LYCÉE D'EXCELLENCE
MOHAMMED VI
LEM6 - CASABLANCA

Classes préparatoires aux grandes écoles
MPSI — Physique-chimie
Année 2026-2027

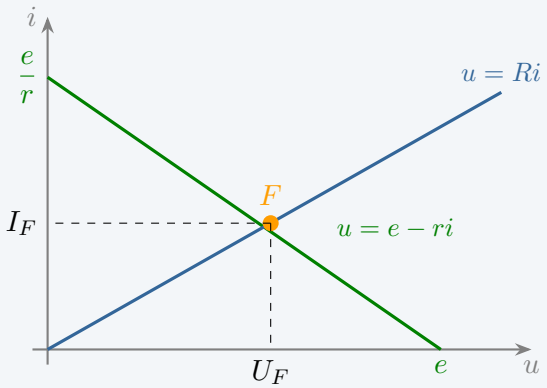
FICHE RÉSUMÉ

E2

ÉLECTRONIQUE

Éléments de circuits linéaires

Résistor, condensateur, bobine — Associations et ponts diviseurs — Sources, modèles de Thévenin et de Norton — Point de fonctionnement — Résistances d'entrée et de sortie



« *On fait la science avec des faits, comme on fait une maison avec des pierres ; mais une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierres n'est une maison.*

— Henri Poincaré, *La Science et l'Hypothèse* (1902)

physionova
physionova.academy

Pr. CHARIFI
professeurcharifi@gmail.com

Simulation associée sur **PhysioNova**
« Générateur réel et point de fonctionnement »

E2 — Fiche résumé

L'essentiel en trois phrases

Un dipôle se caractérise par sa relation courant-tension : $u = Ri$ pour le résistor, $i = C\,\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$ pour le condensateur, $u = L\,\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ pour la bobine ; les deux derniers stockent de l'énergie, d'où la **continuité** de u_C et de i_L. Tout réseau linéaire vu entre deux bornes se réduit à un générateur de **Thévenin** $(E_{\mathrm{Th}}, R_{\mathrm{Th}})$ ou de **Norton** $(\eta_N = E_{\mathrm{Th}}/R_{\mathrm{Th}}, R_{\mathrm{Th}})$. Associations, ponts diviseurs et loi des nœuds en termes de potentiels permettent de résoudre un circuit sans écrire toutes les lois de Kirchhoff.

I Caractéristique et classification des dipôles

Définition — Caractéristique et classification R

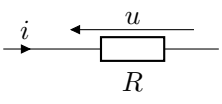
- La **caractéristique statique** est la courbe $i = f(u)$ (ou $u = g(i)$) relevée en régime continu, pour une convention donnée. Tout point de la caractéristique est un point de fonctionnement possible.
- **Passif** : caractéristique passant par l'origine $(i = 0 \Rightarrow u = 0)$; **actif** sinon. **Symétrique** : caractéristique symétrique par rapport à O (branchement indifférent).
- **Linéaire** : caractéristique droite $u = \alpha i + \beta$; en régime variable, u et i reliés par une équation différentielle linéaire à coefficients constants.
- Au point M : résistance **statique** $r_0 = \left(\dfrac{u}{i}\right)_M$ et résistance **dynamique** $r_d = \left(\dfrac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}i}\right)_M$; conductances $g_0 = 1/r_0$, $g_d = 1/r_d$ (en siemens, $1\,\mathrm{S} = 1\,\Omega^{-1}$).

Point de fonctionnement R

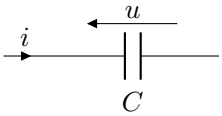
Deux dipôles reliés partagent la même tension et la même intensité : le point de fonctionnement $F(U_F, I_F)$ est l'**intersection** de leurs caractéristiques tracées avec les mêmes orientations (convention générateur pour l'un, récepteur pour l'autre). Générateur (e, r) sur une charge R :

$$I_F = \frac{e}{R+r} \qquad U_F = \frac{R}{R+r}\,e$$

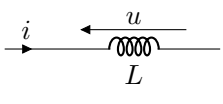
II Dipôles passifs linéaires : R, C, L



résistor



condensateur (q sur l'armature où entre i)



bobine idéale

Énergie et continuité R D

$\mathcal{P}_C = ui = Cu\dfrac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{1}{2}Cu^2\right)$ et $\mathcal{P}_L = Li\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{1}{2}Li^2\right)$. Une puissance infinie étant impossible,

l'énergie stockée est continue :

$$u_C(0^-) = u_C(0^+) \qquad i_L(0^-) = i_L(0^+)$$

En revanche i_C et u_L peuvent subir des discontinuités.

