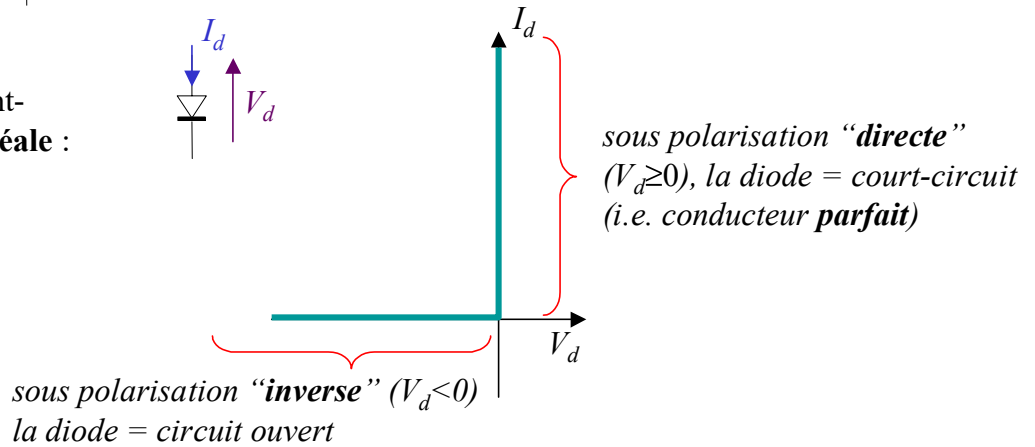


2. Les Diodes



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, ...).

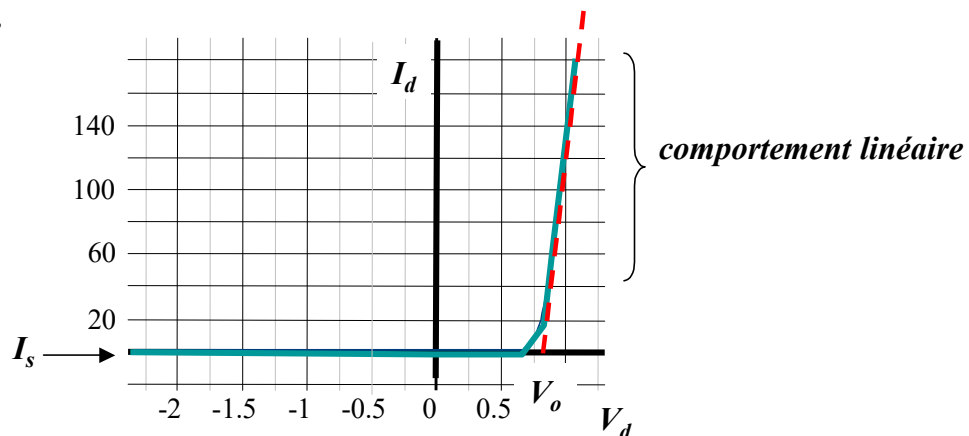
☞ La diode (même idéale) est un composant **non-linéaire**

☞ **Aujourd'hui** la **majorité** des diodes sont faites à partir de matériaux **semiconducteurs** (jonction PN ou diode Schottky, cf cours Capteurs 1A et Option: Physique des dispositifs électrique 2A)

10

2.2 Caractéristiques d'une diode réelle à base de Silicium

hyp: régime statique
(tension et courant indépendants du temps)



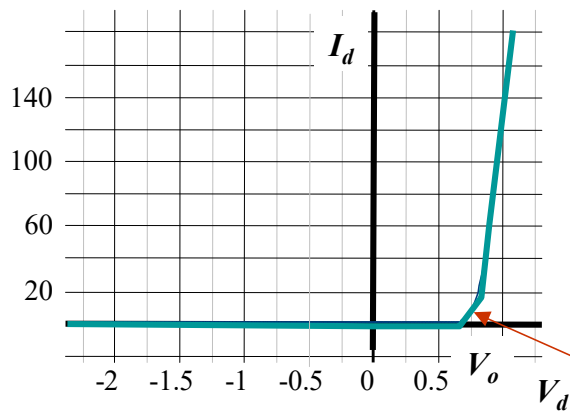
- Pour $V_d < 0$, la diode se comporte comme un **bon isolant** : $I_s \sim 1 \text{ pA} - 1 \mu\text{A}$,

- ➔ 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**" $\sim V_o$)

11



■ **Zone « du coude »** : $V_d \in [0, \sim V_0]$: augmentation **exponentielle** du courant

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

avec $1 \leq \eta \leq 2$ (facteur "d'idéalité")

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

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

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

$I_s =$ courant inverse

- ➔ le comportement est fortement **non-linéaire**
- ➔ forte **variation** avec la **température**

➔ $V_T (300K) = 26$ mV

12

Limites de fonctionnement :

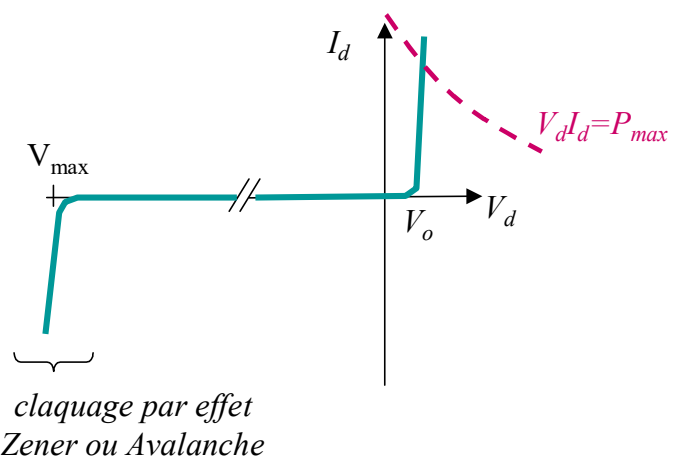
■ Zone de claquage inverse

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** : $I_d = I_s$ **double** tous les 10°C (diode en Si)

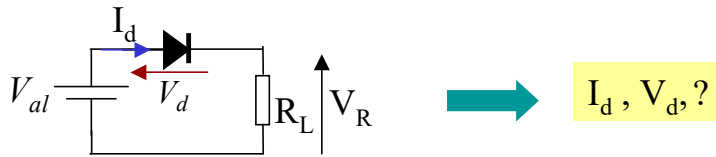
diode **passante** : V_d (à I_d constant) diminue de $\sim 2\text{mV}/^\circ\text{C}$

13

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

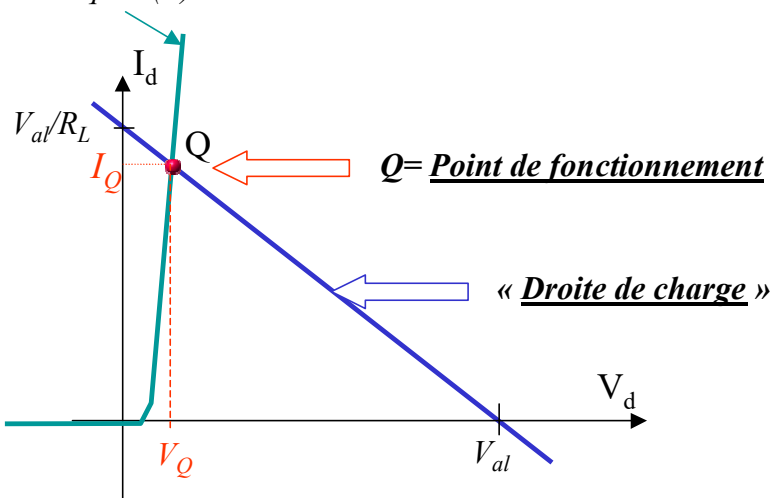
⇒ Au **point de fonctionnement** de la diode, (I_d, V_d) remplissent ces **deux** conditions

14

2.3.2 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**.

