2.4.4 Calcul du point de fonctionnement via l'utilisation des **schémas équivalents** :

Problème: le **schéma dépend de l'état** (passante ou bloquée) de la diode.

Démarche :

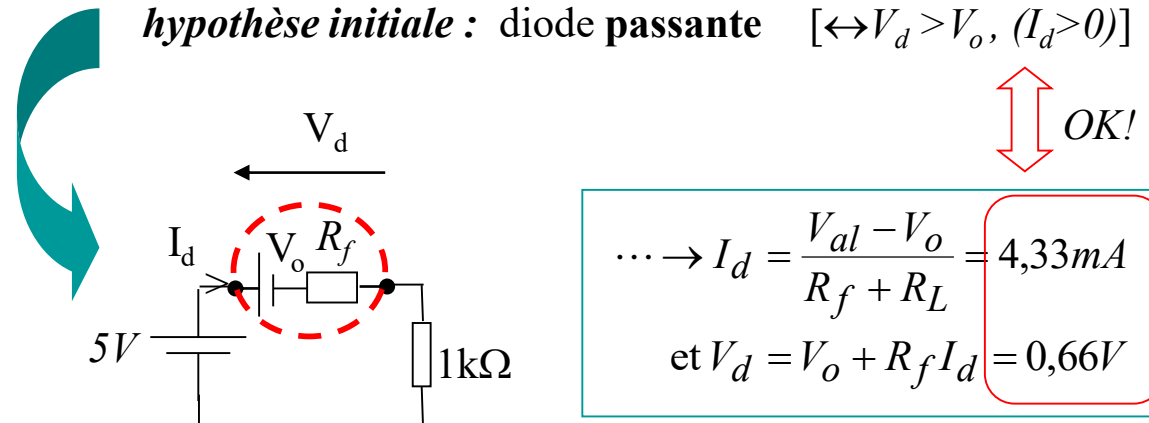
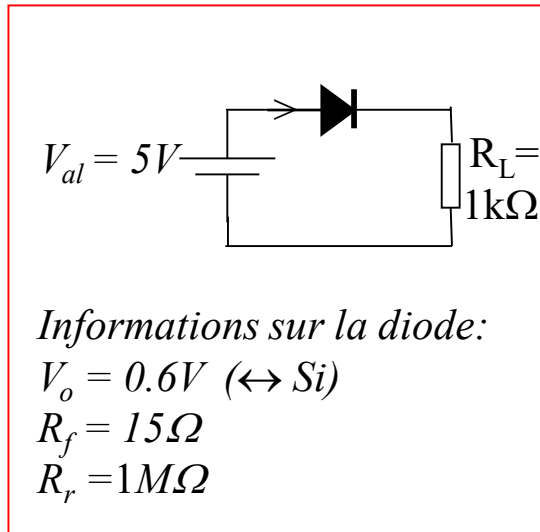
- a) **choisir** un **schéma** (ou état) en vous aidant de la droite de charge
- b) **trouver** le **point de fonctionnement Q** de la diode
- c) **vérifier** la **cohérence** du résultat avec l'**hypothèse** de départ

S'il y a **contradiction**, il y a eu erreur sur l'état supposé de la diode.
Recommencer le calcul avec l'**autre schéma**.

Démarche pour étudiants confirmés...

Un coup d'œil attentif suffit pour trouver l'état (passant/bloqué) de la diode !
Le calcul de Q se fait tout de suite avec le bon schéma équivalent...

Exemple : Calcul de Q du circuit suivant, en utilisant la **3^{ième}** approximation pour la diode.



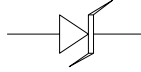
En partant de l'hypothèse d'une diode bloquée: $\rightarrow V_d \approx 5V > V_o \dots$

En utilisant la **2^{ième}** approximation: ($R_f = 0, R_r = \infty$) $\dots \rightarrow I_d = 4,4mA$ et $V_d = 0,6V$

