

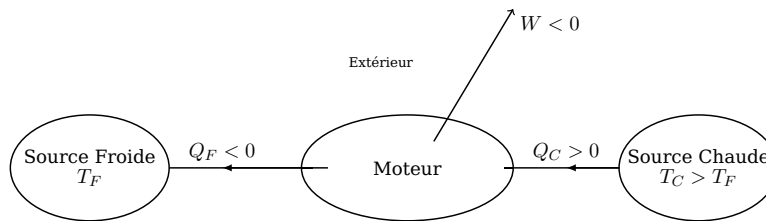
L'énergie électrique : Centrale REP

1 Préliminaire : cycle thermodynamique de Carnot

1.1-

$$W < 0 \quad , \quad Q_c > 0 \quad , \quad Q_F < 0$$

1.2- Schéma fonctionnel du système :



1.3-

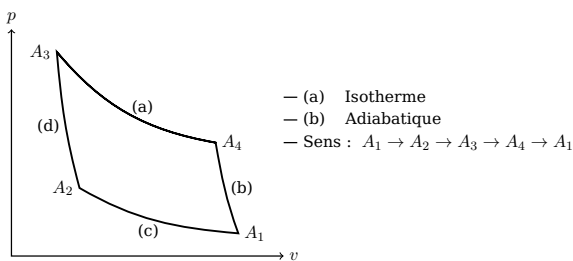


Figure 1 – Cycle de Carnot : diagramme (p, v)

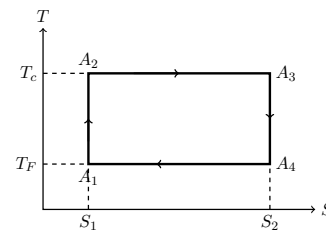


Figure 2 – Cycle de Carnot : diagramme (T, S)

premier principe de la thermodynamique

1.4-
$$\Delta U = Q_c + Q_F + W = 0$$

second principe de la thermodynamique

$$\Delta S = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_F}{T_F} = 0$$

1.5-

$$\eta_c = -\frac{W}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_F}{Q_c} = 1 - \frac{T_F}{T_c}$$

1.6- second principe de la thermodynamique

$$\Delta S = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_F}{T_F} + S_p = 0$$

rendement :

$$\eta_c = -\frac{W}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_F}{Q_c} = 1 - \frac{T_F}{T_c} - \frac{S_p T_F}{Q_c}$$

1.7-

$$S_p \geq 0 \quad Q_c > 0 \quad \Rightarrow \quad \eta = \eta_c - \frac{S_p T_F}{Q_c} \leq \eta_c$$

2 Uranium : Combustible du REP

2.1- Energie libérée par la fission de l'uranium $^{235}_{92}\text{U}$

2.1.1.

$$\begin{aligned}\Delta m &= m({}_{54}^{139}\text{Xe}) + m({}_{38}^{95}\text{Sr}) + m({}_0^1\text{n}) - m({}_{92}^{235}\text{U}) = -0,211 \text{ u} \\ E &= |\Delta m|c^2 = 0,211 \text{ uc}^2 \\ &= 196,5 \text{ Mev}\end{aligned}$$

2.1.2. Le nombre de noyau dans un gramme d'Uranium ${}_{92}^{235}\text{U}$:

$$N = \frac{m}{m({}_{92}^{235}\text{U})} = \frac{10^{-3}}{235,120 \times 1,661 \times 10^{-27}} = 6,02 \times 10^{23}$$