15

2.4 Modèles Statiques à segments linéaires ↔ hyp: I_d, V_d constants

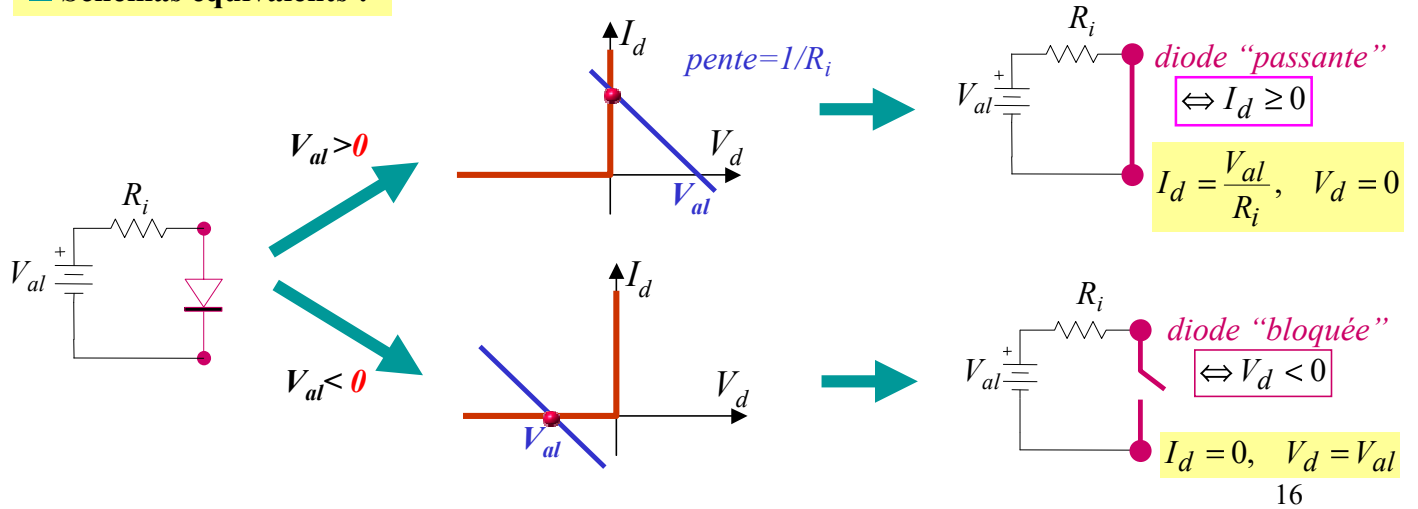
2.4.1. "Première" approximation: Diode « idéale »

↔ On néglige l'écart entre les caractéristiques réelle et idéale

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



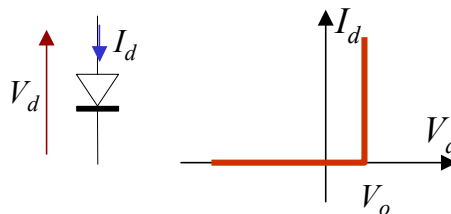
■ Schémas équivalents :



16

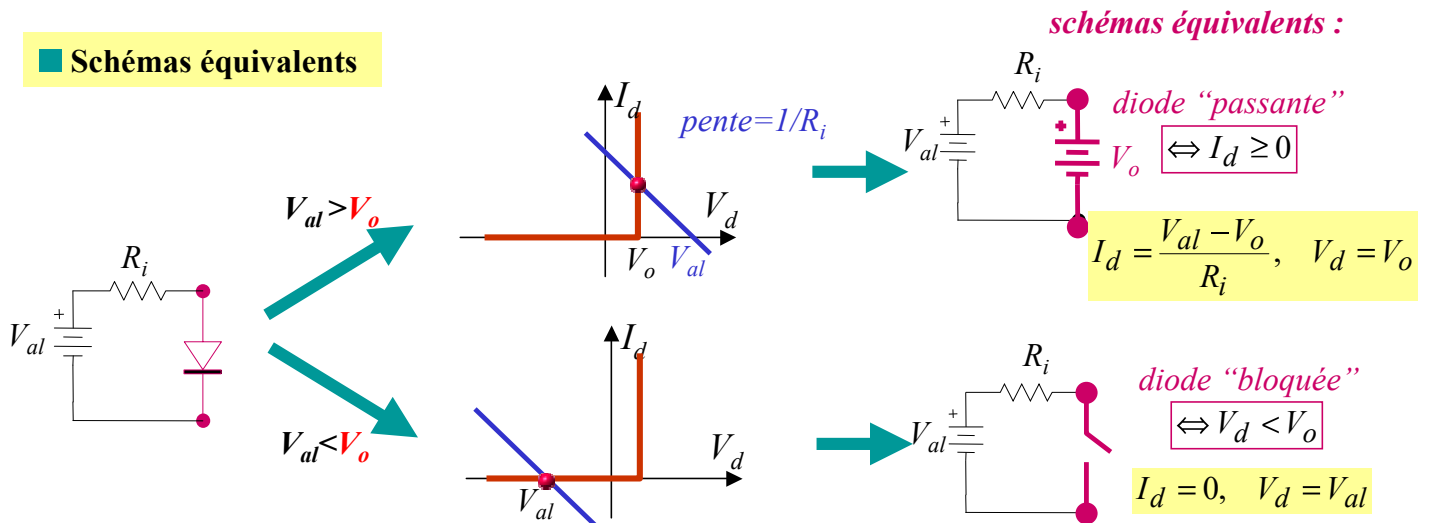
2.4.2 Seconde approximation

- 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

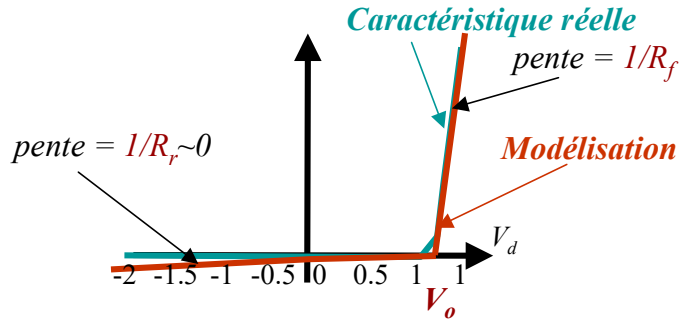
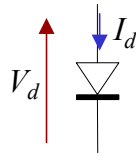
■ Schémas équivalents



17

2.4.3 3^{ème} Approximation

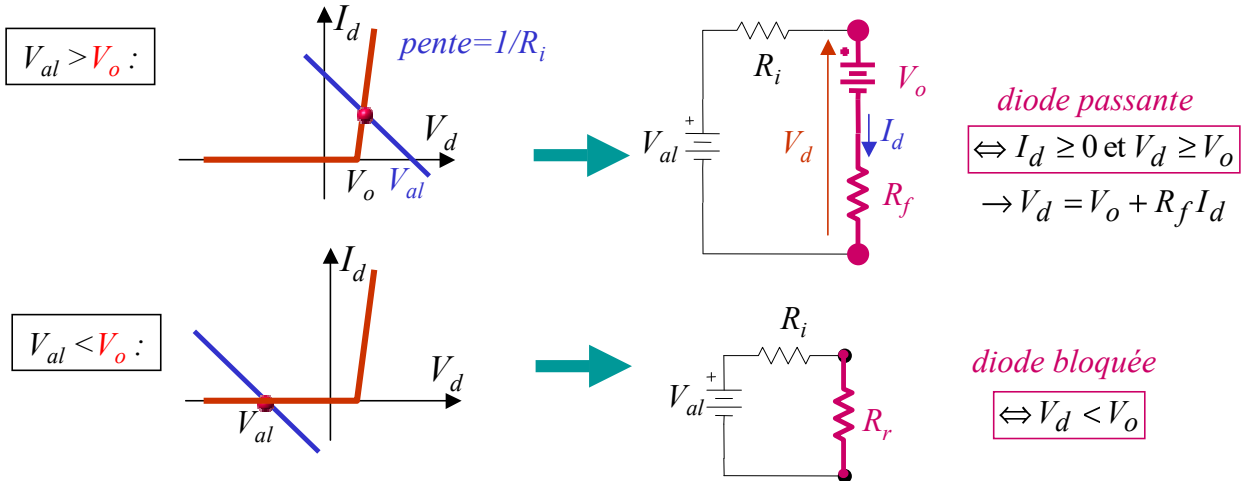
- tension seuil V_o non nulle
- résistance directe R_f non nulle
- $V_d < 0$: résistance R_r finie



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

■ Schémas équivalents

schémas équivalents :



18

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 (pour débutant...):

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

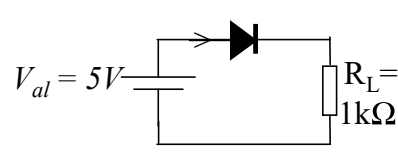
S'il y a **contradiction**, il y a eu erreur sur l'état supposé de la diode.
Recommencer le calcul avec l'autre schéma.

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...

20

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

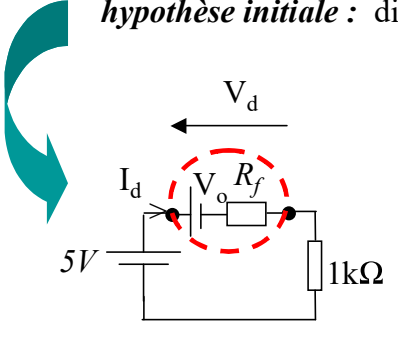


$V_{al} = 5V$

$R_L = 1k\Omega$

Informations sur la diode:
 $V_o = 0.6V$ ($\leftrightarrow Si$)
 $R_f = 15\Omega$
 $R_r = 1M\Omega$

hypothèse initiale : diode passante [$\leftrightarrow V_d > V_o, (I_d > 0)$]



... $\rightarrow I_d = \frac{V_{al} - V_o}{R_f + R_L} = 4,33mA$

et $V_d = V_o + R_f I_d = 0,66V$

OK!