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

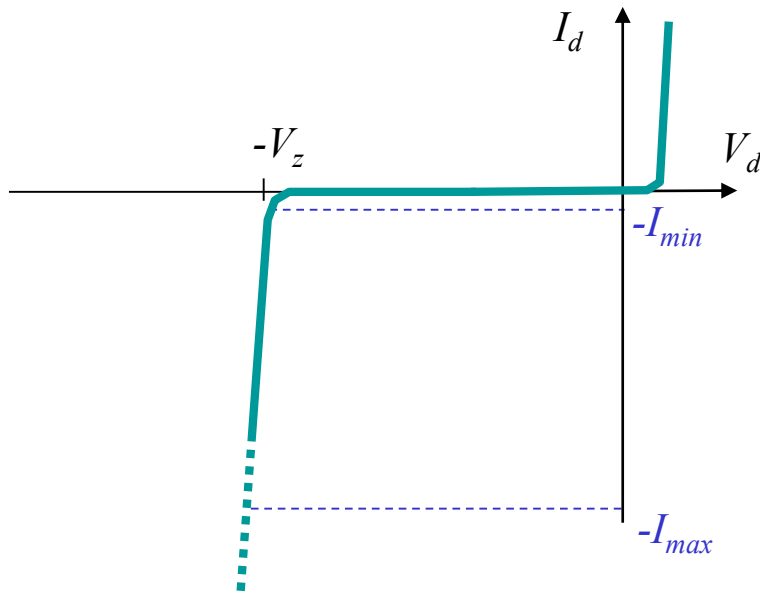
2.6 Quelques diodes spéciales

2.6.1 Diode Zener



☒ Diode conçue pour **fonctionner** dans la **zone de claquage inverse**, caractérisée par une tension seuil négative ou « **tension Zener** » (V_Z)

■ Caractéristiques



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

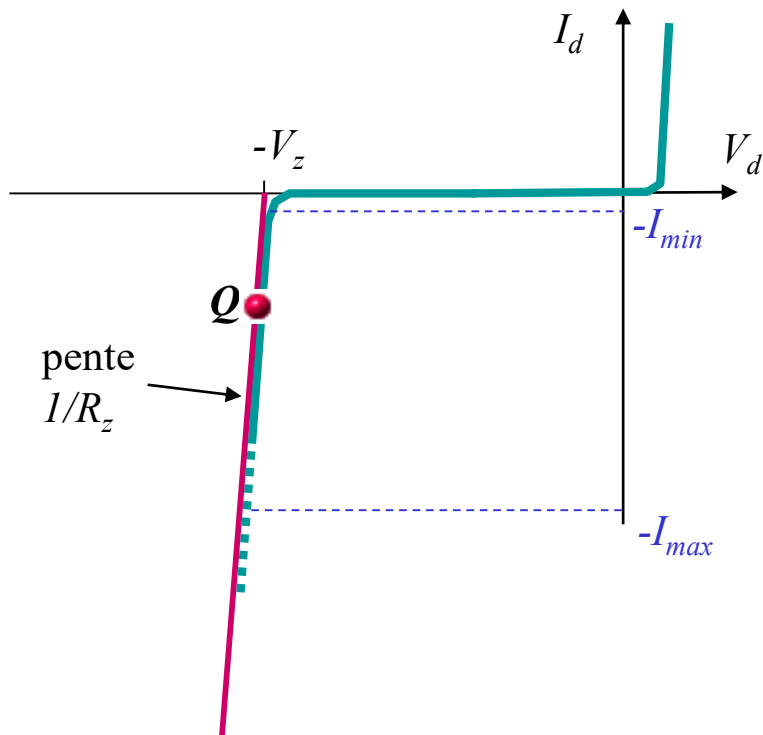
I_{min} : courant minimal (en valeur absolue) au delà duquel commence le domaine linéaire “Zener”

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

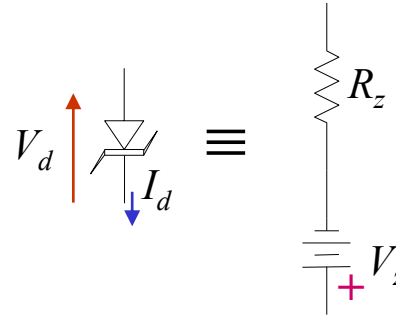
Ordre de grandeur : $V_Z \sim 1-100\text{ V}$, $I_{min} \sim 0,01-0,1\text{ mA}$, $P_{max} \leftrightarrow$ régime de fonctionnement

■ schémas équivalents

hyp : $Q \in \text{domaine Zener}$



↓ *Modèle statique :*



↓ *Modèle dynamique, basses fréquences, faibles signaux :*

$$r_z = \left[\frac{dI_d}{dV_d} \Big|_Q \right]^{-1} \cong R_z \quad \text{pour } |I_d| > I_{min}$$

2.6.2 Diode électroluminescente (ou LED)

■ **Principe** : La **circulation du courant** provoque la luminescence

↓ Fonctionnement sous **polarisation directe** ($V > V_o$)

↓ L'intensité lumineuse \propto courant électrique I_d

✉ Ne marche pas avec le Si (cf. cours Capteurs)

↙ $V_o \neq 0.7V$! (AsGa: $\sim 1.3V$)