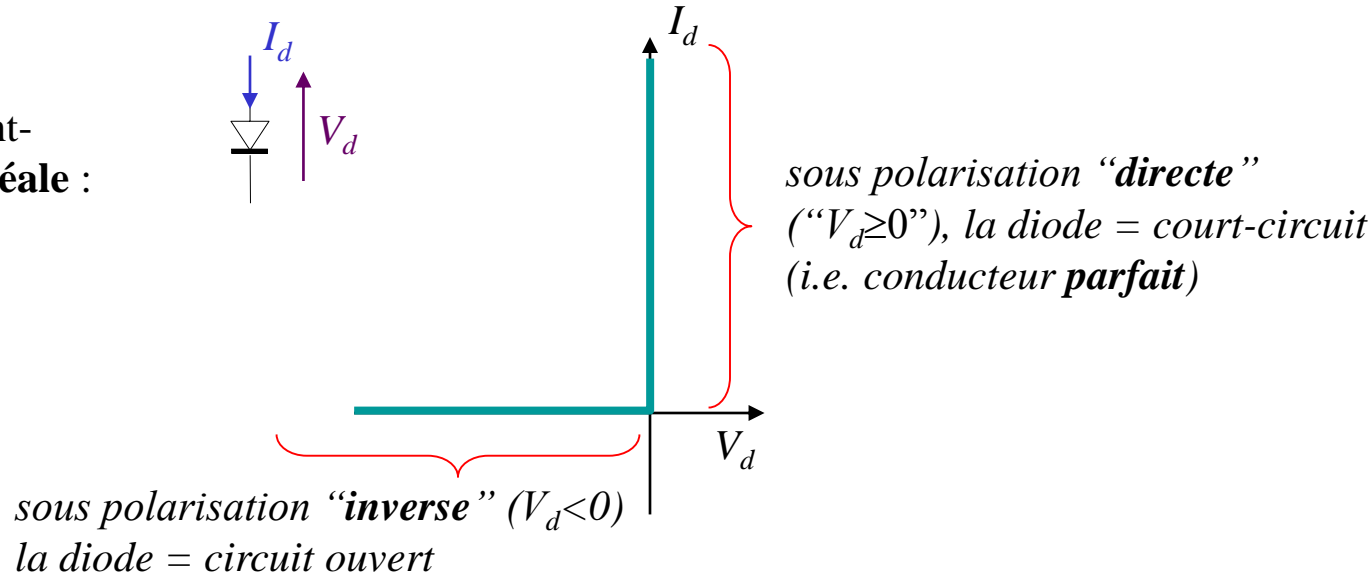


## 2.1 Définition

- 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, ...).

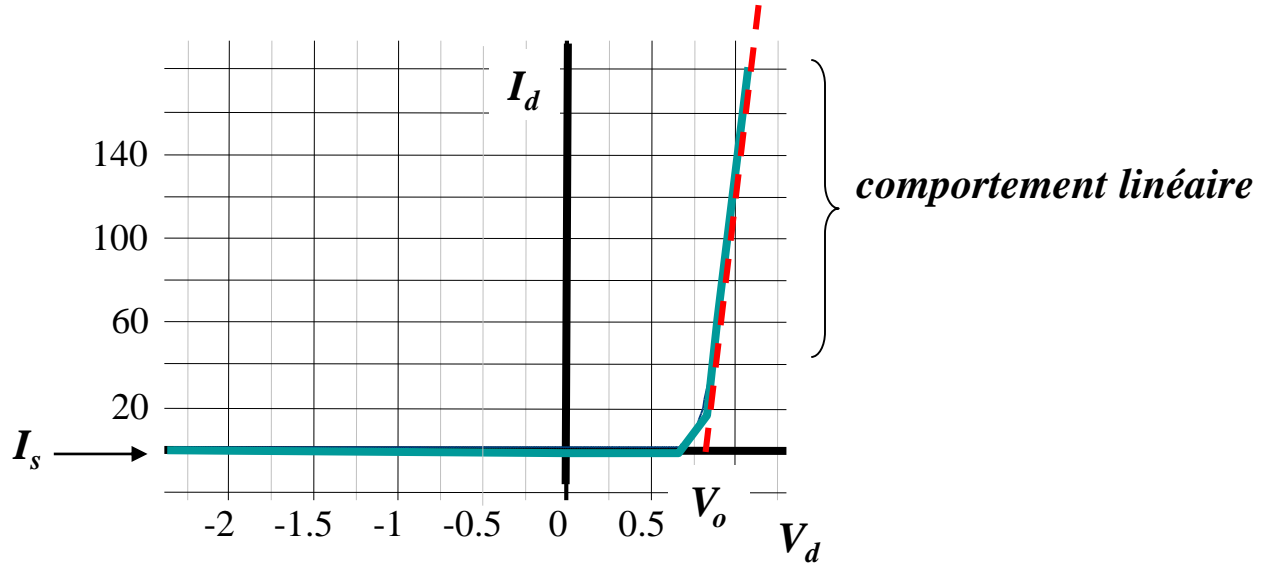
✉ La diode (même idéale) est un composant **non-linéaire**