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

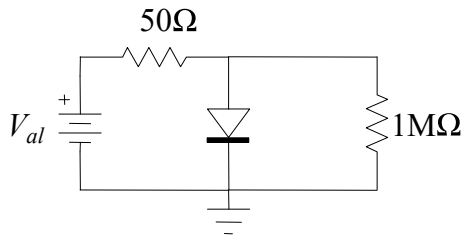
En utilisant la **2^{ème}** approximation: ($R_f = 0, R_r = \infty$) $\dots \rightarrow I_d = 4,4mA$ et $V_d = 0,6V$

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

21

Autres exemples :

1)



Caractéristiques des diodes :

$R_f = 30\Omega$, $V_o = 0.6V$, $I_s = 0$ et R_R infinie

Calcul de I_d et V_d

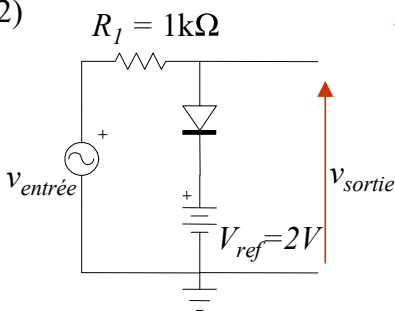
pour :

a) $V_{al} = -5V$

b) $V_{al} = 5V$

Conseil: simplifier le circuit d'abord avant de vous lancer dans des calculs

2)



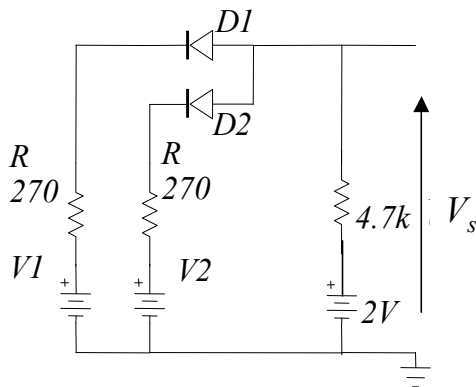
Etude du signal de sortie en fonction de l'amplitude du signal d'entrée :

• à fréquence nulle : $v_{entrée} = V_e$ (constant)

• avec $v_{entrée}$ signal basse fréquence telque le modèle statique reste valable (période du signal < temps de réponse de la diode ↔ pas d'effet "capacitif" ou)

22

3)



Caractéristiques des diodes :

$R_f = 30\Omega$, $V_o = 0.6V$, $I_s = 0$ et R_R infinie

• Déterminer V_s , V_{D1} et V_{D2} pour :

a) $V_1 = V_2 = 5V$

b) $V_1 = 5V$ $V_2 = 0V$

c) $V_1 = 0V$ $V_2 = 0V$

23

2.5 Comportement dynamique d'une diode

2.5.1 Prélude : Analyse statique / dynamique d'un circuit

L'Analyse statique

... se limite au calcul des **valeurs moyennes** des grandeurs électriques
(ou **composantes continues**, ou encore composantes statiques)

☞ = Analyse complète du circuit si seules des sources statiques sont présentes

L'Analyse dynamique

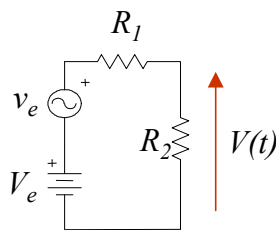
... ne concerne que les **composantes variables** des tensions et courants (ou "**signaux**" électriques, ou encore composantes alternatives (AC))

☞ n'a d'intérêt que s'il y a des sources variables!

Notation : lettres **majuscules** pour les composantes **continues**
lettres **minuscules** pour les composantes **variables**

24

Illustration : Etude la tension aux bornes d'un composant inséré dans un circuit.



hypothèses: v_e = signal sinusoïdale
 V_e = source statique

➡ Analyse statique : $\overline{V(t)} = "V" = ?$

➡ Analyse dynamique : $v(t) = V(t) - \overline{V} = ?$

Calcul complet

$$\longrightarrow V(t) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} [V_e + v_e(t)] = \underbrace{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_e}_V + \underbrace{\frac{R_2}{R_1 + R_2} v_e(t)}_{v(t)}$$

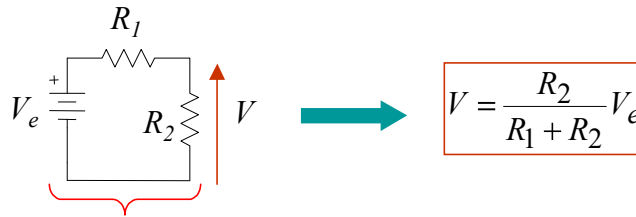
25

Par le principe de superposition :

☞ Comme tous les composants sont **linéaires**, le principe de superposition s'applique

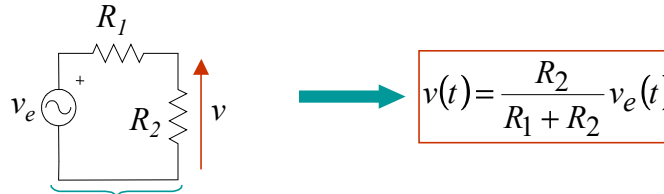
➔ la source statique V_e est à l'origine de V , et v_e est à l'origine de v

Analyse statique : $v_e = 0$



“schéma **statique**” du circuit

Analyse dynamique : $V_e = 0$



“schéma **dynamique**”

☞ Une source de tension statique correspond à un **“court-circuit dynamique”**

Autres exemples:

1)

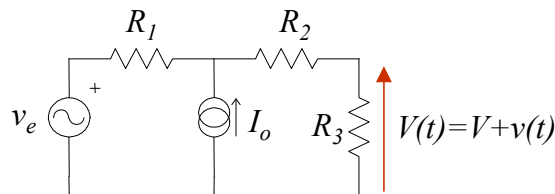


Schéma statique

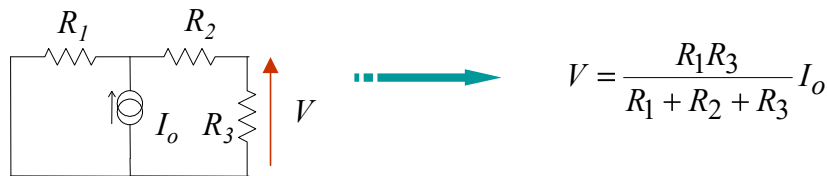


Schéma dynamique



☞ Une source de courant statique est équivalent **en régime dynamique** à un **circuit ouvert**.
[puisque $i(t)=0!$]

- 2) $C =$ composant *linéaire* caractérisé par une impédance qui dépend de la fréquence du signal

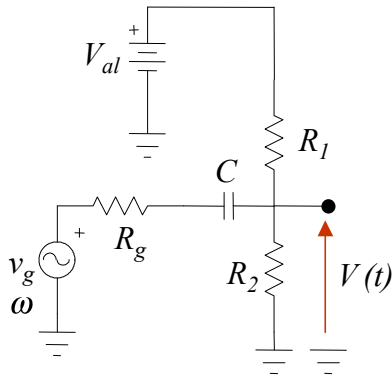
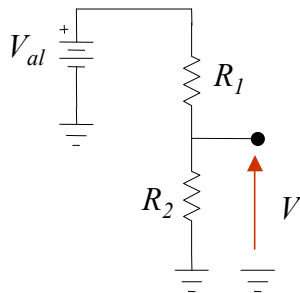


Schéma statique : à fréquence nulle $C =$ circuit ouvert



$$\rightarrow V = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{al}$$

28

Schéma dynamique :

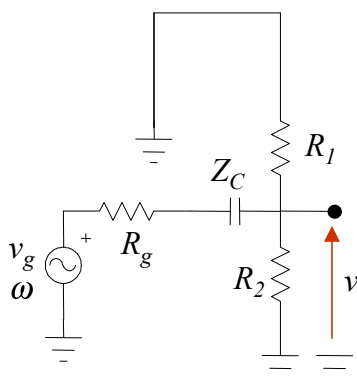


schéma équivalent dynamique

$$Z_c = \frac{1}{iC\omega}$$

$$\rightarrow v = \frac{R_2 // R_1}{R_2 // R_1 + Z_g} v_g \quad \text{avec } Z_g = R_g + \frac{1}{iC\omega}$$

pour ω suffisamment élevée : $Z_g \approx R_g$ et

$$v = \frac{R_2 // R_1}{R_2 // R_1 + R_g} v_g$$

☞ A “haute” fréquence (à préciser suivant le cas), le condensateur peut être remplacé par un court-circuit.

