

Chap 5 : Les transferts d'énergie dans les récepteurs, les générateurs et les circuits électriques en courant continu (6h)

4.1. Récepteurs électriques

a) Définitions

Un récepteur électrique est un élément d'un circuit électrique qui consomme de l'énergie électrique ou plus précisément qui reçoit une énergie transférée par le travail électrique et la transforme en d'autres formes d'énergies : c'est un convertisseur d'énergie.

Nous distinguons deux types de récepteurs : **Les récepteurs passifs et les récepteurs actifs**

-Un récepteur est dit **passif**, si toute l'énergie qu'il reçoit est transformée uniquement sous forme de chaleur et rayonnement thermique.

Exemples : les conducteurs ohmiques ; les diodes ; des lampes à incandescence des appareils de chauffage en général...

-Un récepteur est dit **actif**, s'il convertit une partie de l'énergie électrique qu'il reçoit en une forme d'énergie autre que l'énergie thermique, le reste d'énergie est rejetée sous forme de chaleur et rayonnement.

Exemples : les moteurs électriques et électrolyseur

b) Générateurs

Un générateur électrique est un dipôle qui convertit en énergie électrique une autre forme d'énergie. Nous distinguons trois types de générateurs à courant continu suivant la forme d'énergie transformée :

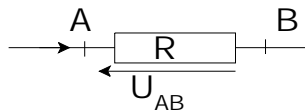
-Les piles ou accumulateurs électrochimiques : l'énergie transformée est sous forme **chimique**.

-Les dynamos ou génératrices : l'énergie transformée est sous forme **mécanique**.

-Les photopiles ou cellules photovoltaïques : l'énergie transformée est sous forme de **rayonnement**.

4.2. Puissance et énergie reçues par un dipôle récepteur

Nous conviendrons d'appeler « tension aux bornes d'un récepteur » la tension U_{AB} , ou différence de potentiel $V_A - V_B$ et I l'intensité du courant traversant le récepteur de A vers B.



Nous admettrons que la puissance électrique P_{el} reçue par un récepteur est donnée par

expression suivante : $P_{el} = U_{AB} \times I \Leftrightarrow \begin{cases} P_{el}: \text{puissance recue en watt (W)} \\ U_{AB}: \text{tension, convention récepteur en volt (V)} \\ I: \text{intensité du courant en ampère (A)} \end{cases}$

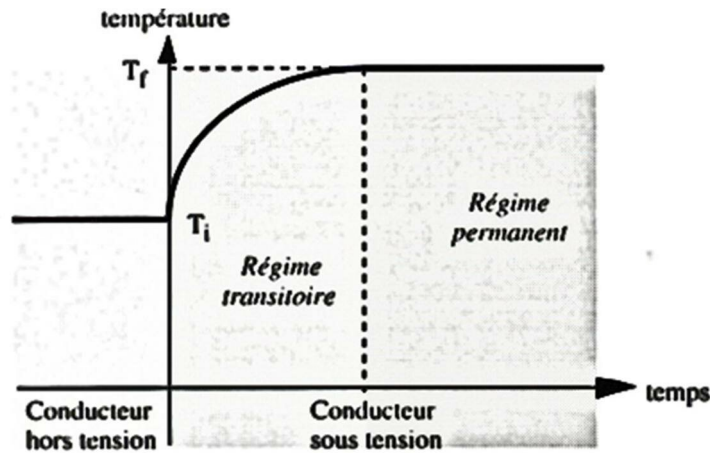
L'énergie électrique reçue par un récepteur pendant un intervalle de temps est proportionnelle à la puissance reçue et à la durée de l'intervalle de temps.

$$W_{el} = P_{el} \cdot \Delta t = U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t$$

Rappel : $1 \text{ Kwh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ et $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$

4.3. Récepteurs passifs

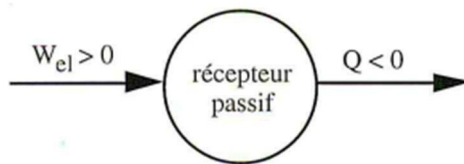
Tout conducteur parcouru par un courant s'échauffe, sa température augmente (c'est le régime **transitoire** ou d'échauffement), puis se fixe à une certaine valeur (c'est le régime **permanent**).