Soit :

$$Q = NE = \frac{1,18 \times 10^{26}}{235,120} \text{ Mev} = 80,54 \text{ J}$$

2.2- Enrichissement de l'uranium

2.2.1. Principe de l'ultra-centrifugation

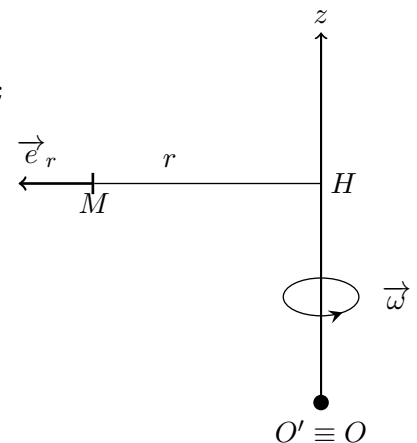
$$\vec{a}(M/\mathcal{R}) = \vec{a}(M/\mathcal{R}') + \vec{a}(O'/\mathcal{R}) + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \wedge \overrightarrow{O'M} + \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \overrightarrow{O'M}) + 2\vec{\omega} \wedge \vec{v}(M/\mathcal{R}') \quad (1)$$

2.2.1.1. En utilisant la notion du point coïncident :

$$\vec{a}_e = \vec{a}(M \in \mathcal{R}'/\mathcal{R}) = \vec{a}(O'/\mathcal{R}) + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \wedge \overrightarrow{O'M} + \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \overrightarrow{O'M})$$

- rotation uniforme, autour d'un axe fixe, à la vitesse $\vec{\omega} : \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \vec{0}$;
- O' , qui coïncide avec O , est fixe dans $\mathcal{R} : \vec{a}(O'/\mathcal{R}) = \vec{0}$;
- l'accélération d'entraînement s'écrit :

$$\begin{aligned}\vec{a}_e &= \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \overrightarrow{O'M}) \\ &= \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \overrightarrow{HM}) \\ &= -\omega^2 \overrightarrow{HM} \\ &= -\omega^2 r \vec{e}_r\end{aligned}$$



L'accélération d'entraînement est l'accélération, par rapport à \mathcal{R} , d'un point coïncident M_o de \mathcal{M} dans \mathcal{R}' : la trajectoire de M_o ou de M , dans \mathcal{R} , est circulaire uniforme à l'accélération $\omega^2 \|\overrightarrow{HM}\|$ centrifuge (dirigée de M vers H) ; soit :

$$\vec{a}_e = -\omega^2 \overrightarrow{HM}$$

- o La force centrifuge :

$$\vec{F}_e = -m \vec{a}_e = m\omega^2 r \vec{e}_r$$

- o La force par unité de volume : une particule fluide de masse $dm = \mu d\tau$ est soumise à l'action de $d\vec{f}_e = -dm \vec{a}_e = -\mu d\tau \vec{a}_e$; soit :

$$\vec{f}_{e,v} = \frac{d\vec{f}_e}{d\tau} = -\mu \vec{a}_e = \mu r \omega^2 \vec{e}_r$$

2.2.1.2. L'énergie potentielle E_p associée à \vec{F}_e est telle que le travail élémentaire $\delta W(\vec{F}_e)$ de \vec{F}_e dans \mathcal{R}' s'écrit (l'énergie potentielle de pesanteur est constante = 0 par référence) :

$$\delta W(\vec{F}_e) = -dE_{pe}$$

$$\begin{aligned}\delta W(\vec{F}_e) &= \vec{F}_e \cdot d\vec{O'M}/\mathcal{R}' = \vec{F}_e \cdot d(\vec{O'H} + \vec{HM})/\mathcal{R}' \\ &= \vec{F}_e \cdot d\vec{HM} = m\omega^2 \vec{HM} \cdot d\vec{HM} \\ &= -d \left[-\frac{m\omega^2}{2} HM^2 + \text{Cte} \right] \\ &= -dE_{pe} \quad \text{ou} \quad E_{pe} = -\frac{m\omega^2}{2} r^2 + \text{Cte}\end{aligned}$$