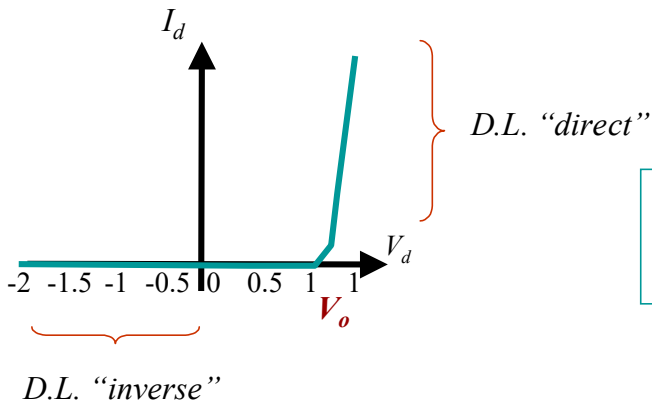
29

Le principe de superposition n'est plus valable en présence de composants non-linéaires !

Extrapolations possibles:

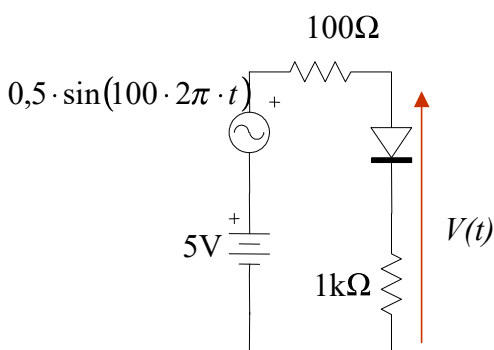
- le point de fonctionnement reste dans un des domaines de linéarité du composant non-linéaire
- l'amplitude du signal est suffisamment faible pour que le comportement du composant reste approximativement linéaire.

2.5.2 Fonctionnement d'une diode dans un de ses domaines de linéarité (D.L.) :



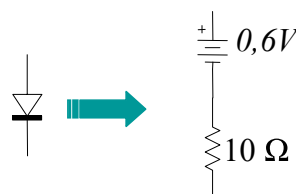
Tant que le pt. de fonctionnement reste dans le D.L. la diode peut être décrite par le modèle linéaire approprié

Exemple :



le point de fonctionnement reste dans le D.L. direct

la diode peut être remplacée par le modèle linéaire suivant :



diode: $S_i, R_f = 10\Omega, V_o = 0,6V$

Schéma statique :

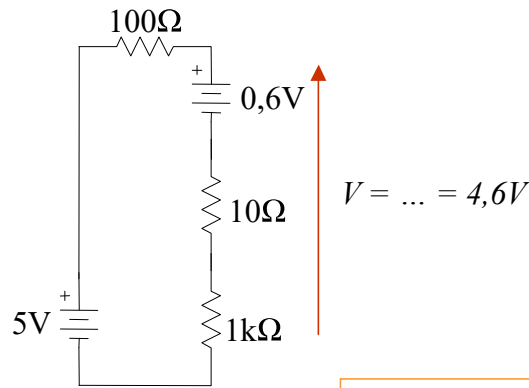
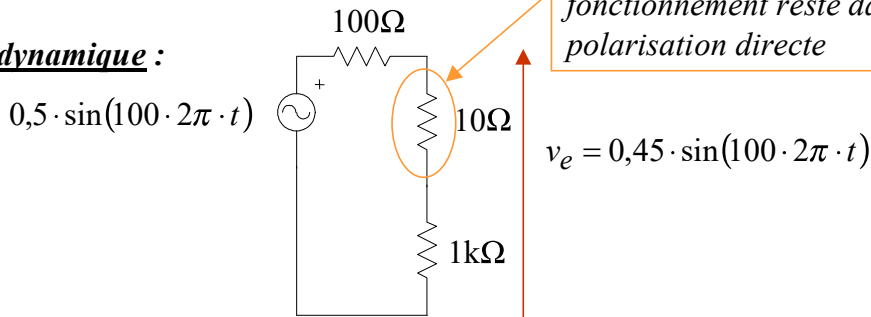


Schéma dynamique :

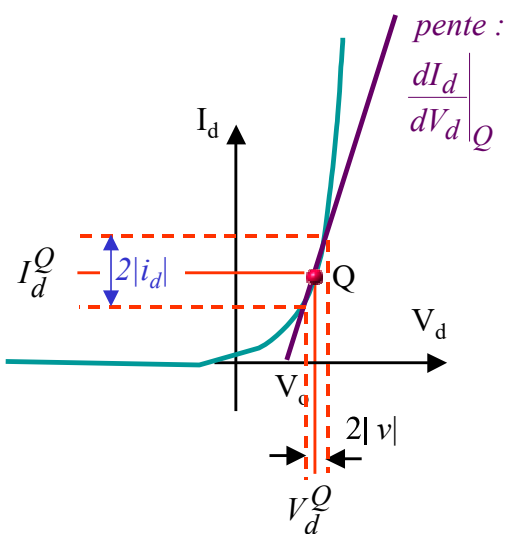


ATTENTION, l'utilisation des modèles à segments linéaires n'est plus valable si le point de fonctionnement passe dans la zone du coude

2.5.3 Modèle faibles signaux (basses fréquences)

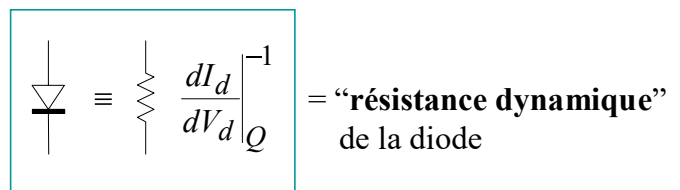
hypothèse: variation suffisamment lente (basse fréquence) pour que la caractéristique "statique" reste valable.

- Variations de **faible amplitude** autour du point de fonctionnement statique Q :
 - la caractéristique $I_d(V_d)$ peut être **approximée par la tangente en Q**



$$i_d \cong \left. \frac{dI_d}{dV_d} \right|_Q \cdot v_d$$

schéma équivalent **dynamique** correspondant au point Q :



Ce schéma ne peut être utilisé **QUE** pour une analyse **dynamique** du circuit !

■ **Notation :**

$$r_f = \left. \frac{dI_d}{dV_d} \right|_{V_d > 0}^{-1} = \text{résistance dynamique pour } V_d^Q > 0$$

$$r_r = \left. \frac{dI_d}{dV_d} \right|_{V_d < 0}^{-1} = \text{résistance dynamique pour } V_d^Q < 0$$

➔ Pour $V_d \gg V_o$, $r_f \approx R_f$

➔ Pour $V_d < 0$, $r_f \approx R_r$

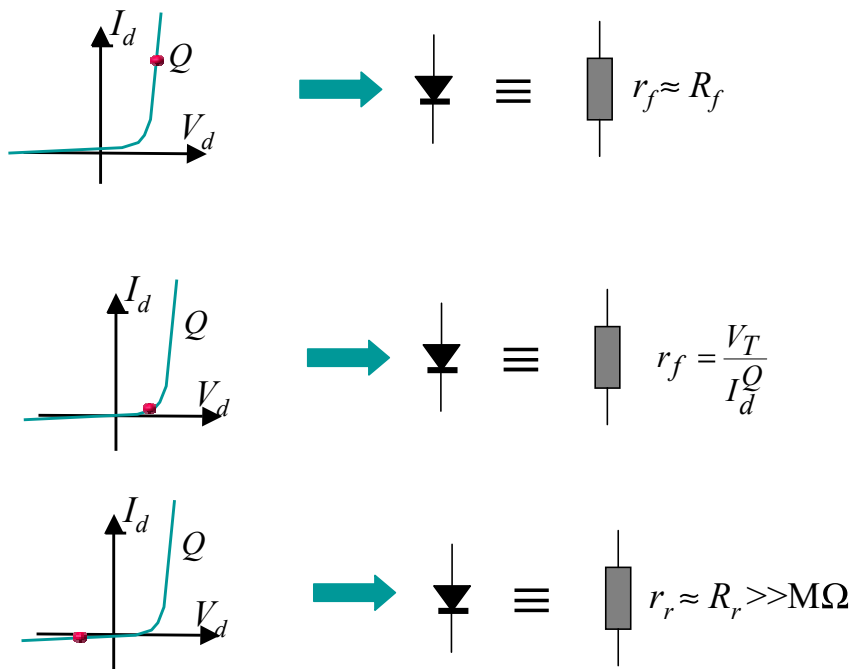
➔ Pour $V_d \in [0, \sim V_o]$, $r_f = \left. \frac{dI_d}{dV_d} \right|_{V_d}^{-1} \cong \left[\frac{d}{dV_d} \left(I_s e^{\frac{\eta V_d}{V_T}} - I_s \right) \right]^{-1} = \eta \frac{V_T}{I_d}$

➔ à température ambiante : $r_f \approx \frac{25}{I_d(\text{mA})} \Omega$ ($\eta = 1$)

