

Approfondissement Énergie électrique

Puissance maximale, lenteur des électrons, associations de piles, incertitudes, rendements en chaîne

5 exercices · niveau ●●● · durée conseillée : 3 h · calculatrice autorisée

■ RAPPEL — Le modèle d'une source réelle de tension

$U_{PN} = E - rI$ (E : tension à vide, r : résistance interne).

Exercice 1 Puissance maximale ou rendement maximal ? ●●●

Un générateur de tension à vide $E = 12\text{ V}$ et de résistance interne $r = 2,0\ \Omega$ alimente un conducteur ohmique de résistance R réglable. On note $P(R)$ la puissance reçue par le conducteur ohmique (figure 1) et $\eta = P/(EI)$ le rendement du générateur.

- 1.1 Montrer que $I = E/(R + r)$, puis que $P(R) = E^2 R / (R + r)^2$ et $\eta = R / (R + r)$.
- 1.2 Pour aller plus loin (dérivation) : montrer que $P'(R) = E^2 (r - R) / (R + r)^3$. En déduire que P est maximale pour $R = r$ et que $P_{\max} = E^2 / (4r)$. Vérifier sur la figure 1.
- 1.3 Que vaut le rendement quand la puissance reçue est maximale ? Calculer P et η pour $R = 8,0\ \Omega$.
- 1.4 Une centrale électrique doit-elle fonctionner à puissance maximale au sens de la question 1.2 ? Argumenter.

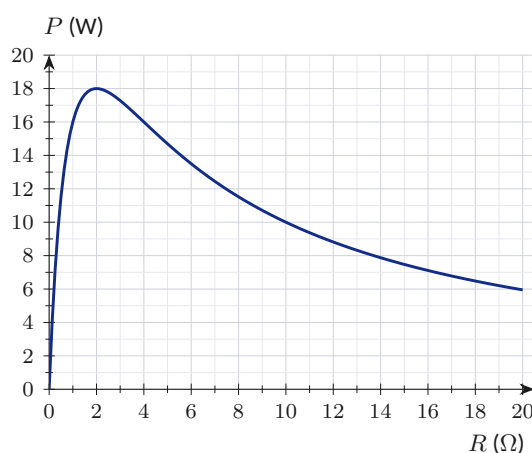


Figure 1 — Puissance reçue par le conducteur ohmique

Exercice 2 Les électrons sont lents (hors programme — pour aller plus loin) ●●●

Un fil de cuivre de section $S = 1,5\text{ mm}^2$ est parcouru par un courant d'intensité $I = 10\text{ A}$. Le cuivre contient $n = 8,5 \times 10^{28}$ électrons libres par mètre cube. On admet que ces électrons se déplacent tous, en moyenne, à la même vitesse v le long du fil.

■ DONNÉES charge élémentaire $e = 1,60 \times 10^{-19}\text{ C}$

- 2.1 Pendant une durée Δt , les électrons qui traversent une section du fil sont ceux contenus dans un cylindre de section S et de longueur $v \Delta t$. Montrer que $I = n e S v$.
- 2.2 Calculer v , en $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Combien de temps faut-il à un électron pour parcourir les 10 m de fil qui séparent l'interrupteur d'une lampe ?
- 2.3 Pourtant, la lampe s'allume dès que l'on ferme l'interrupteur. Proposer une explication, en s'appuyant sur l'analogie d'un tuyau déjà rempli de billes que l'on pousse à une extrémité.

Exercice 3 En série ou en parallèle ? (pour aller plus loin) ●●●

On dispose de deux piles identiques de tension à vide $E = 1,5\text{ V}$ et de résistance interne $r = 0,30\ \Omega$.

- 3.1 Les deux piles sont associées en série (borne + de l'une reliée à la borne – de l'autre). À l'aide de la loi des mailles, montrer que l'association se comporte comme un générateur unique de tension à vide $2E$ et de résistance interne $2r$.

- 3.2** Les deux piles sont associées en parallèle (bornes de même signe reliées). En utilisant la loi des nœuds et la symétrie du montage, montrer que l'association équivaut à un générateur de tension à vide E et de résistance interne $r/2$.
- 3.3** Sur un même graphique, tracer les caractéristiques $U(I)$ d'une pile seule et des deux associations, pour I compris entre 0 et 5 A.
- 3.4** L'association alimente un conducteur ohmique de résistance R . Calculer l'intensité du courant pour chaque association lorsque $R = 0,50 \, \Omega$, puis lorsque $R = 0,10 \, \Omega$. Montrer que l'association en série fournit le courant le plus intense si et seulement si $R > r$.

Exercice 4 Une mesure collective de résistance interne



Dix groupes d'élèves ont mesuré la résistance interne d'un même modèle de pile ; le programme ci-dessous exploite leurs résultats.

```
1 from math import sqrt
2 r = [1.52, 1.57, 1.46, 1.55, 1.54,
3     1.48, 1.59, 1.50, 1.49, 1.50] # en ohm
4 n = len(r)
5 moy = sum(r) / n
6 s = sqrt(sum((x - moy)**2 for x in r) / (n - 1))
7 u = s / sqrt(n)
8 print(moy, s, u)
```

4.1 Que représentent les grandeurs moy, s et u ? Quel type d'évaluation d'incertitude met-on ainsi en œuvre ?

4.2 Calculer les valeurs affichées par le programme.

- 4.3** Écrire le résultat de la mesure collective. Le fabricant indique $r_{\text{réf}} = 1,50 \, \Omega$: le résultat est-il compatible avec cette valeur (critère : $|\bar{r} - r_{\text{réf}}|/u < 2$) ?
- 4.4** Un seul groupe aurait-il pu obtenir une incertitude aussi faible ? Expliquer l'intérêt de multiplier les mesures indépendantes. Combien de mesures faudrait-il pour diviser u par 2 ?

Exercice 5 De la centrale à la roue : rendements en chaîne



Une voiture électrique a besoin, pour parcourir 100 km, d'une énergie mécanique $\mathcal{E}_m = 12 \text{ kWh}$ aux roues. L'électricité est produite par une centrale nucléaire. Le tableau donne le rendement de chaque convertisseur de la chaîne.

Centrale	Lignes de transport et de distribution	Borne de recharge	Batterie (charge puis décharge)	Moteur et électronique
33 %	94 %	90 %	90 %	92 %

- 5.1** Représenter la chaîne énergétique complète, depuis l'énergie nucléaire jusqu'à l'énergie mécanique. Montrer que le rendement global est le produit des rendements et le calculer. En déduire l'énergie « primaire », libérée dans le réacteur, nécessaire pour parcourir 100 km.
- 5.2** Quelle énergie électrique la borne de recharge doit-elle recevoir du réseau pour 100 km ? Calculer son coût, cette énergie étant facturée 0,40 € le kWh (borne rapide).
- 5.3** Une voiture à essence comparable consomme 5,0 L aux 100 km ; l'énergie libérée par la combustion d'un litre d'essence est de 8,9 kWh. Calculer le rendement de son moteur. Comparer l'énergie « primaire » consommée par les deux voitures. Comment la conclusion change-t-elle si l'électricité est produite par un barrage hydroélectrique (rendement 90 %) ?