Soit :

$$E_{pi} = -\frac{1}{2} m\omega^2 r^2$$

2.2.1.3. L'équation de l'hydrostatique s'écrit :

$$\vec{f}_{e,v} + \mu \vec{g} = \mu r\omega^2 \vec{e}_r + \mu \vec{g} = \vec{\text{grad}} p(M)$$

si on ne tient pas compte de la pesanteur (par hypothèse du texte de l'épreuve) :

$$\mu r\omega^2 \vec{e}_r = \vec{\text{grad}} p(r, \theta, z) = \frac{\partial p}{\partial r} \vec{e}_r + \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} \vec{e}_\theta + \frac{\partial p}{\partial z} \vec{e}_z$$

par projection suivant \vec{e}_θ et \vec{e}_z : $\frac{\partial p}{\partial \theta} = \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \Rightarrow p$ est indépendante de θ et z

par projection suivant \vec{e}_r : $\frac{dp(r)}{dr} = \mu r\omega^2$

l'équation d'état d'un gaz parfait : $pV = nRT \Rightarrow p = \frac{\mu}{M_o} RT$

Soit :

$$\frac{dp(r)}{p} = \frac{M_o \omega^2}{RT} r dr \Rightarrow p(r) = p(0) \exp \left(\frac{M_o \omega^2 r^2}{2RT} \right)$$



Si on tient compte de la pesanteur :

$$\mu r\omega^2 \vec{e}_r - \mu g \vec{e}_z = \vec{\text{grad}} p(r, z) = \frac{\partial p}{\partial r} \vec{e}_r + \frac{\partial p}{\partial z} \vec{e}_z$$

$$\text{par projection, avec } p = \frac{\mu RT}{M_o} : \begin{cases} \frac{\partial p(r, z)}{\partial z} = -\mu g = -\frac{M_o g}{RT} \\ \frac{\partial p(r, z)}{\partial r} = \mu r\omega^2 = \frac{M_o p}{RT} r\omega^2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} p(r, z) = f(r) \exp \left(-\frac{M_o g}{RT} z \right) \\ \frac{\partial p(r, z)}{\partial r} = \frac{df(r)}{dr} \exp \left(-\frac{M_o g}{RT} z \right) = \frac{r\omega^2 M_o}{RT} \exp \left(-\frac{M_o g}{RT} z \right) \end{cases}$$

$$\text{soit } f(r) = K \exp \left(-\frac{r^2 \omega^2 M_o g}{2RT} \right) \Rightarrow p(r, z) = K \exp \left(-\frac{r^2 \omega^2 M_o g}{2RT} \right) \exp \left(-\frac{M_o g}{RT} z \right)$$

2.2.1.4. Soit N le nombre de molécules ; l'équation d'état d'un gaz parfait $pV = nRT = \frac{N}{N_a}RT$ et $N^* = \frac{N}{V}$:

$$p(r) = \frac{N^*}{N_a}RT = p(0) \exp\left(\frac{M_o\omega^2 r^2}{2RT}\right)$$

$$\text{soit } N^*(r) = N^*(0) \exp\left(\frac{M_o\omega^2 r^2}{2RT}\right)$$

$$\text{avec } N^*(0) = \frac{N_a p(0)}{RT}$$

2.2.1.5. la fraction $\frac{E_p}{k_B} = -\frac{M_o\omega^2 r^2}{2R}$;

$$E_p = -\frac{M_o\omega^2 r^2 k_B}{2R}$$

$$= -\frac{M_o\omega^2 r^2 k_B}{2N_a k_B} = -\frac{M_o\omega^2 r^2}{2N_a} \quad (R = N_a k_B)$$

le nombre de mole $n = \frac{m}{M_o} = \frac{N}{N_a} \Rightarrow \frac{M_o}{N_a} = \frac{m}{N} = m$ pour une seule molécule ($N = 1$)

$$\text{d'où } E_p = -\frac{1}{2}m\omega^2 r^2 = E_{pi}$$

◇ $\exp\left(\frac{E_p}{k_B T}\right)$: facteur de Boltzmann ;

◇ probabilité d'occupation, des N^* particules, des niveaux d'énergie E_p .

2.2.2. Séparation isotopique

2.2.2.1.