➔ proche de V_o la caractéristique $I(V)$ s'écarte de la loi exponentielle
 ➔ r_f ne devient jamais inférieure à R_f (voir courbe expérimentale, [p11](#))

34

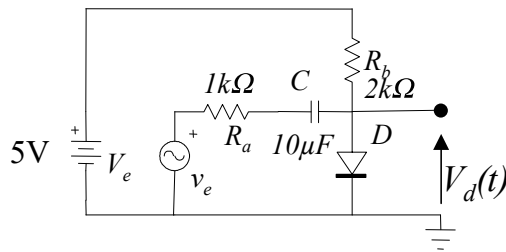
■ **Résumé des schémas équivalents faibles signaux, basse fréquence :**



➔ *hyp* : la fréquence est suffisamment faible pour que i_d et v_d soient en phase
 → **impédance réelle** (résistance dynamique)

35

Exemple :



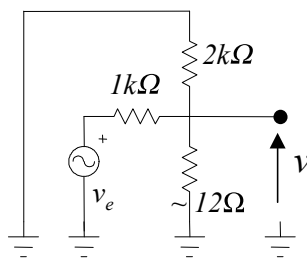
diode: Si, $R_f = 10\Omega$, $V_o = 0,6V$,
Température : 300K

$$v_e = 0,1 \cdot \sin(10^3 \cdot 2\pi \cdot t)$$

● **Analyse statique :** $\Rightarrow I_d \approx \frac{5-0,6}{2000} = 2,2mA$, $V_d \approx 0,62V$

● **Analyse dynamique :** $r_f \approx \frac{26}{2,2} = 12\Omega$, $Z_c = 16\Omega \ll R_a$

Schéma dynamique :



$$\rightarrow v \approx 1,2 \cdot 10^{-3} \sin(10^3 \cdot 2\pi \cdot t)$$

➔ Amplitude des **ondulations résiduelles** : 1,2 mV

36

2.5.4 Réponse fréquentielle des diodes

■ Limitation à haute fréquence :

Pour des **raisons physiques**, le courant I_d ne peut suivre les variations instantanées de V_d au delà d'une certaine fréquence.

➔ apparition d'un déphasage entre I_d et V_d

➔ le **modèle dynamique basse fréquence** n'est plus valable

■ Le temps de réponse de la diode dépend :

➔ du **sens de variation** (passant \rightarrow bloqué, bloqué \rightarrow passant) (\Leftrightarrow signaux de grande amplitude)

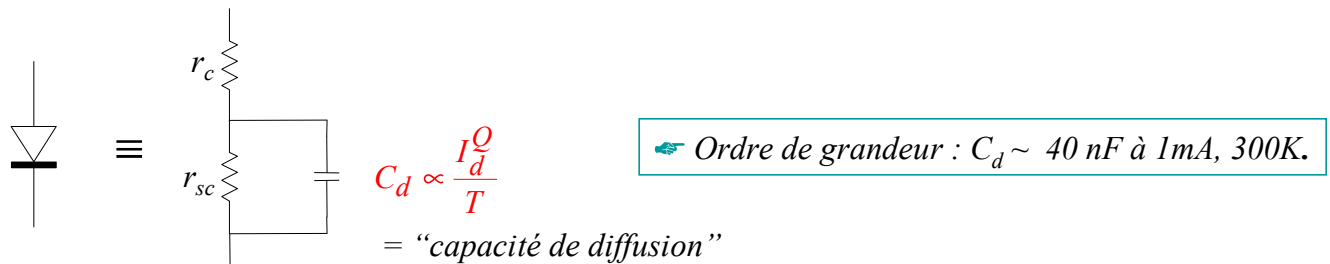
➔ du **point de fonctionnement** statique (pour des petites variations)

37

Variation de V_d de faible amplitude, sous polarisation directe ($V_d^0 > 0$)

- ☞ une **petite variation** de V_d induit une **grande variation** I_d , c'est -à-dire des charges qui traversent la diode
- ☞ A haute fréquence, des charges restent "stockées" dans la diode (elle n'arrivent pas à suivre les variations de V_d)
- ☞ ~ Comportement d'un condensateur, dont la valeur augmente avec I_d
(cf physique des composants)

Modèle faible signaux haute fréquence ($V_d > 0$) :



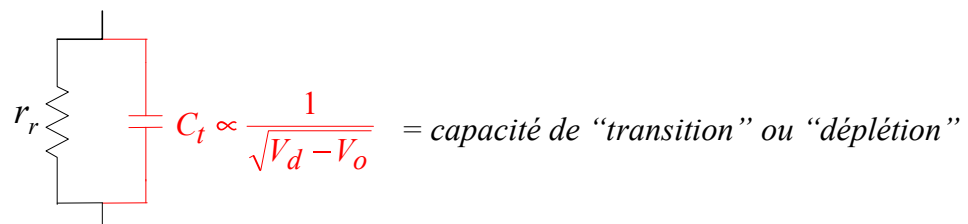
- ☞ à basse fréquence : $r_c + r_s = r_f$
- ☞ la séparation en deux résistances tient mieux compte des phénomènes physiques en jeu.

38

Variation de V_d de faible amplitude, sous polarisation inverse ($V_d^0 < 0$) :

- ☞ une variation de V_d entraîne une variation du champ électrique au sein de la diode, qui à son tour déplace les charges électriques.
- ☞ à haute fréquence, ce déplacement donne lieu à un courant mesurable, bien supérieure à I_s .
- ☞ Ce comportement peut encore être modélisé par une capacité électrique :

Modèle faible signaux haute fréquence ($V_d < 0$) :

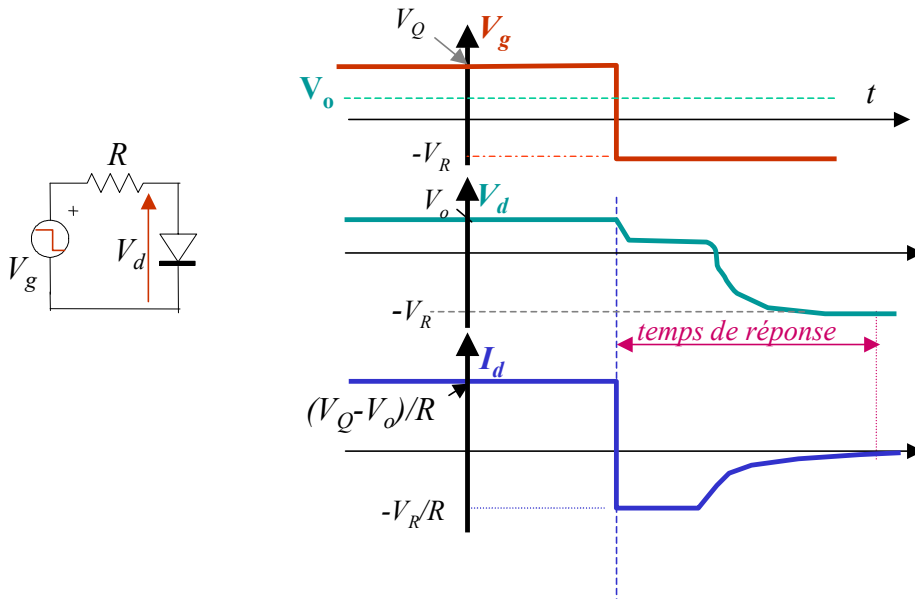


- ☞ Ordre de grandeur : ~pF

39

■ Diode en « commutation » : Temps de recouvrement direct et inverse

Le **temps de réponse fini** de la diode s'observe aussi en « **mode impulsif** », lorsque la diode bascule d'un état passant vers un état bloqué et vice-versa.