✉ **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)

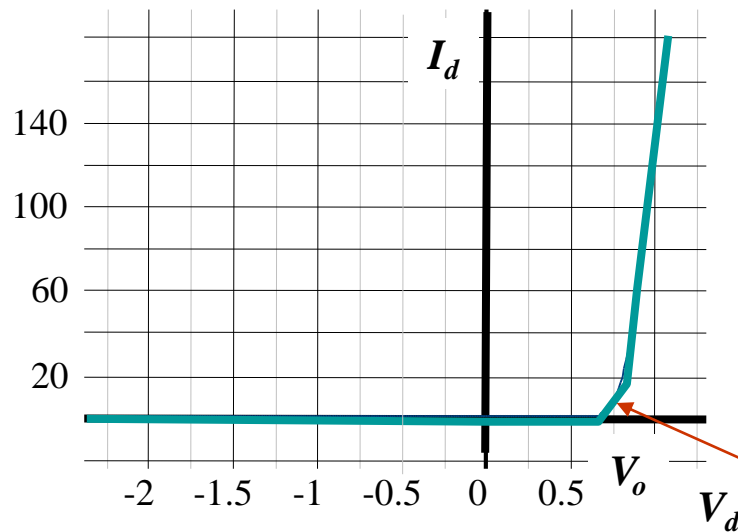
## 2.2 Caractéristiques d'une diode réelle à base de Silicium