Isotopes	$t_a(T) = \frac{N^*(a)}{N^*(0)} = \exp\left(\frac{M_o\omega^2 a^2}{2RT}\right)$	
$^{235}\text{UF}_6$	$t_a(T' = 300 \text{ K}) = 120,92$	$t_a(T'' = 400 \text{ K}) = 126,01$
$^{238}\text{UF}_6$	$t_a(T' = 300 \text{ K}) = 36,47$	$t_a(T'' = 400 \text{ K}) = 37,61$

2.2.2.2.

$$q = \frac{N_{238}^*(a)N_{235}^*(0)}{N_{238}^*(0)N_{235}^*(a)} = \exp\left[\frac{\omega^2 a^2}{2RT}(M_{238} - M_{235})\right]$$

2.2.2.3. $q(T') = 1,045$ et $q(T'') = 1,037$

2.2.2.4.

- la fraction molaire $x_i = \frac{n_i}{n_{tot}} = \frac{N_i^*}{N^*}$: dans un échantillon $\sum_i x_i = 1$;
- $x_{235}(0) = 0,035$ et $x_{238}(0) = 1 - 0,035 = 0,965$;
- On pose $X = \frac{x_{235}(0)}{x_{235}(a)} = \frac{N_{235}^*(0)}{N_{235}^*(a)}$.

Le rapport :

$$q = X \frac{x_{238}(a)}{x_{238}(0)} = X \frac{1 - x_{235}(a)}{x_{238}(0)} = \frac{X}{0,965} \left(1 - \frac{0,035}{X}\right) \Rightarrow X(T) = 0,965q(T) + 0,035$$

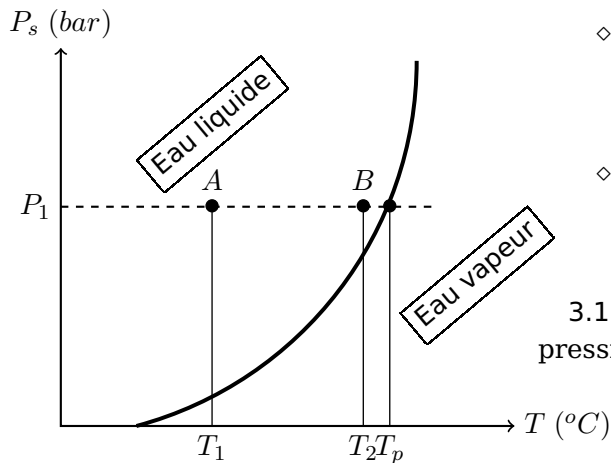
Soit : $X(T) = 0,965 \exp\left[\frac{\omega^2 a^2}{2RT}(M_{238} - M_{235})\right] + 0,035$; Application numérique : $\begin{cases} X(T') = 1,04 \\ X(T'') = 1,03 \end{cases}$

3 Étude du cycle de l'eau d'un réacteur à eau pressurisée

3.1- Étude du circuit primaire

3.1.1. Pression de vapeur saturante en fonction de la température

3.1.1.1.



3.1.1.2.

◇ paramètres d'entrée (point A) :

$$P_1 = 155 \text{ bar} \text{ et } T_1 = 284 \text{ }^{\circ}C \mapsto \text{eau liquide}$$

◇ paramètres de sortie (point B) :

$$P_2 = P_1 = 155 \text{ bar} \text{ et } T_2 = 321 \text{ }^{\circ}C \mapsto \text{eau liquide}$$