L'énergie électrique reçue par le conducteur est convertie en chaleur-rayonnement :

Ce phénomène de conversion est appelé **l'effet joule**.

- Dans le cas d'un récepteur passif en régime permanent, toute l'énergie reçue est transformée en chaleur-rayonnement par effet joule.



Soit P_J la puissance transférée à l'environnement par effet joule.

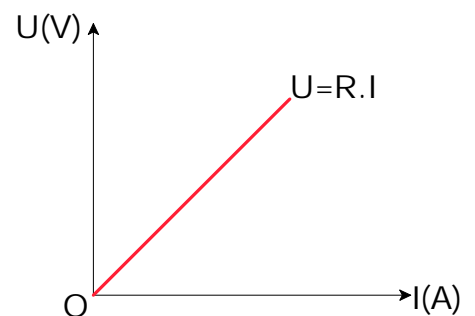
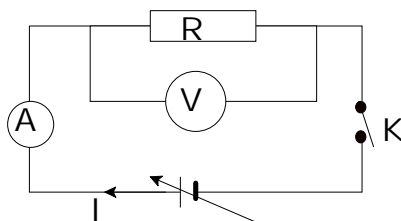
L'équation de transfert en régime permanent permet d'écrire : $W_{el} + Q = 0 \rightarrow P_{el} = P_J$

- Dans le cas d'un conducteur ohmique où, la tension est proportionnelle à l'intensité du courant ; le coefficient de proportionnalité s'appelle la résistance et est noté **R**.

Montage expérimental

La caractéristique $U=f(I)$ est linéaire et passe par l'origine du repère.

I(A)	0	1	2	3	4	5
U(V)	0	5	10	15	20	25



Conclusion : Nous pouvons alors exprimer la puissance dissipée par **effet joule** en

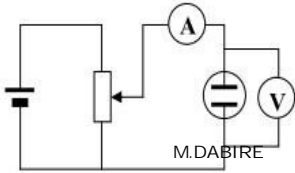
fonction de la résistance du conducteur ohmique : $P_J = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} \begin{cases} U(V) \\ R(\Omega) \end{cases}$

4.4. Récepteurs actifs

a)Expérience

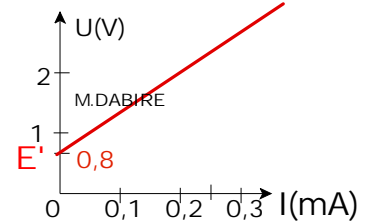
Le montage ci-dessous permet de faire des relevés des mesures nécessaires au tracé de la caractéristique d'un électrolyseur.

Montage



I(mA)	0	0	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	1	1,1
U(V)	0	0,8	1,9	2,7	3	3,6	3,9	4,7	5

Graphe



La caractéristique est une droite ne passant par l'origine.

Son équation est :

$U_{AB} = E' + r'I$ c'est la relation de la loi d'Ohm pour un récepteur actif.

- r' : est la résistance interne du récepteur en ohm(Ω) qui est la pente ($r' = \frac{\Delta U}{\Delta I}$)
- U_{AB} : est la tension aux bornes du récepteur en volt(V).
- I : est l'intensité du courant traversant le récepteur en Ampère(A) .
- E' : est la force contre-électromotrice **f.c.é.m** du récepteur en volt(V). E' est la tension minimale à appliquer aux bornes du récepteur pour qu'il produise une conversion d'énergie .

N.B : Un récepteur actif AB de **f.c.é.m** , E' et de résistance interne r' se note (E', r') .

b) Bilan énergétique

Pour les récepteurs actifs, l'énergie électrique reçue W_{el} est convertie en une forme « **noble** » d'énergie ou énergie utile W_u et en chaleur-rayonnement (Q).