★ À retenir

	Résistor	Condensateur	Bobine
Relation (conv. récepteur)	$u = Ri \quad (i = Gu)$	$q = Cu, \quad i = C\dfrac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$	$u = L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$
Puissance reçue	$Ri^2 \geq 0$ (Joule)	$\dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\dfrac{1}{2}Cu^2\right)$	$\dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\dfrac{1}{2}Li^2\right)$
Énergie stockée	aucune (dissipée)	$\mathcal{E}_C = \dfrac{1}{2}Cu^2 = \dfrac{q^2}{2C}$	$\mathcal{E}_L = \dfrac{1}{2}Li^2$
Régime continu	$u = Ri$	interrupteur ouvert $(i = 0)$	fil $(u = 0)$
Grandeur continue	—	u_C (et q)	i_L
Unité	ohm (Ω)	farad (F)	henry (H)

Bobine réelle : $u = ri + L\,\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ (résistance interne r en série).

III Associations et ponts diviseurs

	Série (même courant)	**Parallèle** (même tension)
Résistors	$R_{\text{éq}} = \sum_k R_k$	$\dfrac{1}{R_{\text{éq}}} = \sum_k \dfrac{1}{R_k} \quad (G_{\text{éq}} = \sum_k G_k)$
Condensateurs	$\dfrac{1}{C_{\text{éq}}} = \sum_k \dfrac{1}{C_k}$	$C_{\text{éq}} = \sum_k C_k$
Bobines idéales	$L_{\text{éq}} = \sum_k L_k$	$\dfrac{1}{L_{\text{éq}}} = \sum_k \dfrac{1}{L_k}$

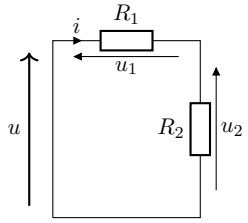
Ponts diviseurs R D

Tension : résistors en **série**, parcourus par le même courant :

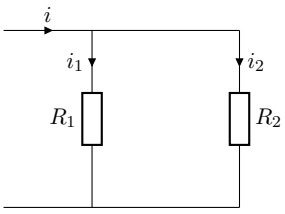
$$u_k = \frac{R_k}{\sum_j R_j}\,u \qquad u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\,u$$

Courant : résistors en **parallèle**, sous la même tension :

$$i_k = \frac{G_k}{\sum_j G_j}\,i \qquad i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\,i$$



diviseur de tension

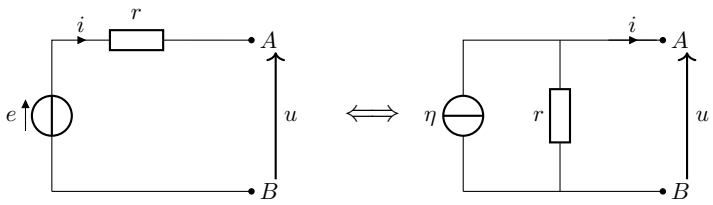


diviseur de courant

IV Sources et générateurs réels

Définition — Sources idéales, libres et liées R

Source idéale de **tension** : impose $u = e$ (f.é.m.) quel que soit i ; source idéale de **courant** : impose $i = \eta$ (c.é.m.) quel que soit u. Une source est **libre** si e ou η ne dépend d'aucune grandeur du circuit, **liée** (commandée) sinon (ex. $e = \mu\varepsilon$ pour l'ALI).



Thévenin : $u = e - ri$ Norton : $i = \eta - u/r$

Modèles de Thévenin et de Norton R D

Les deux modèles ont la même caractéristique si et seulement si

$$\eta = \frac{e}{r} \qquad \text{(même résistance interne } r\text{)}$$

- **Série** de générateurs de Thévenin : $e_{\text{éq}} = \sum_k \varepsilon_k e_k$, $r_{\text{éq}} = \sum_k r_k$ ($\varepsilon_k = +1$ si e_k et $e_{\text{éq}}$ sont de même sens).
- **Parallèle** de générateurs de Norton : $\eta_{\text{éq}} = \sum_k \varepsilon_k \eta_k$, $G_{\text{éq}} = \sum_k G_k$. On additionne les tensions en série, les courants en parallèle (convertir si besoin).
- Une résistance en parallèle sur une source idéale de tension, ou en série avec une source idéale de courant, n'a aucune influence sur le reste du circuit.
- Un récepteur linéaire actif (électrolyseur, moteur) se modélise par une f.é.m. en opposition au courant (f.c.é.m.) en série avec une résistance.

Adaptation en puissance R D

Puissance reçue par la charge R : $\mathcal{P} = \dfrac{Re^2}{(R+r)^2}$; $\dfrac{\mathrm{d}\mathcal{P}}{\mathrm{d}R} \propto r - R$, d'où un maximum pour

$$R = r \qquad \mathcal{P}_{\max} = \frac{e^2}{4r} \qquad \text{(rendement } R/(R+r) = 50\,\%\text{)}$$

V Méthodes de résolution d'un réseau linéaire

☞ Méthode — Loi des nœuds en termes de potentiels (Millman) M

Choisir une masse, nommer les potentiels inconnus ; en chaque nœud N, exprimer les courants **arrivant** : $i_k = \dfrac{V_{A_k} - V_N}{R_k}$ pour un résistor relié au nœud A_k, $\pm\eta_j$ pour une source de courant ; écrire $\sum i_k = 0$.