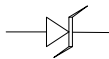


- ⇨ le temps de réponse dépend du courant avant commutation.
- ⇨ ordre de grandeur : ps → ns

40

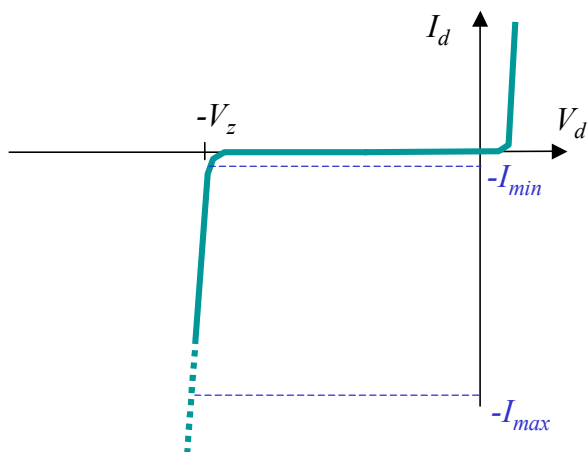
2.6 Quelques diodes spéciales

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: $P_{max} \sim V_Z I_{max}$)

$$R_Z : \text{"résistance Zener"} = \left. \frac{dI_d}{dV_d} \right|_{V_d < V_z}$$

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

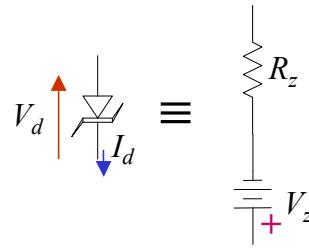
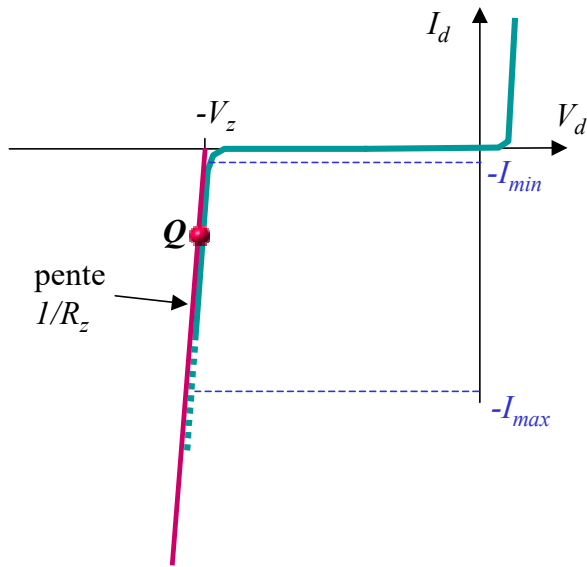
ex: [1N759](#)

41

■ schémas équivalents

hyp : $Q \in$ domaine Zener

⇨ *Modèle statique* :



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

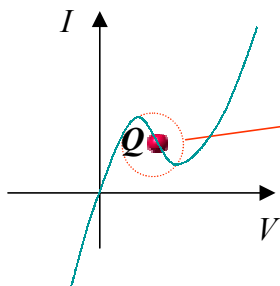
$$r_z = \left[\frac{dI_d}{dV_d} \Big|_Q \right]^{-1} \cong R_z \quad \text{pour } |I_d| > I_{min}$$

2.6.2 Diode tunnel



⇨ Exploite l'effet tunnel à travers la jonction PN (cf. Mécanique quantique)

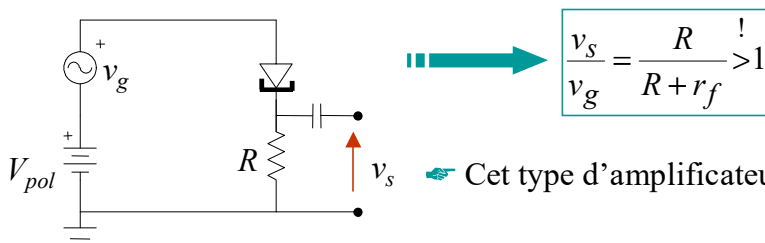
■ Caractéristique $I(V)$:



⇨ r_f *negative*, utile pour les circuits résonnants

Illustration : Le pont diviseur comme amplificateur

V_{pol} fixe Q dans la partie décroissante de $I(V)$



$$\frac{v_s}{v_g} = \frac{R}{R + r_f} > 1$$

⇨ Cet type d'amplificateur est peu utilisé parce qu'on peut faire mieux...

2.6.3 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: $\sim 1.3V$)

44

3. Applications des Diodes

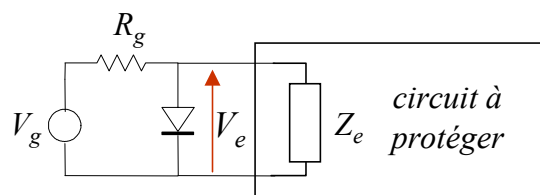
Un aperçu qui sera complété en TD et TP.

3.1 Limiteur de crête (clipping)

■ **Fonction** : Protéger les circuits sensibles (circuits intégrés, amplificateur à grand gain...) contre une tension d'entrée trop élevée ou d'une polarité donnée.

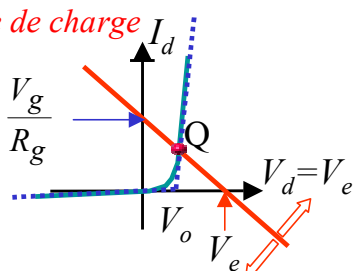
Exemple : clipping parallèle

(diode // charge)



Fonctionnement :

droite de charge



⇒ quand $V_g(t) > V_o = 0.7V$: $V_e \cong V_o$

⇒ quand $V_g(t) < V_o$: $V_e \cong \frac{Z_e}{Z_e + R_g} V_g$

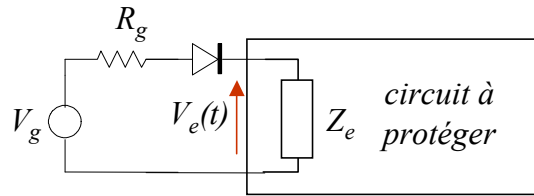
☞ Protection contre les tensions supérieures à $\sim 1V$

Limite d'utilisation : Puissance maximale tolérée par la diode :

$$\Rightarrow P_{\max} \approx V_o \cdot I_{d_{\max}} \cong V_o \cdot \frac{V_g - 0,6}{R_g} \quad (\text{si } Z_e \gg q.q. \Omega)$$

45

Clipping série :



Fonctionnement : ➔ Tant que $V_g < V_o$, la diode est bloquée et le circuit protégé...

➔ Pour $V_g > V_o$: $V_e \cong (V_g - 0,6) \frac{Z_e}{Z_e + R_g} \approx V_g - 0,6 \cong V_g$

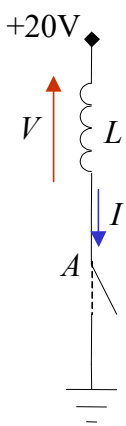
➔ Le circuit est protégé contre toute tension inférieure à V_o (en particulier les tensions négatives)

Limite d'utilisation : Puissance maximale tolérée par la diode :

$$I_{d_{\max}} \approx \frac{V_g - 0,6}{R_g + Z_e} \approx \frac{V_g}{R_g + Z_e}$$

☞ Comment peut-on modifier le circuit pour protéger la charge contre des tensions positives?⁴⁶

Protection contre une surtension inductive



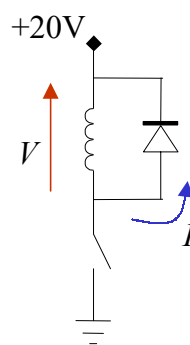
■ ouverture de l'interrupteur :

☞ $V = L \frac{dI}{dt} \rightarrow -\infty$

☞ $V_A \rightarrow +\infty$

☞ risque de décharge électrique à travers l'interrupteur ouvert

☞ L'interrupteur pourrait être un transistor...



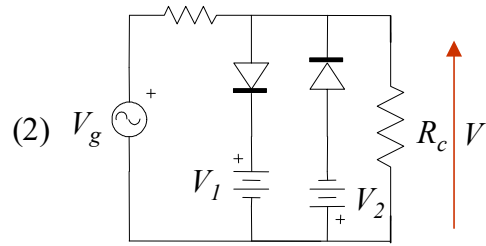
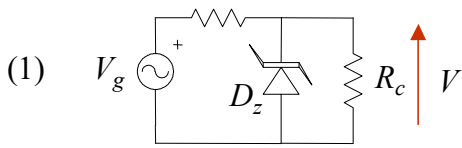
■ Protection par diode :

☞ $V_{\max < 0} \sim -0,7V$

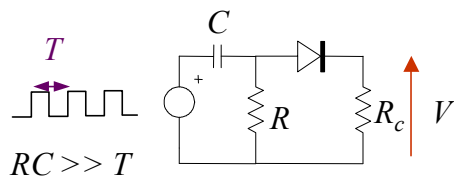
☞ $V_A \leq \sim 20,7V$

☞ la conduction de la diode engendre un courant transitoire et diminue la tension inductive.

Exercices : Quelle est la forme de $V(t)$ pour chacun des circuits suivants ?