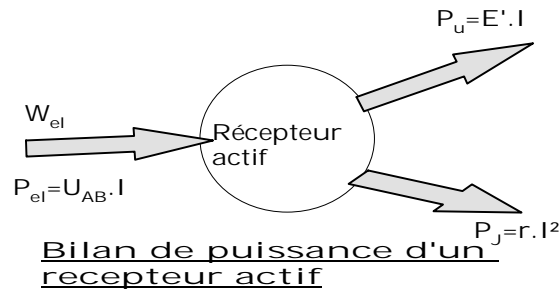
Les relations de transfert sont ainsi définies :

- En énergie : $W_{el} + W_u + Q = 0$
- En puissance

Multiplions par I les deux membres de l'égalité suivante : $U_{AB} = E' + r'I$

On obtient : $U \cdot I = E' \cdot I + r' \cdot I^2 \Leftrightarrow \begin{cases} U \cdot I = P_{el} \\ E' \cdot I = P_u \\ r' \cdot I^2 = P_J \end{cases} \text{ d'où } P_{el} = P_u + P_J$

La puissance électrique P_{el} est la somme de la puissance utile P_u et de la puissance perdue par effet joule P_J .



Le rendement de la conversion d'un récepteur actif est noté η peut s'exprimer en fonction des énergies ($W=P.\Delta t$) et des puissances :

$$\eta = \frac{W_u}{W_{el}} = \frac{P_u}{P_{el}} = \frac{E'.I}{U.I} = \frac{E'}{U} \quad \text{ou} \quad P_u = \frac{\eta}{1-\eta} \times P_J$$

EXERCICE D'application

- 1) Une machine électrique en fonctionnement dissipe une puissance de 200W.
 - a) Donner l'expression de son rendement η
 - b) Donner l'expression de sa puissance électrique reçue en fonction du rendement et de la puissance perdue par effet joule. Que vaut alors la valeur de la puissance électrique reçue sachant que le rendement vaut 35%
 - c) Calculer la puissance utilisée par la machine.
- 2) On donne la tension du moteur $U=24V$. Calculer :
 - a) L'intensité du courant qui traverse ce dipôle.
 - b) Calculer sa f.c.é.m. ainsi que sa résistance interne.

Réponse 1) $\eta = \frac{P_u}{P_{el}}$ b) $P_{el} = \frac{P_J}{1-\eta}$ $P_{el} = 307,7W$; c) $P_u = \eta P_{el}$ $P_u = 107,7W$

- 2) Calculons : a) $P_{el} = U.I$ avec $U=24V$ donc $I = 12,82A$
 b) $P_u = E'.I$ donc $E' = 8,84V$ et $P_J = rI^2$ donc $r = 1,22\Omega$

4.3. Les générateurs électriques continus

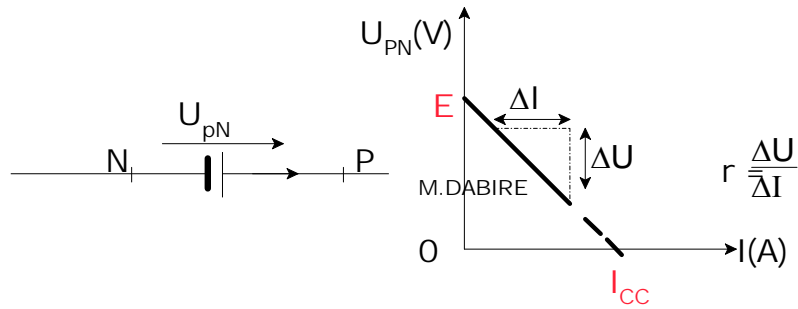
a) Définitions

- Le générateur est un dipôle qui convertit un type d'énergie (chimie, mécanique, lumineuse) en énergie électrique cédée au différent récepteur d'un circuit électrique.

