LYCÉE D'EXCELLENCE
MOHAMMED VI
LEM6 - CASABLANCA

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

FICHE RÉSUMÉ

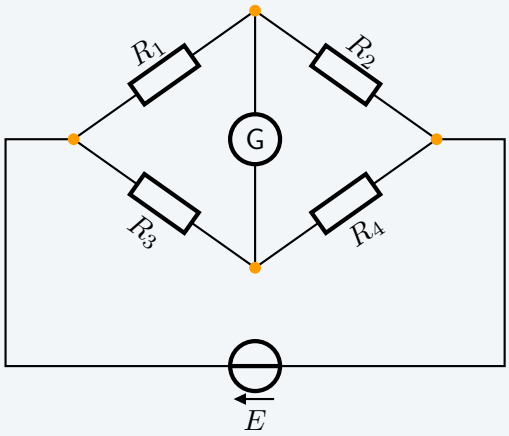
E1

ÉLECTRONIQUE

Lois générales dans le cadre de l'ARQP

Charge et courant — Potentiel et tension — Approximation des régimes quasi-permanents — Lois de Kirchhoff — Puissance électrique — Pont de Wheatstone

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$



« *Lorsque vous pouvez mesurer ce dont vous parlez et l'exprimer par des nombres, vous savez quelque chose de votre sujet.*

— Lord Kelvin, conférence *Electrical Units of Measurement* (1883)

physionova
physionova.academy

Pr. CHARIFI
professeurcharifi@gmail.com

Simulation associée sur **PhysioNova**
« Pont de Wheatstone »

E1 — Fiche résumé

L'essentiel en trois phrases

Un circuit électrique se décrit par deux grandeurs algébriques : l'**intensité** i (débit de charge à travers une section) et la **tension** $u_{AB} = V_A - V_B$ (différence de potentiel). Tant que le circuit est petit devant la longueur d'onde $\lambda = c/f$ (**ARQP**), l'intensité est la même en tout point d'une branche et les deux **lois de Kirchhoff** (nœuds : conservation de la charge ; mailles : existence du potentiel) suffisent à résoudre tout réseau. Le produit ui, interprété selon la **convention** choisie, donne la puissance reçue ou fournie par un dipôle.

I Charge et courant électriques

Définition — Charge et courant R

- La charge q (en C) est **quantifiée**, $q = \pm ne$ avec $e = 1{,}602 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$, et **conservée** pour un système isolé ; à l'échelle macroscopique on la traite comme une grandeur continue.
- Le **courant électrique** est un mouvement d'ensemble **ordonné** de porteurs de charge : électrons libres (métaux), ions (électrolytes), électrons et trous (semi-conducteurs). Courant de **conduction** (porteurs mobiles dans un conducteur immobile) ou de **convection** (charges déposées sur un support en mouvement).
- Par convention, le sens du courant est celui du déplacement des charges **positives** (opposé à celui des électrons).

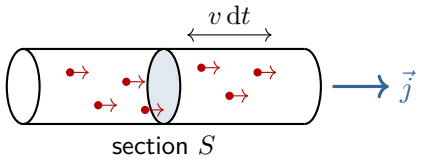
Intensité et densité de courant R

L'intensité dans une branche orientée est le **débit de charge** à travers une section :

$$i(t) = \frac{\delta q}{\mathrm{d}t} \qquad (1\,\mathrm{A} = 1\,\mathrm{C}\cdot\mathrm{s}^{-1})$$

Avec n porteurs de charge q par unité de volume, de vitesse d'ensemble $\vec{v}$:

$$\vec{j} = nq\,\vec{v} = \rho_m \vec{v} \qquad i = \iint_S \vec{j}\cdot \mathrm{d}\vec{S}$$



Pendant $\mathrm{d}t$ traversent S les porteurs du cylindre de longueur $v\,\mathrm{d}t$: $\delta q = nqSv\,\mathrm{d}t$, d'où $i = nqvS$.

Remarque

Une intensité **négative** a un sens physique : le courant circule en sens inverse de la flèche choisie. Isotropie des vitesses d'agitation : $\vec{v}_{\text{moy}} = \vec{0} \Rightarrow \vec{j} = \vec{0}$; il faut un mouvement d'ensemble ordonné pour avoir conduction. Loi d'Ohm locale $\vec{j} = \gamma \vec{E}$; pour un fil homogène, $R = \rho\,\ell/S$ ($\rho_{\text{Cu}} \approx 1{,}7 \times 10^{-8}\,\Omega\cdot\mathrm{m}$).