3.1.1.3. Mélange { eau liquide + eau vapeur } ; la pression est $P_p = P_1 = 155 \text{ bar}$, soit :

$$T_p = 345 \text{ }^{\circ}C$$

3.1.2. Variation de l'enthalpie massique

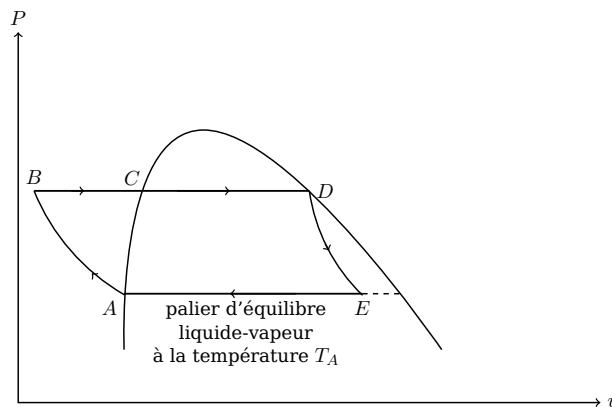
$$\Delta h = c\Delta T = c(T_2 - T_1) = 214,6 \text{ kJkg}^{-1}$$

3.1.3. Débit massique $D_m = \frac{\delta m}{dt}$

$$dP = \frac{\delta Q}{dt} = \frac{\delta m}{dt} dh \Rightarrow P = D_m \Delta h \text{ ou } D_m = \frac{P}{\Delta h} = \frac{2,8 \times 10^9}{214,6 \times 10^3} = 13,05 \times 10^3 \text{ kgs}^{-1}$$

3.2- Étude du circuit secondaire

3.2.1. Diagramme de Clapeyron



3.2.2. La transformation AB est adiabatique réversible ou isentropique : $ds = 0$.

$$\begin{aligned} c_\ell \frac{dT}{T} &= \alpha v_\ell dP \\ c_\ell \ln \left(\frac{T'_B}{T_A} \right) &= \alpha v_\ell (P_B - P_A) \\ T'_B &= T_A \exp \left[\frac{\alpha v_\ell}{c_\ell} (P_B - P_A) \right] \\ \Delta T &= T'_B - T_A = T_A \left[\exp \left[\frac{\alpha v_\ell}{c_\ell} (P_B - P_A) \right] - 1 \right] \end{aligned}$$

Application Numérique : $\Delta T = 303 \left[\exp \left[\frac{3,5 \times 10^{-4} \times 10^{-3}}{4,18 \times 10^3} (85,9 - 0,04) \times 10^5 \right] - 1 \right] = 0,22 \text{ K}$

les températures T'_B et T_A sont égales à 0,072% près !

3.2.3. La transformation DE est adiabatique réversible ou isentropique : $s_D(T_B) = s_E(T_A)$.

$$P_B = P_C = P_D = 85,9 \text{ bar} ; \text{ l'eau est sous forme liquide } \Rightarrow s_E = 5,57 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$$

3.2.4. Théorème des moments

La lecture de la position d'un point M sur le palier de changement d'état permet de déterminer la composition du corps pur diphasé (coexistence liquide-vapeur). Soient x_ℓ son titre massique en liquide et x_v son titre massique en vapeur.

$$x_v LG = LM \quad \text{et} \quad x_\ell LG = LM$$



Soit au terme de l'entropie massique s , le titre massique $x_v = \frac{LM}{LG} = \frac{s_L - s_M}{s_L - s_G}$

Le titre massique en vapeur d'eau, au point E , à la température T_A :

$$x_{v,E}(T_A) = \frac{s_L(T_A) - s_E(T_A)}{s_L(T_A) - s_G(T_A)} = \frac{s_L(T_A) - s_D(T_B)}{s_L(T_A) - s_G(T_A)} = \frac{0,44 - 5,57}{0,44 - 8,46} = 0,64$$

3.2.5. Soit le système physico-chimique diphasé {liquide + vapeur}, de masse m et soient m_ℓ et m_v les masses respectives des phases liquide et vapeur dans le mélange. L'enthalpie H du système :

$$H = H_{\text{liquide}} + H_{\text{vapeur}} = m_\ell h_\ell + m_v h_v = m h \Rightarrow h = x_\ell h_\ell + x_v h_v = (1 - x_v) h_\ell + x_v h_v$$