Exemple : la pile, les batteries, les photopiles

b) Caractéristiques d'un générateur

Rappel : Loi d'ohm pour un générateur



L'allure de la courbe est décroissante et la relation entre la tension U_{PN} aux bornes du générateur et l'intensité du courant débité est donnée par la relation :

$U_{NP} = E - r \cdot I$, c'est la loi d'ohm pour un générateur

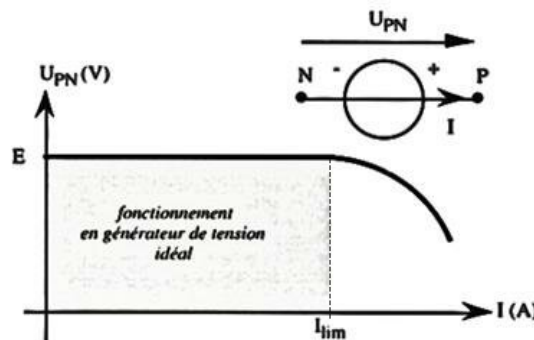
$\left\{ \begin{array}{l} \textcolor{red}{E}: \text{est la force électromotrice f.é.m du générateur} \\ \textcolor{red}{r}: \text{est la résistance interne du générateur} \\ \textcolor{red}{I}: \text{intensité du courant traversant le générateur en ampère(A)} \end{array} \right.$

Un générateur de f.é.m. E et de résistance interne r se note (E, r)

N.B : En court-circuit , $U_{NP} = E - r \cdot I_{cc} = 0 \leftrightarrow \boxed{I_{cc} = \frac{E}{r}}$

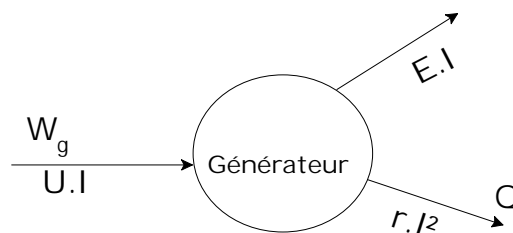
c) Cas de générateur idéal

Un générateur de **tension idéal** est un générateur pour lequel la tension U_{PN} est constante et indépendante du courant débité. Dans ces conditions ; la résistance interne est nulle ($r=0$) et la tension aux bornes du générateur est alors égale à la **force électromotrice f.é.m E** : **$U_{PN} = E$**



d) Bilan énergétique et rendement

L'énergie W_g provient de la diminution d'un stock d'énergie qui est représenté sur le schéma, appelée **l'énergie générée (W_g)** ou énergie totale (W_t)



Bilan énergétique

En régime permanent nous pouvons écrire les relations suivantes:

• En énergie on a : $W_g = W_{el} + Q$

• En puissance ; on a : $U_{PN} \cdot I = E \cdot I - r \cdot I^2$

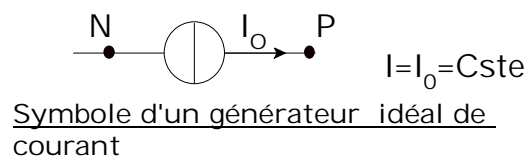
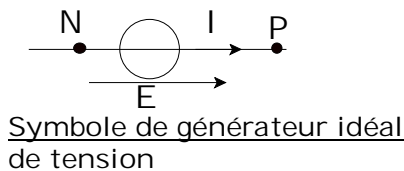
Multiplions par I les deux membres de la relation tension-intensité d'un générateur non

idéal : $U_{PN} \cdot I = E \cdot I - r \cdot I^2 \Leftrightarrow \begin{cases} U_{PN} \cdot I = P_g \\ E \cdot I = P_{el} \\ r \cdot I^2 = P_J \end{cases} \text{ donc } \boxed{P_g = P_{el} + P_J}$

- P_g est la puissance générée ou puissance totale P_t .
- P_{el} est la puissance électrique aux bornes du générateur .
- P_J est la puissance dissipée par effet joule par le générateur.