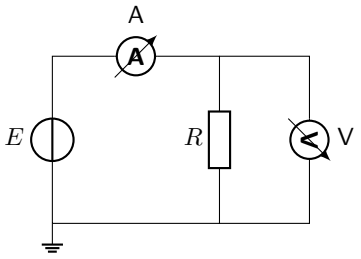
II Potentiel, tension et mesures

Définition — Potentiel et tension R

À chaque point A on associe un potentiel V_A (en V), défini à une constante près ; seules les différences de potentiel sont mesurables :

$$u_{AB} = V_A - V_B$$

La tension u_{AB} est représentée par une flèche **de** B **vers** A. Elle est additive (Chasles) : $u_{AC} = u_{AB} + u_{BC}$, $u_{BA} = -u_{AB}$. La **masse** est la référence choisie ($V = 0$) ; la **terre** est la masse reliée au sol.



ampèremètre en série, voltmètre en dérivation

Méthode — Brancher un appareil de mesure M

- **Voltmètre** en **dérivation** : il affiche $V_{\mathrm{V}} - V_{\mathrm{COM}}$; idéal : il n'est parcouru par aucun courant.
- **Ampèremètre** en **série** : il affiche l'intensité entrant par A et sortant par COM ; idéal : tension nulle à ses bornes.
- **Oscilloscope** : mesure des tensions par rapport à sa masse, reliée à la terre comme souvent celle du GBF ; toutes les masses doivent être reliées **au même point** du circuit, sinon on court-circuite un composant.

III Approximation des régimes quasi-permanents (ARQP)

Condition de validité R

Une variation de courant se propage le long des fils à une vitesse de l'ordre de c : durée de propagation $\tau = L/c$ pour un circuit de taille L. Si τ est négligeable devant le temps caractéristique T des variations (période $T = 1/f$) :

$$\tau \ll T \iff L \ll cT = \frac{c}{f} = \lambda$$

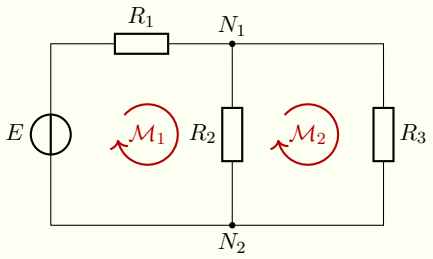
alors, à chaque instant, **l'intensité est la même en tout point d'une branche**. En régime continu, cette propriété est exacte.

Signal	Fréquence	$\lambda = c/f$	ARQP pour un circuit de laboratoire ($L \sim 1\,\mathrm{m}$)
Secteur	$50\,\mathrm{Hz}$	$6000\,\mathrm{km}$	oui, très largement
Signaux de TP (GBF)	$1\,\mathrm{MHz}$	$300\,\mathrm{m}$	oui
Téléphonie, processeur	$1\,\mathrm{GHz}$	$30\,\mathrm{cm}$	non, même pour quelques cm

IV Lois de Kirchhoff

Définition — Nœud, branche, maille R

- **Nœud** : point relié à au moins trois fils.
- **Branche** : dipôles en série entre deux nœuds consécutifs, parcourus par le même courant.
- **Maille** : ensemble de branches formant une boucle fermée, chaque nœud n'étant parcouru qu'une seule fois.



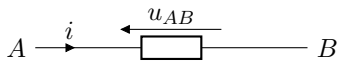
2 nœuds, 3 branches, 2 mailles indépendantes

Loi des nœuds et loi des mailles R D

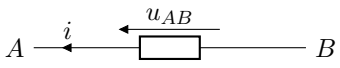
$$\sum_k \varepsilon_k\, i_k = 0 \quad \text{au nœud } N \qquad\qquad \sum_k \varepsilon_k\, u_k = 0 \quad \text{le long d'une maille orientée}$$

- Nœuds : $\varepsilon_k = +1$ si i_k arrive en N, -1 s'il en part (« ce qui entre égale ce qui sort »). Origine : **conservation de la charge**, aucune charge ne s'accumule au nœud (ARQP).
- Mailles : $\varepsilon_k = +1$ si la flèche de u_k est dans le sens de parcours, -1 sinon. Origine : le potentiel est une fonction univoque du point, $\sum_k (V_{A_k} - V_{A_{k+1}}) = 0$.
- Réseau à n nœuds et b branches : $n-1$ lois des nœuds et $b-n+1$ lois des mailles indépendantes, soit b équations pour les b intensités.

V Dipôles, conventions et puissance



convention récepteur
flèches de i et u opposées : $ui = \mathcal{P}_{\text{reçue}}$



convention générateur
flèches de i et u de même sens : $ui = \mathcal{P}_{\text{fournie}}$

Puissance électrique R D

$$\mathcal{P}_{\text{reçue}} = u\, i \quad \text{(convention récepteur)} \qquad\qquad W_{t_1 \to t_2} = \int_{t_1}^{t_2} u\, i\, \mathrm{d}t$$

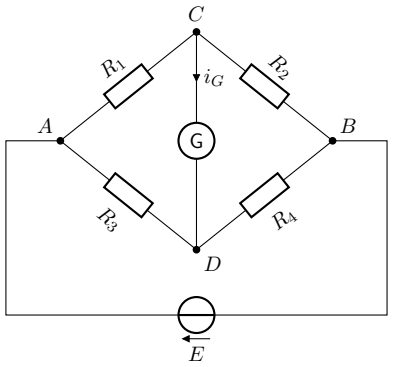
Justification : pendant $\mathrm{d}t$, la charge $\delta q = i\,\mathrm{d}t$ passe de V_A à V_B et cède au dipôle l'énergie $\delta q\,(V_A - V_B) = u\, i\, \mathrm{d}t$.