*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**

✉  $V_T(300K) = 26 \text{ mV}$

## Limites de fonctionnement :

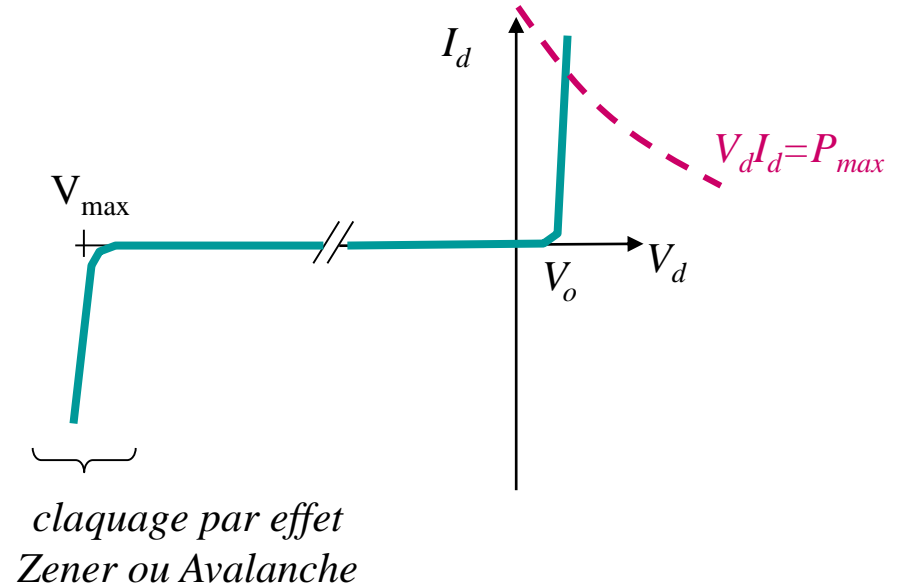
### ■ Zone de claquage inverse

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  $V_d I_d = P_{max}$

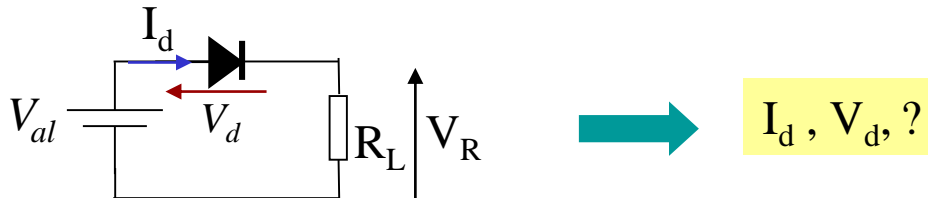
■ **Influence de T :** diode **bloquée** :  $I_d$  **double** tous les 10°C (diode en Si)

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**

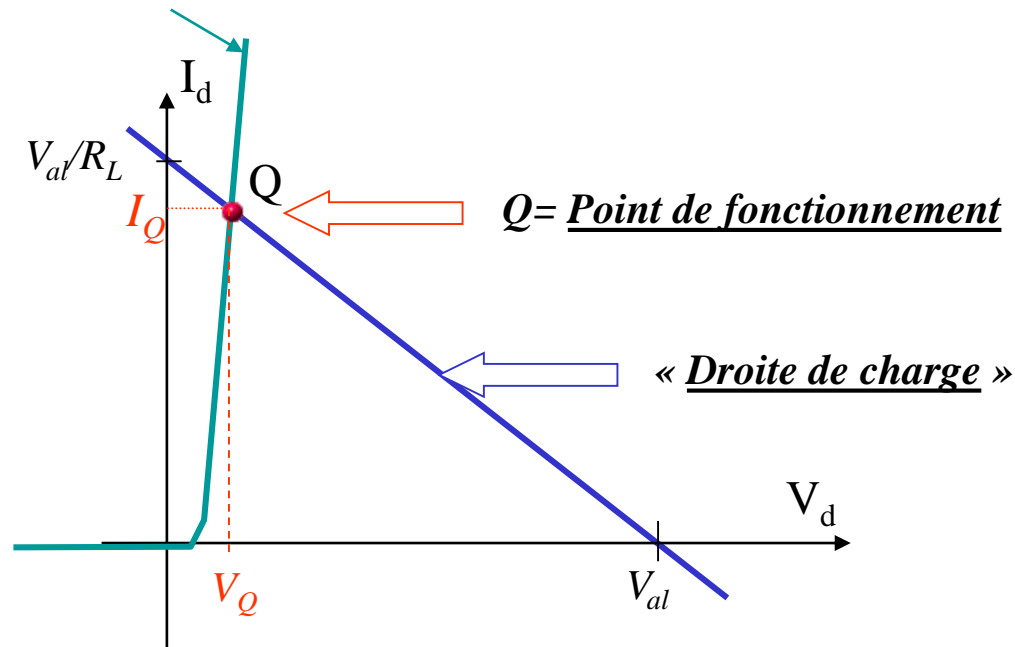
↓  $I_d$  et  $V_d$  sont sur la **caractéristique  $I(V)$**  du composant