Le rendement de la conversation d'un générateur est : $\boxed{\eta = \frac{W_{el}}{W_g} = \frac{P_{el}}{P_g} = \frac{U_{PN} \cdot I}{E \cdot I} = \frac{U_{PN}}{E}}$

Dans le cas d'un générateur de tension en fonctionnement idéal ; la puissance électrique disponible est égale à la puissance générée : $\boxed{P_g = P_{el}}$



Exercice d'applications

Un générateur a une f.é.m. de 9V et une résistance interne $r=2\Omega$. Il débite un courant d'intensité 2A. Calculer :

- La puissance électrique totale engendrée
- La puissance dissipée par effet joule à l'intérieur du générateur.
- La puissance électrique disponible à ses bornes
- Calculer le rendement du générateur

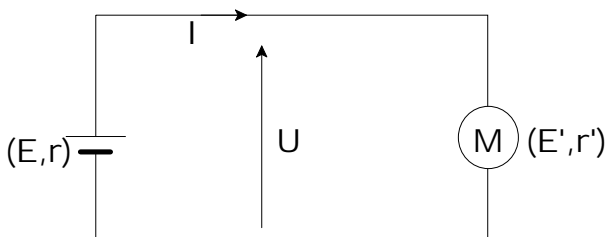
Réponses

a) $P_g = E \cdot I = 9 \cdot 2 = 18W$ b) $P_J = rI^2 = 2 \cdot 2^2 = 8W$ c) $P_{el} = EI - rI = P_g - rI = 18 - 8 = 10W$ d) $\eta = \frac{P_{el}}{P_g} = 0,56$

4.4. Bilan énergétique d'un circuit électrique

a) Exemples

Considérons un circuit électrique comprenant un générateur G de f.é.m. ; $E=24V$ et de résistance interne $r=2\Omega$ et un moteur M de f.c.é.m. $E'=12V$ et de résistance interne $r'=4\Omega$. Calculons la tension et l'intensité totales du circuit.



Réponses : La tension U aux bornes du générateur G est égale à la tension aux bornes du moteur :

En appliquant la loi de La loi de Pouillet :

On a $\Rightarrow I = \frac{E-E'}{r+r'}$

A.N : $I = 2A$

Rappel : Loi de Pouillet :

$$I = \frac{\sum E}{\sum R}$$

Par la loi des mailles : $U = U' \Rightarrow E - r \cdot I = E' + r' \cdot I$

AN : $U = 24V - 4V = 20V$

Etablissons le bilan de puissance du générateur et du moteur

- Pour le générateur

$P_g = E \cdot I$	$P_{el} = U \cdot I$	$P_J = r \cdot I^2$
48 W	40 W	8 W

- Pour le moteur

$P_{el} = U \cdot I$	$P_u = E' \cdot I$	$P_J = r' \cdot I^2$
40 W	24 W	16 W

Conclusion : La puissance générée est égale à la somme des puissances transférée en fin de chaine .Ce résultat peut être généralisé à n'importe quel circuit électrique :

$$P_g = P_u + P_J$$

b) Généralisation

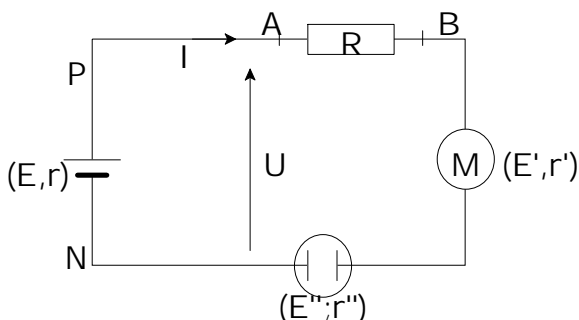
Dans un circuit électrique, la puissance électrique P_{el} disponible aux bornes du générateur est égale à la puissance électrique totale consommée par le reste du circuit. La puissance électrique totale générée par les générateurs est égale à la somme des puissances utiles converties par les récepteurs et des puissances dissipée par effet joule :

$$\sum P_g = \sum P_u + \sum P_J$$

N.B :Ce résultat traduit le principe de la conservation de l'énergie pour les circuits électriques.