(3) Détecteur de fronts de montée

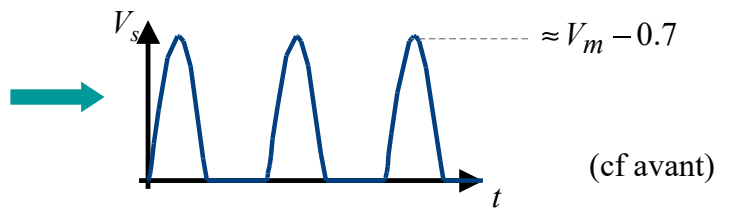
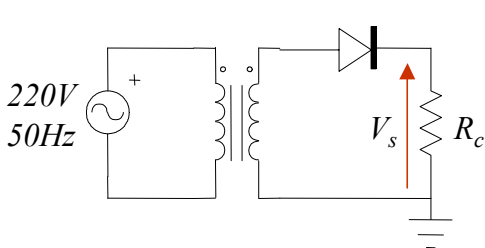


48

3.2 Redressement

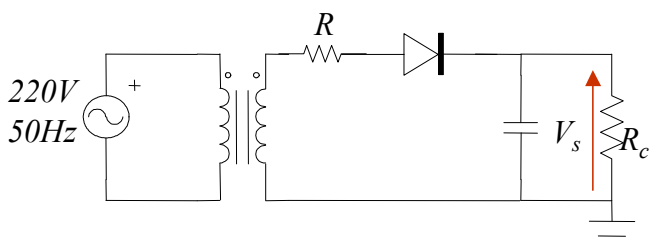
■ **Objectif:** Transformer un signal alternatif en tension continue stable
(ex: pour l'alimentation d'un appareil en tension continue à partir du secteur)

Redressement simple alternance

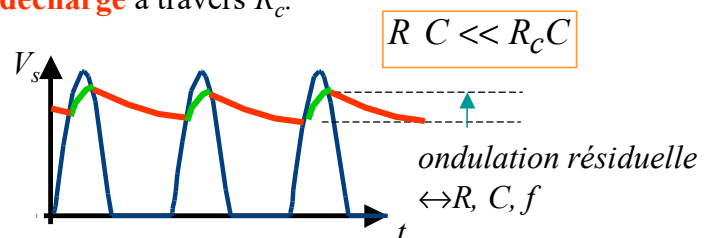


R_i = résistance de sortie du transformateur
 V_m = amplitude du signal du secondaire

avec filtrage passe-bas :



⇨ Le condensateur se **charge** à travers $R (+R_f)$ et se **décharge** à travers R_c :

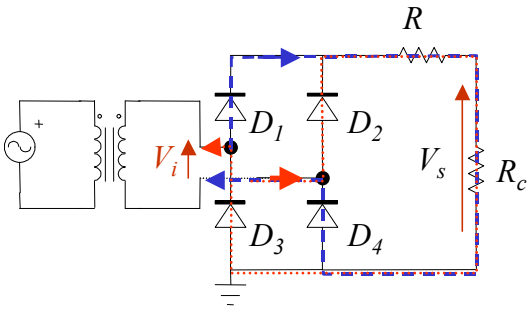


⇨ mauvais rendement : la moitié du signal d'entrée n'est pas exploitée

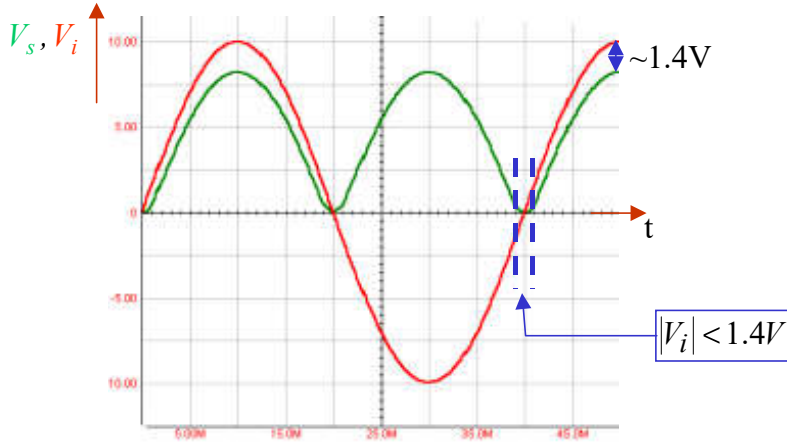
49

Redressement double alternance (pont de Graetz)

Fonctionnement

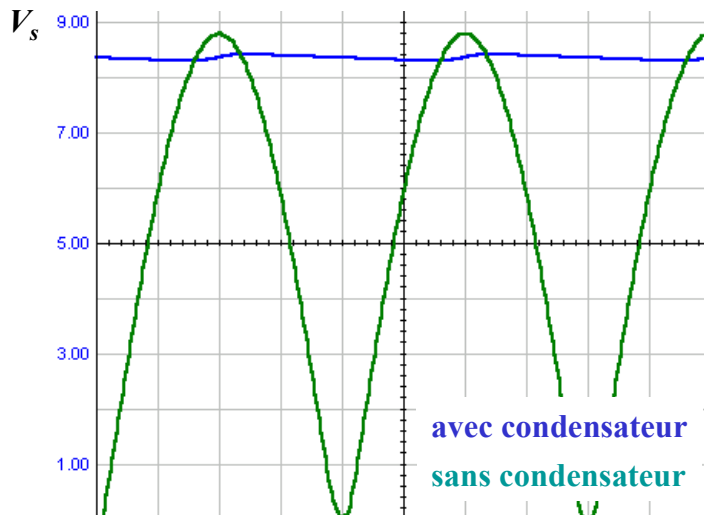
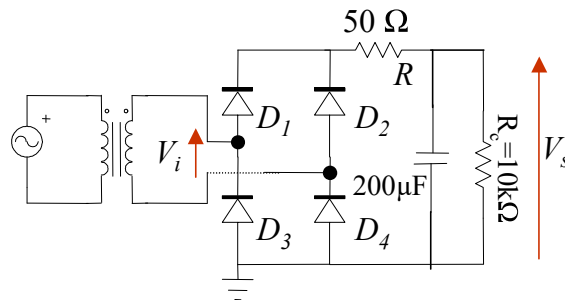


- ⇨ quand $V_i > \sim 1.4V$:
 D_1 et D_4 = passants, D_2 et D_3 = bloquées
 Parcours du courant : - - - -
- ⇨ quand $V_i < \sim -1.4V$:
 D_1 et D_4 = bloquées, D_2 et D_3 = passantes
 Parcours du courant : - - - -



50

avec filtrage :



⇨ Ondulation résiduelle réduite

51

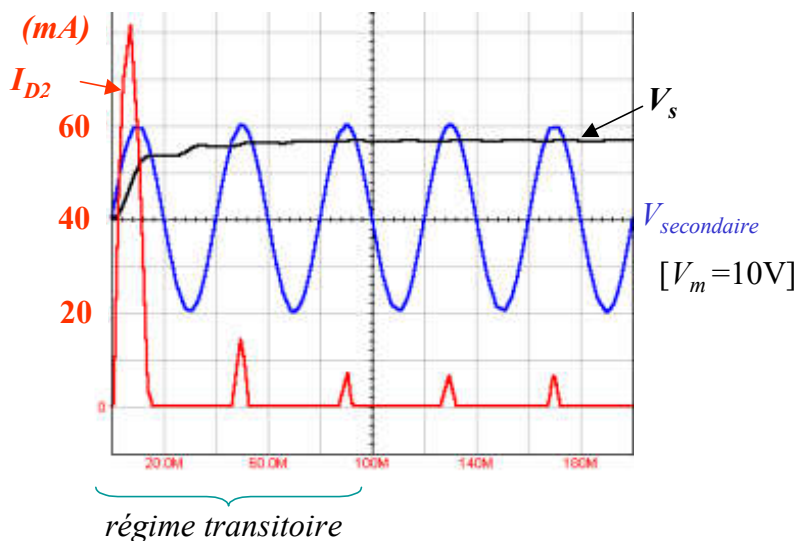
Courant transitoire de mise sous tension :

☞ C est initialement déchargé $\leftrightarrow V_C \approx 0$

➡ I_d peut devenir trop élevé

$$I_{d_{max}} \rightarrow \frac{V_i - 1,4}{R}$$

☞ $I_{d_{max}}$ dépend de R et C

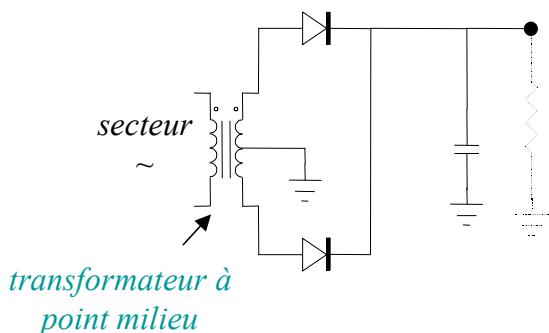


☞ **Diodes de puissance**

⚡ Les 4 diodes du pont de Graetz existe sous forme d'un composant unique (ou discret)

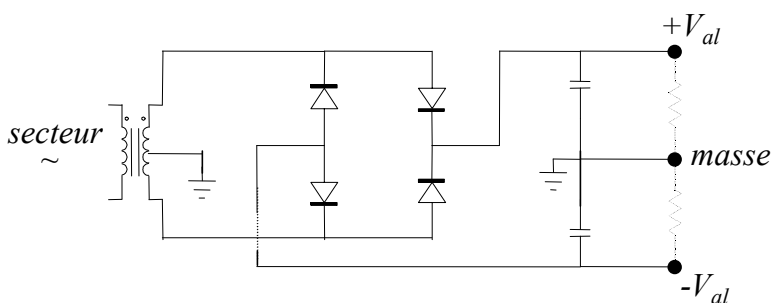
Autres configurations possibles :

■ Utilisation d'un transformateur à point milieu :



☞ mauvais rendement, puisqu'à chaque instant seule la moitié du bobinage secondaire est utilisé

■ Alimentation symétrique :

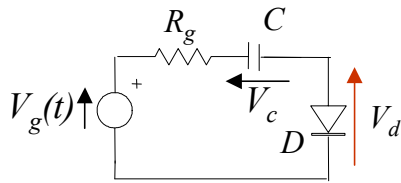


3.3 Restitution d'une composante continue (clamping)

■ **Fonction** : Décaler le signal vers les tensions positives (ou négatives)

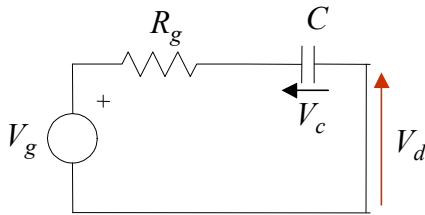
↔ reconstitution d'une composante continue (valeur moyenne) non nulle

Exemple :



Fonctionnement : On supposera la diode idéale (1^{ère} approx.)