↓ 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

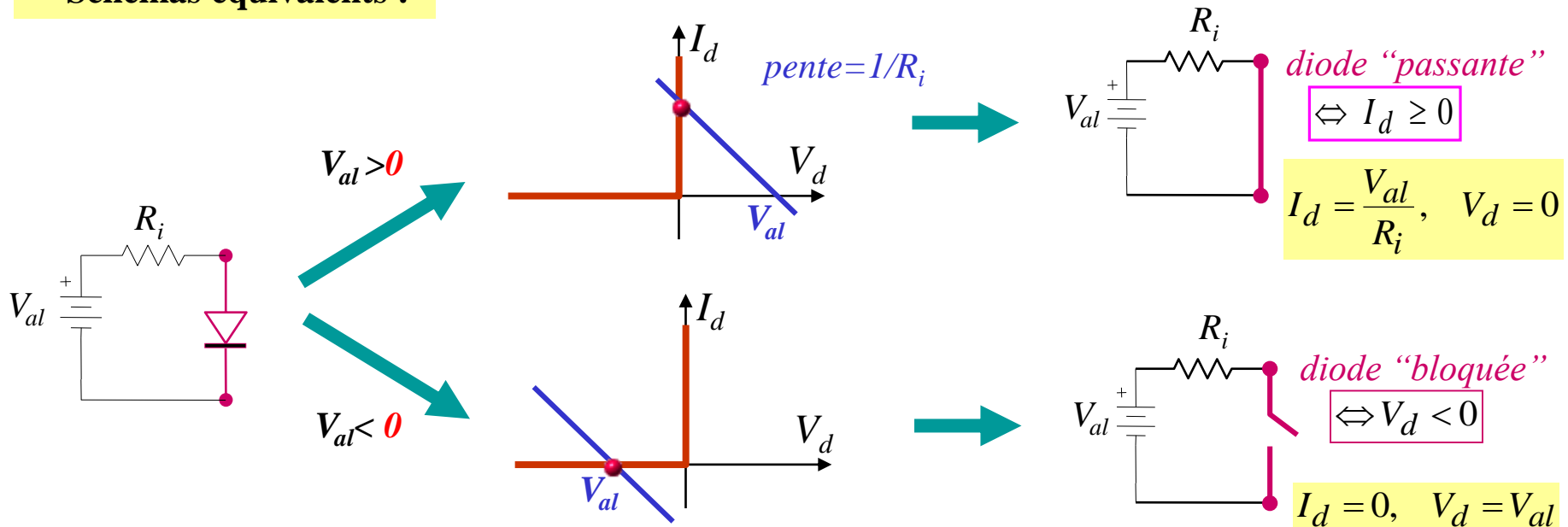
### 2.4.1. “Première” approximation: Diode « idéale »

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

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

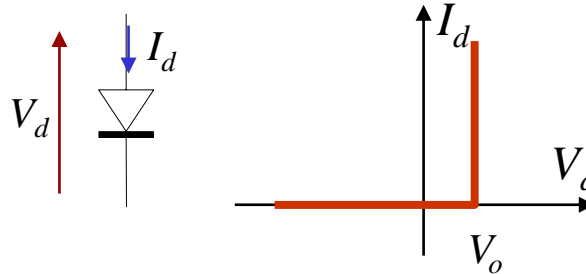


#### ■ Schémas équivalents :



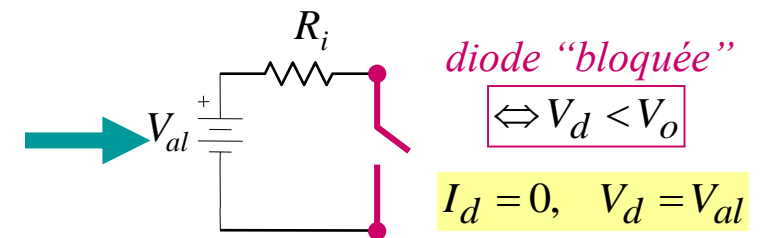
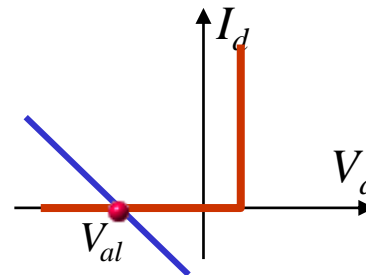
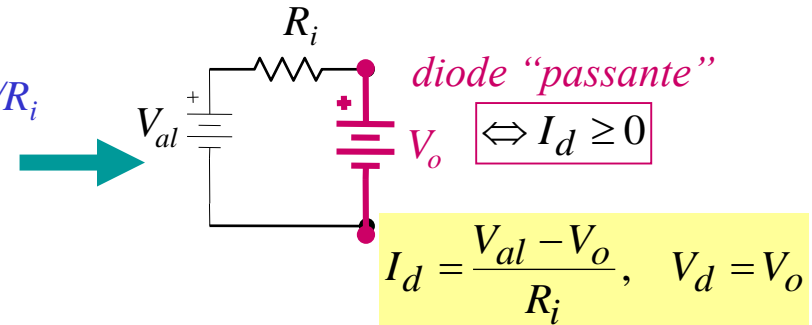
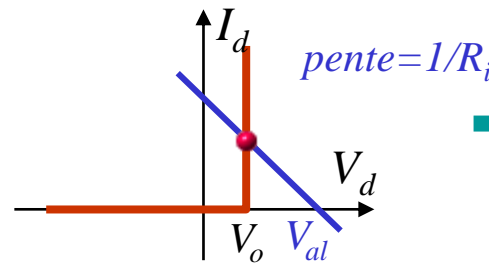
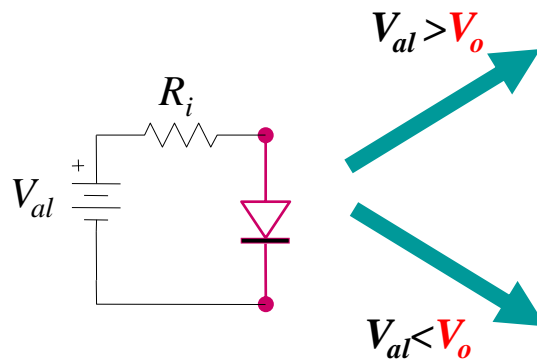
## 2.4.2 Seconde approximation