Exercice d'application

Considérons le circuit suivant :



a) Déterminer I en fonction de E, E', E'', r et r'' .

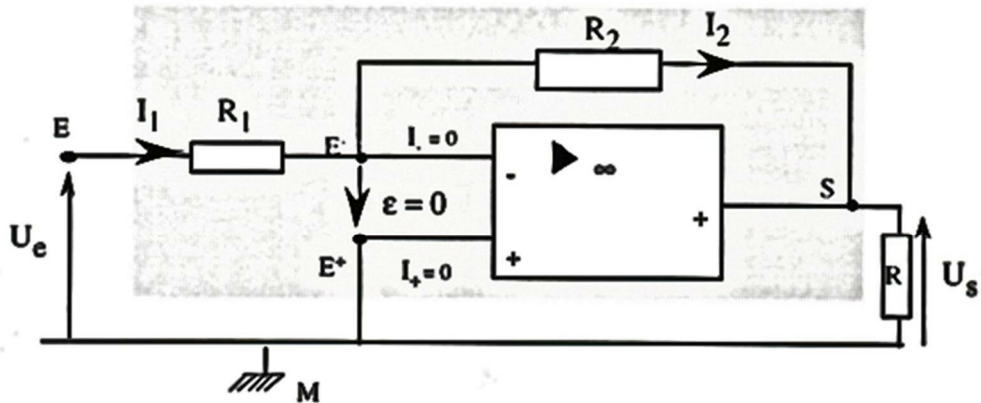
b) Trouver l'expression de la puissance générée ou puissance totale dans le circuit

Réponse : a) $I = \frac{E - \sum E'}{R}$ loi de Pouillet

b) $P_g = \sum P_u + \sum P_J$

4.4.1. Bilan énergétique d'un montage électronique(classe 1ère C et E)

L'étude énergétique d'un montage électronique est analogue à celle d'un circuit classique .Etudions le cas d'un circuit amplificateur avec un amplificateur opérationnel.



$$R_1 = 1,1 \text{ k}\Omega, R_2 = 22 \text{ k}\Omega, R = 3,3 \text{ k}\Omega, U_e = +0,47 \text{ V}.$$

Nous reconnaissons le montage **amplificateur inverseur** pour lequel le gain en tension

$$G \text{ est : } G = \frac{U_s}{U_e} = -\frac{R_2}{R_1} = \frac{-22}{1,1} = -20 \Rightarrow U_s = -20 \times 0,47 = -9,4 \text{ V}$$

La puissance P_s à la sortie est dissipée par effet joule par la résistance R :

$$P_s = \frac{U_s^2}{R} = \frac{(-9,4)^2}{3,3 \cdot 10^3} = 27 \cdot 10^{-3} \text{ W} = 27 \text{ mW}$$

La puissance P_e à l'entrée est la puissance électrique disponible entre la borne E et la masse M : $P_{el} = U_e \cdot I_1$

La borne E^- est une masse virtuelle donc : $U_{EM} = U_{EE^-} \Rightarrow U_e = R_1 I_1$

Nous obtenons alors :

$$I_1 = \frac{U_e}{R_1} = \frac{0,47}{1,1 \cdot 10^3} = 0,43 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 0,43 \text{ mA}$$

La puissance d'entrée vaut:

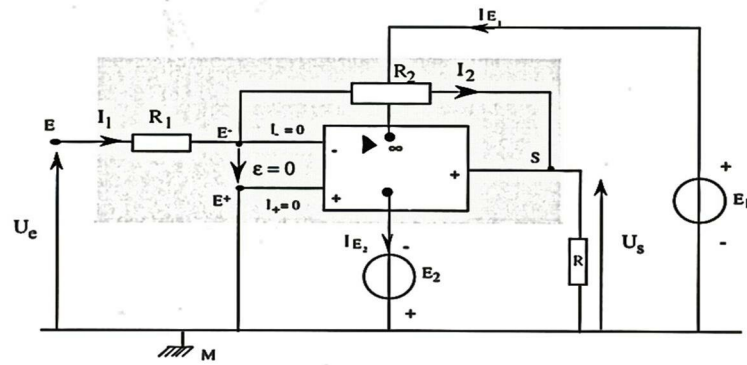
$$\text{On peut alors définir le gain en puissance du montage: } G_p = \frac{P_s}{P_e} = \frac{27 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 135$$

Comment un tel gain de puissance est-il possible ?

N'oublions pas que l'amplificateur opérationnel est alimenté par des générateurs de tension symétrique et que ce sont ces générateurs qui fournissent la puissance nécessaire à l'amplification.

Dans notre montage l'amplificateur opérationnel est alimenté par deux générateurs de tension idéaux de forces électromotrices $E_1 = E_2 = E = +15 \text{ V}$ débitant des courants d'intensités $I_{E1} = 4,2 \text{ mA}$ et $I_{E2} = 7,5 \text{ mA}$.

Le schéma suivant indique l'ensemble des connexions du montage amplificateur :



La puissance fournie par les alimentations est :

- La puissance d'entrée P_e est négligeable devant la puissance d'alimentation P_{alim} .
- La puissance totale reçue par le montage amplificateur est :

$$P_{tot} = P_{alim} + P_e \approx P_{alim} = 175 \text{ mW.}$$

Nous définissons le rendement du montage :

$$\eta = \frac{P_S}{P_{tot}} = \frac{27}{175} \approx 0,15$$

Les pertes représentent 85% de la puissance totale soit :

$$P_P = 175 \cdot 10^{-3} \times 0,85 = 148 \cdot 10^{-3} \text{ W} = 148 \text{ mW}$$

La puissance perdue est égale à la somme des puissances dissipées par effet joule par les résistances R_1 ; R_2 et l'amplificateur opérationnel :

$$P_P = P_{J_1} + P_{J_2} + P_{J_{AO}}$$

Calculons les puissances dissipées par les deux résistances :

$$P_{J_1} = R_1 I_1^2 = 1,1 \cdot 10^3 \times (0,43 \cdot 10^{-3})^2 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

$$P_{J_2} = R_2 I_2^2 = 22 \cdot 10^3 \times (0,43 \cdot 10^{-3})^2 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

Nous constatons que les puissances dissipées par effet joule par les résistances R_1 et R_2 sont faibles devant la puissance totale perdue .Nous pouvons en conclure que les pertes principales se produisent dans l'amplificateur opérationnel.

$$P_{J_{AO}} = P_P - P_{J_1} - P_{J_2} \Rightarrow P_{J_{AO}} = 148 - 0,2 - 4 = 143,8 \approx 144 \text{ mW}$$

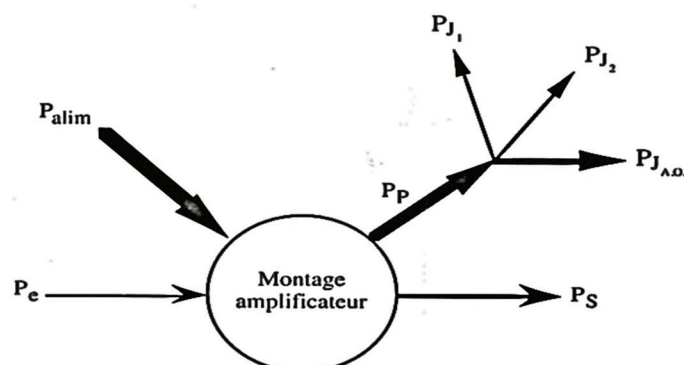


Schéma énergétique du montage amplification