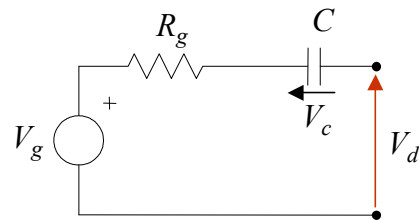
● Lorsque $V_g - V_c > 0$, la diode est passante



➔ C se charge et V_c tend vers V_g

➔ $V_d = 0$

● Lorsque $V_g - V_c < 0$, la diode est bloquée



➔ $V_c = \text{constant}$ (C ne peut se décharger!)

➔ $V_d = V_g + V_c$

➔ ~ composante continue

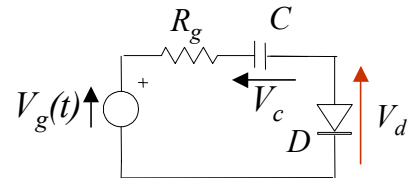
54

☞ Quelle est l'effet de la tension seuil V_o de la diode (non prise en compte ci-dessus) ?

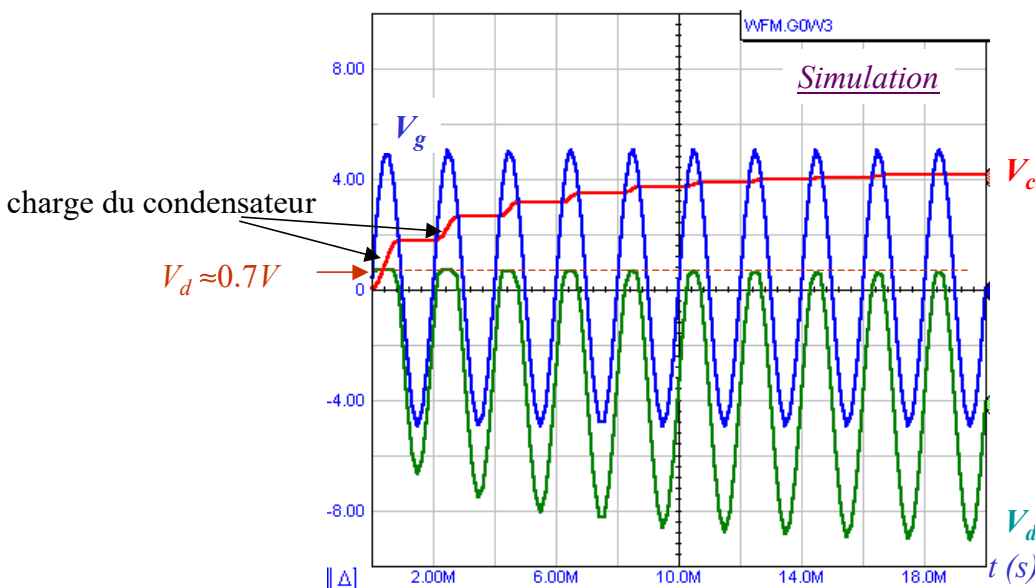
● **Cas particulier** :

$$V_g = V_m \sin(\omega \cdot t) \text{ pour } t > 0$$

$$V_c = 0 \text{ pour } t < 0 \text{ (C déchargé)}$$



➔ Phase **transitoire** au cours de laquelle le condensateur se charge



$C = 1\mu F$
 $R_g = 1k\Omega$
 $f = 100\text{Hz}$
 $V_m = 5\text{V}$

⇨ Charge de C avec une constante de temps de $R_g C$ à chaque fois que la diode est passante

⇨ Décharge de C avec une constante de temps $R_r C$

⇨ le circuit remplit ses fonctions, si pour $f \gg 1/R_r C$ ($\approx 10^5 \text{ Hz}$ dans l'exemple) :

→ en régime permanent: $V_d \approx V_g - V_m$

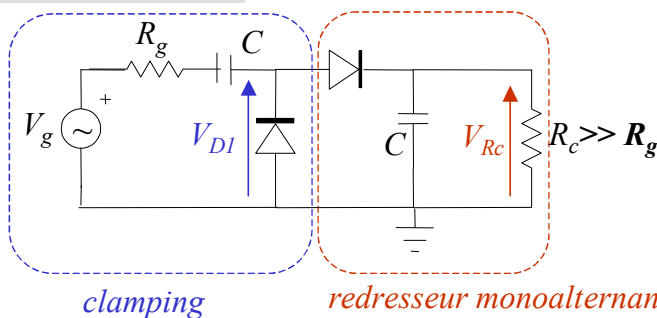
composante continue

Exercice : Modifier le circuit pour obtenir une composante continue **positive**.

3.4 Multiplieur de tension

■ **Fonction :** Produire une tension de sortie continue à partir d'un signal d'entrée variable. La tension continue est généralement un multiple de l'amplitude du signal d'entrée.

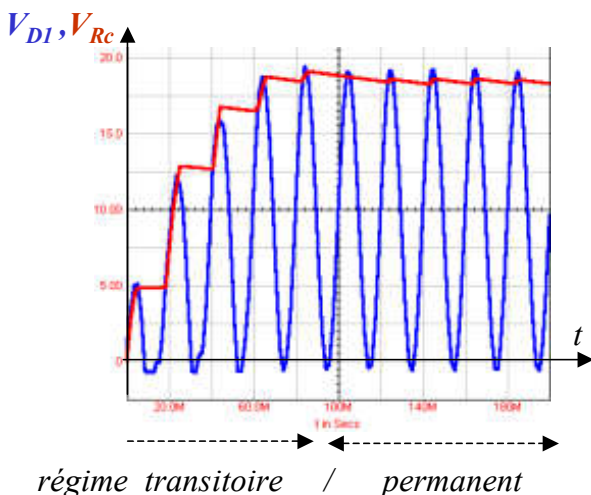
Exemple : doubleur de tension



$$V_g = V_m \sin(2\pi f \cdot t) \text{ pour } t > 0$$

$$V_m = 10\text{V}, f = 50\text{Hz}, C = 10\mu\text{F}$$

$$R_c = 100\text{k}\Omega.$$

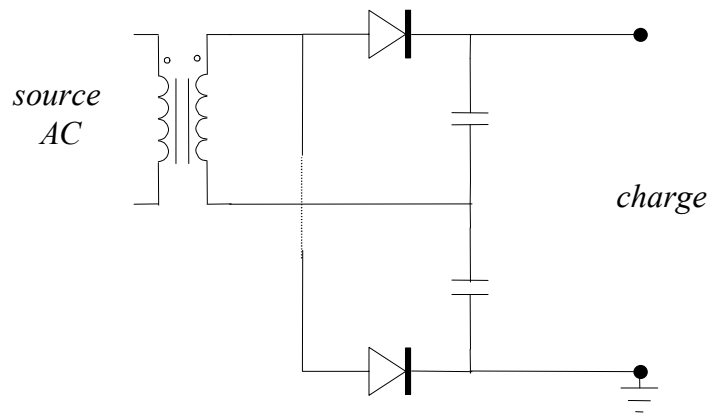


→ En régime établi, le courant d'entrée du redresseur est faible (\sim impédance d'entrée élevée)

$$\rightarrow V_{R_c} \cong 2 \cdot V_m - 1,4 \approx 2 \cdot V_m$$

→ Il ne s'agit pas d'une bonne source de tension, puisque le courant de sortie (dans R_c) doit rester faible (\sim résistance interne élevée)

Autre exemples : *Doubleur de tension*



⇒ ≡ assemblage de deux redresseurs *monoalternance* en parallèle.

⇒ l'impédance d'entrée de la charge doit être $\gg R_f + R_{\text{transformateur}} + R_{\text{protection}}$

⇒ source "**flottante**" ↔ nécessité du transformateur