On en déduit (à **retrouver**, pas à mémoriser) :

$$V_N = \frac{\sum_k V_{A_k}/R_k + \sum_j \eta_j}{\sum_k 1/R_k}$$

Thévenin, Norton, superposition, Pouillet R

- **Thévenin-Norton** : vu entre A et B, tout réseau linéaire équivaut à $(E_{\text{Th}}, R_{\text{Th}})$ avec $E_{\text{Th}} = u_{AB}$ **à vide** ; R_{Th} = résistance vue entre A et B, **sources libres éteintes** ; η_N = courant de **court-circuit** $= E_{\text{Th}}/R_{\text{Th}}$.
- **Extinction** : source de tension $\to$ fil ; source de courant $\to$ interrupteur ouvert. On n'éteint jamais une source liée.
- **Superposition** : dans un réseau linéaire, la réponse à plusieurs sources libres est la somme des réponses à chaque source agissant seule (les autres éteintes).
- **Loi de Pouillet** (circuit à une seule maille) : $i = \dfrac{\sum_k \varepsilon_k e_k}{\sum_k r_k}$, $\varepsilon_k = +1$ si e_k et i sont de même sens.

VI Résistances d'entrée et de sortie ; dipôle non linéaire

Définition — Résistances d'entrée et de sortie R

La résistance d'**entrée** $R_e = u_e/i_e$ est celle que présente un appareil au circuit qui l'alimente ; la résistance de **sortie** R_s est la résistance de Thévenin vue par la charge. Générateur (e, R_s) sur un appareil R_e : $u = \dfrac{R_e}{R_e + R_s}\, e \approx e$ si $R_e \gg R_s$.

- Voltmètre : R_e **très grande** (multimètre $10\,\text{M}\Omega$, oscilloscope $1\,\text{M}\Omega$) ; ampèremètre : R_e **très faible** ; GBF : $R_s = 50\,\Omega$.
- Mesure de R_s par la méthode de la **demi-tension** : on règle la charge R pour obtenir $u = e/2$, alors $R = R_s$.

Remarque

Diode : modèle idéal (fil si $i_D > 0$, interrupteur ouvert si $u_D < 0$), modèle à seuil ($u_D = V_s \approx 0{,}6\,\text{V}$ si passante), Zener (conduit en inverse sous $-V_Z$). On **suppose** un état, on résout, puis on **vérifie** ($i_D > 0$ ou $u_D < V_s$). Équivalence triangle-étoile (Kennelly) : triangle de résistances égales $R \Leftrightarrow$ étoile de résistances $R/3$.

Ordres de grandeur

R : de $1\,\Omega$ à $10\,\text{M}\Omega$; C : de $1\,\text{pF}$ à $1\,\text{mF}$ (supercondensateurs : quelques farads) ; L : de $1\,\mu\text{H}$ à $1\,\text{H}$, résistance interne d'une bobine de TP $r \sim 10\,\Omega$; résistance de sortie d'un GBF : $50\,\Omega$; pile : $r \sim 1\,\Omega$; seuil d'une diode au silicium : $0{,}6\,\text{V}$.

VII Méthodes et pièges

☞ Méthode — Choisir la bonne méthode M

- Une seule maille : **loi de Pouillet**. Recherche d'une tension dans une branche série non chargée : **diviseur de tension**.
- Recherche d'un potentiel avec peu de nœuds inconnus : **loi des nœuds en potentiels** (une équation par nœud).
- Courant dans une seule branche d'un réseau complexe : isoler la branche et remplacer le reste par son **générateur de Thévenin**.
- Plusieurs sources libres indépendantes : **superposition** ; mélange série/parallèle de sources : conversions **Thévenin** $\leftrightarrow$ **Norton** successives.

✗ Attention, erreurs fréquentes

- Le diviseur de tension suppose le **même courant** : il est faux si une charge est branchée en sortie (remplacer R_2 par $R_2 \parallel R_{\text{charge}}$).
- « Produit sur somme » $R_1R_2/(R_1+R_2)$ ne vaut que pour **deux** résistors en parallèle.
- On ne superpose ni des puissances (grandeurs quadratiques) ni des réponses de circuits non linéaires ; on n'éteint jamais une source liée.
- Ce sont u_C et i_L qui sont continus, pas i_C ni u_L.
- Condensateurs : les capacités s'ajoutent en **parallèle** (et non en série, contrairement aux résistances).

Savoir-faire : je coche quand je sais

- ☐ Je sais classer un dipôle à partir de sa caractéristique et trouver un point de fonctionnement.
- ☐ Je connais les relations u-i de R, C, L, leur comportement en régime continu et leurs ordres de grandeur.
- ☐ Je sais établir $\mathcal{E}_C$ et $\mathcal{E}_L$ et en déduire les grandeurs continues.
- ☐ Je sais réduire un réseau par associations série/parallèle et utiliser les ponts diviseurs.
- ☐ Je sais passer d'un modèle de Thévenin à un modèle de Norton et déterminer $(E_{\text{Th}}, R_{\text{Th}})$.
- ☐ Je sais écrire la loi des nœuds en termes de potentiels et retrouver le théorème de Millman.
- ☐ Je sais évaluer l'influence des résistances d'entrée et de sortie sur une mesure.