- 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<sup>ème</sup> Approximation

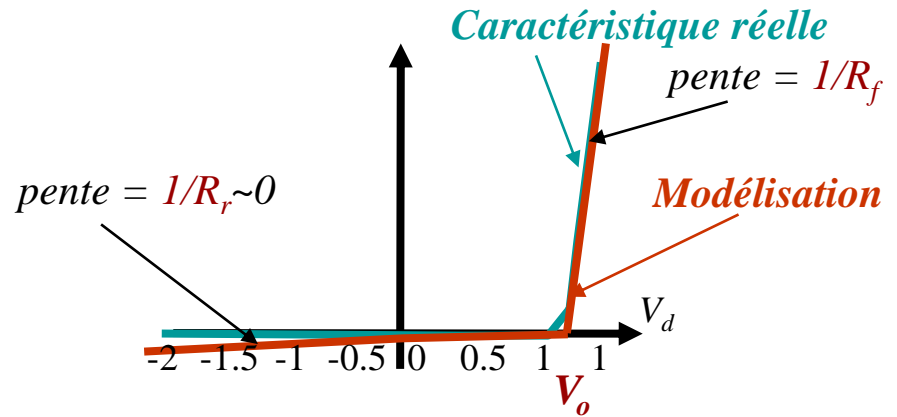
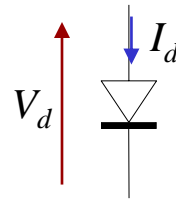
- tension seuil  $V_o$  non nulle
- résistance directe  $R_f$  non nulle (F=Forward, = sens direct)
- $V_d < 0$ : résistance  $R_r$  finie (R=Reverse, = sens bloqué ou indirecte)

Pour une diode au silicium,

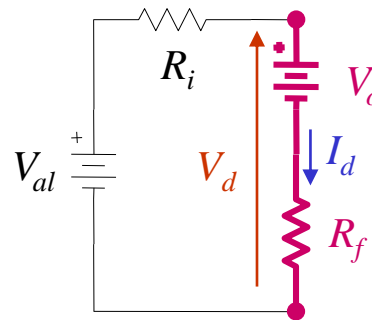
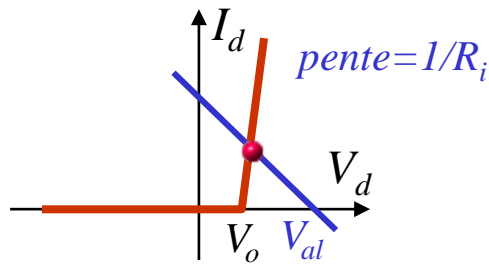
☒  $V_o = 0,6-0,7V$ ,