Au point E :

$$h_E = 0,36 \times 126 + 0,64 \times 2566 = 1687,6 \text{ kJ kg}^{-1}$$

3.2.6. Travail massique reçu dans la turbine

En supposant négligeables les variations des énergies cinétique et potentielle, le premier principe de la thermodynamique appliqué à l'eau dans la turbine :

$$\Delta h_{DE} = w_{Tu} + \underbrace{q_{Tu}}_{\text{est nulle car la turbine est calorifugée}} = h_E - h_D \Rightarrow w_{Tu} = 1687,6 - 2749 = -1061,4 \text{ kJ kg}^{-1}$$



Pour un fluide en écoulement stationnaire traversant une partie active \mathcal{A} (d'entrée e et de sortie s) où il reçoit par unité de masse un travail utile w_u et un transfert thermique q , le premier principe s'exprime sous la forme :

$$h_s - h_e + \frac{1}{2} (v_s^2 - v_e^2) + \Delta \varepsilon_p = w_u + q$$

où v_e et v_s désignent les vitesses de l'écoulement du fluide respectivement à l'entrée et la sortie de la partie active \mathcal{A} et $\Delta \varepsilon_p = \varepsilon_p^s - \varepsilon_p^e$ désigne la variation d'énergie potentielle par unité de masse.

3.2.7. Chaleur massique reçue dans le circuit secondaire

$$q_{BD} = q_{BC} + q_{CD}$$

$$\text{avec } \begin{cases} q_{BC} = h_C - h_B = c_\ell (T_C - T_B) = c_\ell (T'_B - T_B) = 4,18 \times 10^3 (300 - 30) = 1128,6 \text{ kJ kg}^{-1} \\ q_{CD} = h_D - h_C = 2749 - 1345 = 1404 \text{ kJ kg}^{-1} \end{cases}$$

Application numérique :

$$q_{BD} = 2532,6 \text{ kJ kg}^{-1}$$

3.2.8. Rendement thermodynamique

$$\eta_t = -\frac{w_{Tu}}{q_{BD}} = \frac{1061,4}{2532,6} = 0,42 \quad , \text{ soit } 42\%$$

3.2.9.

$$\eta_{max} = 1 - \frac{T_F}{T_C} = 1 - \frac{T_A}{T_B} = 47\%$$

3.2.10. Rendement de conversion

$$\eta = \frac{\mathcal{P}}{\mathcal{P}} = \frac{600}{2800} = 21,43\%$$

4 Conversion d'énergie mécanique en énergie électrique

4.1- Flux magnétique

$$\Phi = \iint_{(\mathcal{B})} \vec{B}_e \cdot d\vec{S} = NB_o S \vec{e}_x \cdot \vec{n} = NB_o S \cos \theta = NB_o S \cos \Omega t$$

4.2- Force électromotrice

$$e(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = NB_o S \Omega \sin \Omega t \quad ; \quad \text{la valeur maximale } e_M = NB_o S \Omega$$

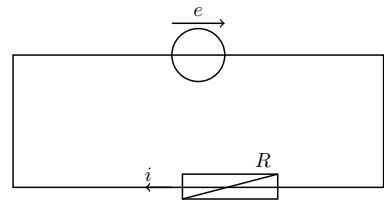
4.3- Courant électrique

Loi d'Ohm appliquée au circuit :

$$e = Ri$$

$$\Rightarrow i = \frac{e}{R} = \frac{e_M}{R} \sin \Omega t$$

La valeur maximale : $I_M = \frac{NB_o S \Omega}{R}$.