- En convention récepteur : $\mathcal{P}_{\text{reçue}} > 0$: comportement **récepteur** ; $\mathcal{P}_{\text{reçue}} < 0$: comportement **générateur**. Ce comportement est physique : il ne dépend pas de la convention.
- **Conservation** : la somme des puissances reçues par tous les dipôles d'un circuit est nulle à chaque instant.
- Dipôles idéaux : fil ou interrupteur fermé : $u = 0$; interrupteur ouvert : $i = 0$ (mais $u \neq 0$ en général).

★ À retenir

Grandeur	Définition	Unité	Mesure	Loi associée
Intensité	$i = \delta q/\mathrm{d}t$	ampère (A)	ampèremètre en série	loi des nœuds
Tension	$u_{AB} = V_A - V_B$	volt (V)	voltmètre en dérivation	loi des mailles
Puissance	$\mathcal{P} = ui$	watt (W)	wattmètre	conservation
Énergie	$W = \int ui\,\mathrm{d}t$	joule ; $1\,\mathrm{kW{\cdot}h} = 3{,}6\times 10^6\,\mathrm{J}$	compteur électrique	

VI Application : le pont de Wheatstone



Condition d'équilibre R D

Pont équilibré : $i_G = 0$, donc $V_C = V_D$. Alors R_1, R_2 sont parcourues par le même i, R_3, R_4 par le même i' ; les mailles ACD et CBD donnent $R_1 i = R_3 i'$ et $R_2 i = R_4 i'$:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

Méthode de zéro : $R_1 = R_2 R_3 / R_4$, indépendant de E et de l'étalonnage du galvanomètre.

Ordres de grandeur

Intensités	électronique de signal : µA à mA ; domestique : 0,1 A à 10 A ; démarreur, TGV : 100 A à 1 kA ; foudre : 10 à 100 kA.
Tensions	capteur : µV à mV ; électronique : 5 à 15 V ; secteur : 230 V efficaces ; lignes THT : 400 kV.
Puissances	LED : 50 mW ; ordinateur portable : 50 W ; bouilloire : 2 kW ; réacteur nucléaire : 1 GW.
Microscopique	cuivre : $n \approx 8{,}5 \times 10^{28}\,\mathrm{m^{-3}}$; vitesse de dérive pour 10 A dans 2,5 mm² : $v \approx 0{,}3\,\mathrm{mm \cdot s^{-1}}$.

VII Méthodes et pièges

☞ Méthode — Résoudre un réseau par les lois de Kirchhoff M

1. Vérifier l'ARQP ; repérer nœuds, branches et mailles indépendantes.
2. Orienter **une** intensité par branche en appliquant directement la loi des nœuds sur le schéma (minimise les inconnues).
3. Flécher les tensions (convention récepteur pour les dipôles passifs) et écrire les relations courant-tension.
4. Écrire une loi des mailles par maille indépendante en parcourant la maille : $+u_k$ si la flèche suit le sens de parcours, $-u_k$ sinon.

5. Résoudre, puis contrôler par un bilan de puissance ($\sum \mathcal{P}_{\text{reçue}} = 0$).

✗ Attention, erreurs fréquentes

- La flèche de u_{AB} va de B vers A (pointe vers le point dont le potentiel est écrit en premier).
- Une convention est un **choix d'orientation** : elle ne dit rien du comportement réel ; une source de tension n'est pas toujours génératrice.
- La tension aux bornes d'un interrupteur ouvert n'est pas nulle ; c'est l'intensité qui l'est.
- Les lois de Kirchhoff ne s'appliquent pas hors ARQP (hautes fréquences, très grands circuits).
- Deux points reliés par un fil ont le même potentiel : redessiner le schéma aide à voir les dipôles en parallèle.

Savoir-faire : je coche quand je sais

- ☐ Je sais définir l'intensité comme un débit de charge et relier i à $\vec{j} = nq\vec{v}$.
- ☐ Je sais flécher une tension et calculer une d.d.p. par la relation de Chasles.
- ☐ Je sais énoncer et vérifier la condition de l'ARQP sur un exemple numérique.
- ☐ Je sais écrire sans erreur de signe la loi des nœuds et la loi des mailles, et justifier leur origine.
- ☐ Je sais exprimer la puissance reçue ou fournie et conclure sur le caractère générateur ou récepteur.
- ☐ Je sais brancher voltmètre, ampèremètre et oscilloscope (problème des masses).
- ☐ Je sais établir la condition d'équilibre du pont de Wheatstone.