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

#### ■ Schémas équivalents



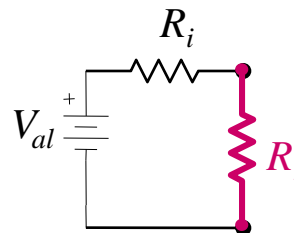
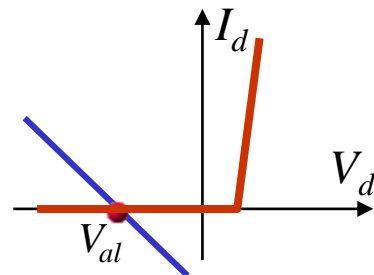
*schémas équivalents :*



*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 :**

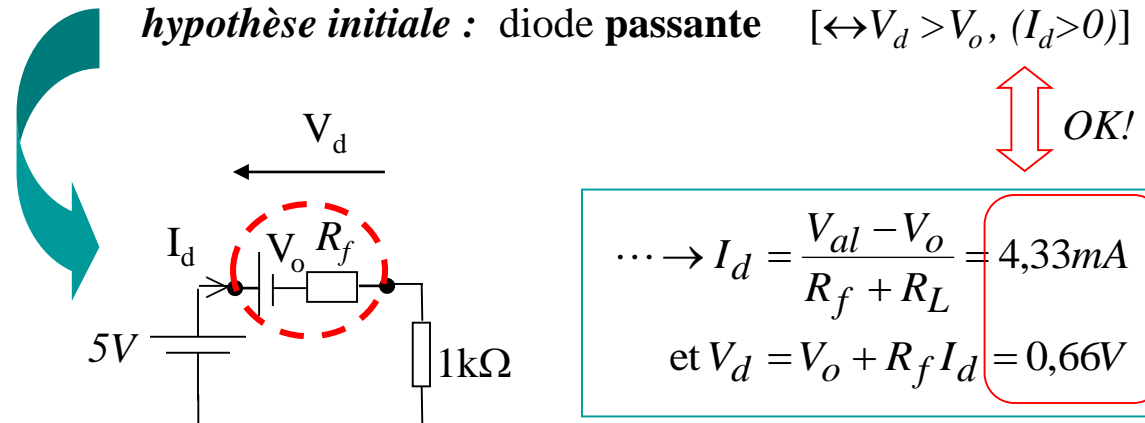
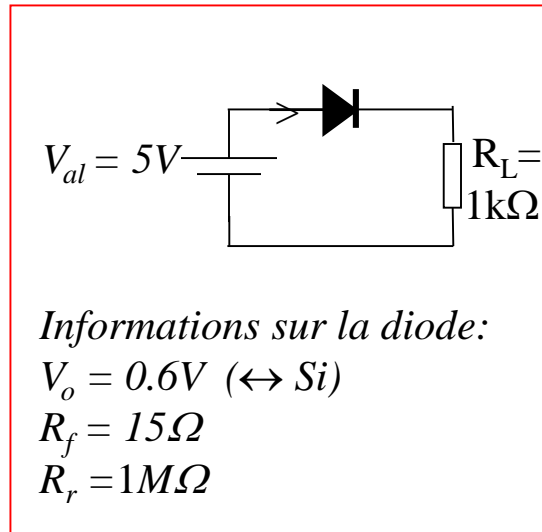
- a) **choisir** un **schéma** (ou état) en vous aidant de la droite de charge
- b) **trouver** le **point de fonctionnement Q** de la diode
- c) **vérifier** la **cohérence** du résultat avec l'**hypothèse** de départ

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<sup>ième</sup>** approximation pour la diode.



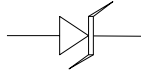
En partant de l'hypothèse d'une diode bloquée:  $\rightarrow V_d \approx 5V > V_o \dots$

En utilisant la **2<sup>ième</sup> approximation**: ( $R_f = 0, R_r = \infty$ )  $\dots \rightarrow I_d = 4,4mA$  et  $V_d = 0,6V$

→ La 2<sup>ième</sup> approx. est souvent suffisante pour une étude **qualitative** du fonctionnement d'un circuit