Circuit électrique équivalent

4.4- Couple électromagnétique

$$\begin{aligned} \vec{\Gamma}_L &= \vec{\mathcal{M}} \wedge \vec{B}_e \quad \text{avec} \quad \vec{\mathcal{M}} = NiS\vec{n} : \text{moment magnétique de la bobine} \\ &= NiSB_o\vec{n} \wedge \vec{e}_x \\ &= -NiSB_o \sin \Omega t \vec{e}_z \\ \vec{\Gamma}_L &= -NI_M SB_o \sin^2 \Omega t \vec{e}_z \\ \langle \vec{\Gamma}_L \rangle_t &= -\frac{NI_M SB_o}{2} \vec{e}_z = \frac{RI_M^2}{2} \Omega \vec{e}_z \end{aligned}$$

4.5- Puissance dissipée

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_J &= Ri^2 \\ &= RI_M^2 \sin^2 \Omega t \\ \langle \mathcal{P}_J \rangle_t &= \frac{RI_M^2}{2} \end{aligned}$$

4.6- La bobine (\mathcal{B}) est en mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe Oz , le théorème du moment cinétique appliqué à (\mathcal{B}) dans le repère $\mathcal{R}(0, x, y, z)$ s'écrit :

$$J \frac{d\vec{\Omega}}{dt} = \vec{\Gamma}_L + \vec{\Gamma} \quad \text{où } J \text{ est le moment d'inertie de la bobine par rapport à l'axe } Oz$$

par projection suivant Oz :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = \Gamma_L + \Gamma = 0 \quad \Rightarrow \quad \Gamma = -\Gamma_L$$

Soit :

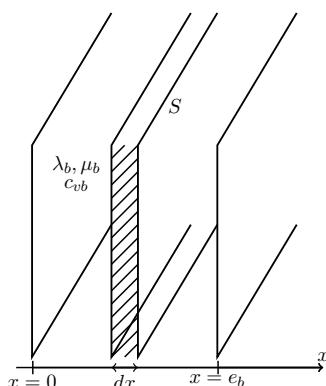
$$\vec{\Gamma} = \frac{N^2 B_o^2 S^2 \Omega}{R} \sin^2 \Omega t \vec{e}_z \quad ; \quad \text{la valeur maximale } \Gamma_M = \frac{N^2 B_o^2 S^2 \Omega}{R}$$

5 Aspect environnemental : valorisation des déchets nucléaires

5.1-

- \vec{j}_{th} : Vecteur densité de courant de conduction thermique ;
- l'unité de \vec{j}_{th} dans le système international est $kg s^{-3}$;
- l'unité de λ_b dans le système international est $mkgs^{-3}K^{-1}$;

5.2-



Considérons, comme système d'étude (Σ), une tranche dx délimitée par deux sections planes S . Le premier principe de la thermodynamique appliqué à (Σ), de volume $d\tau = Sdx$, pendant dt :

$$\underbrace{\frac{dU}{dt}}_{\substack{\mathcal{P} \\ \text{puissance stockée} \\ \text{dans } d\tau}} = \underbrace{\frac{\delta U^r}{dt}}_{\substack{\mathcal{P}_r \\ \text{puissance échangée} \\ \text{à travers } (\Sigma)}} + \underbrace{\frac{\delta U^p}{dt}}_{\substack{\mathcal{P}_p \\ \text{puissance produite} \\ \text{dans } d\tau}}$$

◇ le terme de stockage \mathcal{P} :

$$\mathcal{P} = \frac{dU}{dt} = \mu_b c_{vb} d\tau \frac{\partial T}{\partial t} = \mu_b c_{vb} S dx \frac{\partial T}{\partial t}$$

◇ le terme d'échange \mathcal{P}_r :

$$\mathcal{P}_r = \iint_{(\Sigma)} \vec{j}_{th} \cdot d\vec{\Sigma} = j_{th}(x, t)S - j_{th}(x + dx, t)S = -\frac{\partial j_{th}(x, t)}{\partial x} S dx$$

◇ le terme de production \mathcal{P}_p :

$$\mathcal{P}_p = p_{nuc} d\tau = p_{nuc} S dx$$

• L'équation bilan s'écrit :

$$\mu_b c_{vb} \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial j_{th}(x, t)}{\partial x} + p_{nuc}$$