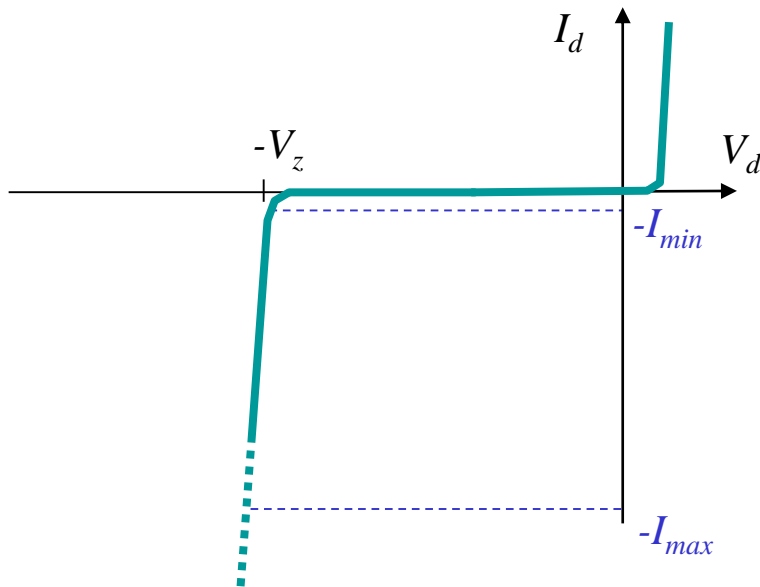
## 2.6 Quelques diodes spéciales

### 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:  $V_Z > 0$ )

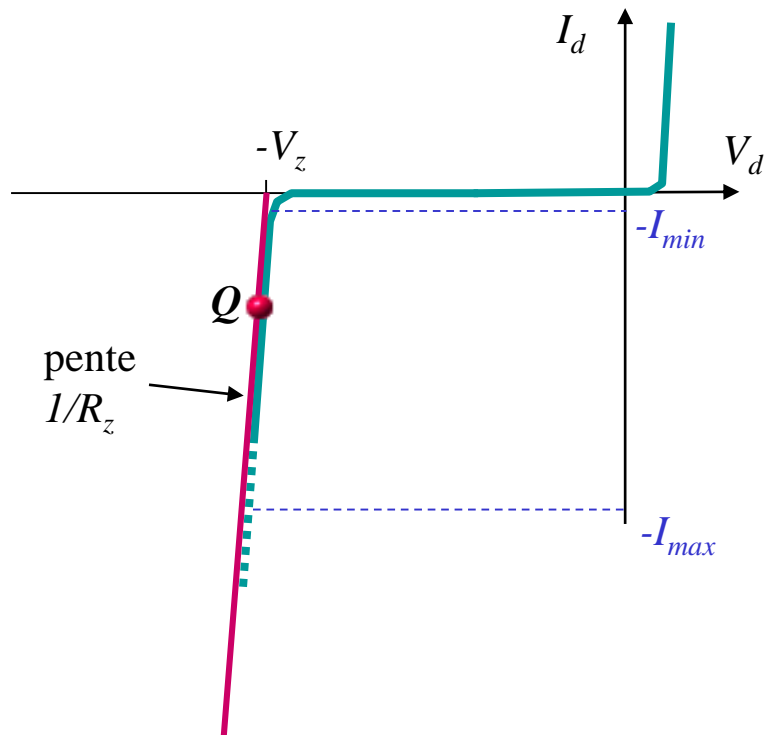
$I_{min}$  : courant minimal (en valeur absolue) au delà duquel commence le domaine linéaire “Zener”

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

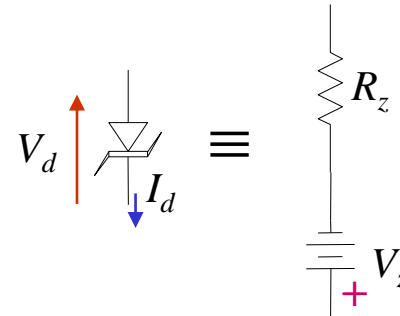
*Ordre de grandeur :  $V_Z \sim 1-100$  V,  $I_{min} \sim 0,01-0,1$  mA,  $P_{max} \leftrightarrow$  régime de fonctionnement*

## ■ 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:  $\sim 1.3V$ )