• La loi de Fourier :

$$\vec{j}_{th} = -\lambda_b \overrightarrow{\text{grad}T}(x, t) = -\lambda_b \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} \vec{e}_x \Rightarrow \frac{\partial j_{th}(x, t)}{\partial x} = -\lambda_b \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2}$$

• L'équation locale de diffusion thermique s'écrit, alors :

$$\mu_b c_{vb} \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_b \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} + p_{nuc}$$

5.3-

5.3.1. Le régime est permanent : $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$. L'équation de diffusion thermique s'écrit :

$$\lambda_b \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} + p_{nuc} = 0$$

► Solution :

$$T(x) = -\frac{p_{nuc}}{2\lambda_b}x^2 + Ax + B$$

► Conditions aux limites : $T(x=0) = T(x=e_b) = T_o$

$$\Rightarrow T(x) = -\frac{p_{nuc}}{2\lambda_b}x^2 + \frac{p_{nuc}e_b}{2\lambda_b}x + T_o$$

► Valeur maximale T_{max} :

$$\frac{dT}{dx} = 0 \Leftrightarrow x = \frac{e_b}{2}$$

$$\begin{aligned} T_{max} &= T\left(x = \frac{e_b}{2}\right) = -\frac{p_{nuc}}{2\lambda_b} \frac{e_b^2}{4} + \frac{p_{nuc}e_b^2}{4\lambda_b} + T_o \\ &= T_o + \frac{p_{nuc}e_b^2}{8\lambda_b} \end{aligned}$$

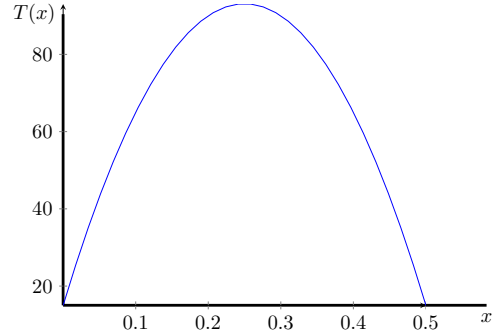


Figure 3 - $T(x) = -1250x^2 + 625x + 15$

► Application numérique : $T_{max} \simeq 93^\circ C$

5.3.2.

$$\begin{aligned} d\varphi_{th} &= \vec{j}_{th} \cdot d\vec{\Sigma} = \vec{j}_{th} \cdot \vec{e}_x d\Sigma \\ \Rightarrow \varphi(x) &= \frac{d\varphi_{th}}{d\Sigma} = \vec{j}_{th} \cdot \vec{e}_x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \vec{j}_{th} &= -\lambda_b \frac{dT(x)}{dx} \vec{e}_x = -\lambda_b \left[-\frac{p_{nuc}}{\lambda_b} + \frac{p_{nuc}e_b}{2\lambda_b} \right] \vec{e}_x \\ \varphi(x) &= p_{nuc} \left(x - \frac{e_b}{2} \right) \end{aligned}$$

La puissance évacuée :

$$\mathcal{P}_{evac} = (\varphi(x=e_b) - \varphi(x=0))S = 2\frac{e_b}{2}p_{nuc}S = p_{nuc}Se_b = \mathcal{P}_{tot,p}$$

Toute la puissance créée ou produite est évacuée !

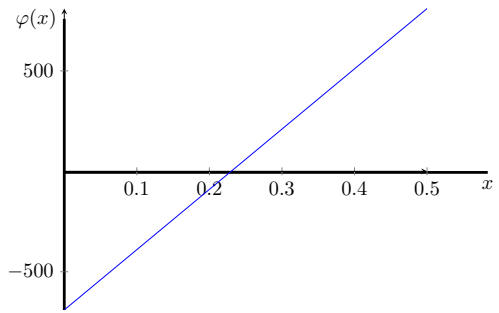


Figure 4 - $\varphi(x) = 3 \times 10^3(x - 0,25)$