



MINISTÈRE  
DE L'ÉCONOMIE, DE L'INDUSTRIE  
ET DE L'EMPLOI

MINISTÈRE DU BUDGET, DES COMPTES  
PUBLICS, DE LA FONCTION PUBLIQUE  
ET DE LA RÉFORME DE L'ÉTAT

# CONCOURS EXTERNE POUR LE RECRUTEMENT DE TECHNICIENS SUPÉRIEURS DE L'INDUSTRIE ET DES MINES

SESSION 2010

ÉPREUVE ÉCRITE n°3  
du mercredi 10 mars 2010

**PHYSIQUE**

**(Durée : 3 heures – coefficient : 2)**

L'usage d'une calculatrice de poche est autorisé (standard, programmable ou alphanumérique) à condition qu'elle soit autonome et qu'elle ne comporte ni dispositif d'impression, ni dispositif externe de stockage d'information (cassette, bandes magnétiques, etc.).

**Les notices de fonctionnement ne sont pas autorisées.**

Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction ; si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

**REMARQUES IMPORTANTES :**

- Les copies doivent être rigoureusement anonymes et ne comporter aucun signe distinctif ni signature, même fictive, sous peine de nullité.
- Le candidat s'assurera, à l'aide de la pagination, qu'il détient un sujet complet.

**TOUTE NOTE INFÉRIEURE À 6 SUR 20 EST ÉLIMINATOIRE.**

Les différentes parties de ce sujet sont indépendantes et dans chaque partie de nombreuses questions sont indépendantes.

### Partie I : Energie et puissance produite

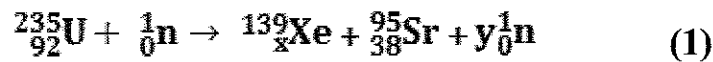
Une centrale nucléaire française constituée de 4 tranches a une production annuelle d'énergie électrique  $E = 2,60 \cdot 10^{13}$  W.h, soit 6,30 % de la consommation nationale.

- I.1. Déterminer la puissance moyenne  $P$  délivrée par la centrale puis calculer la puissance électrique moyenne  $P_{tr}$  fournie par l'une de ses tranches.
- I.2. Calculer la consommation d'énergie électrique nationale  $E_T$  en Joules.

### Partie II : Source d'énergie

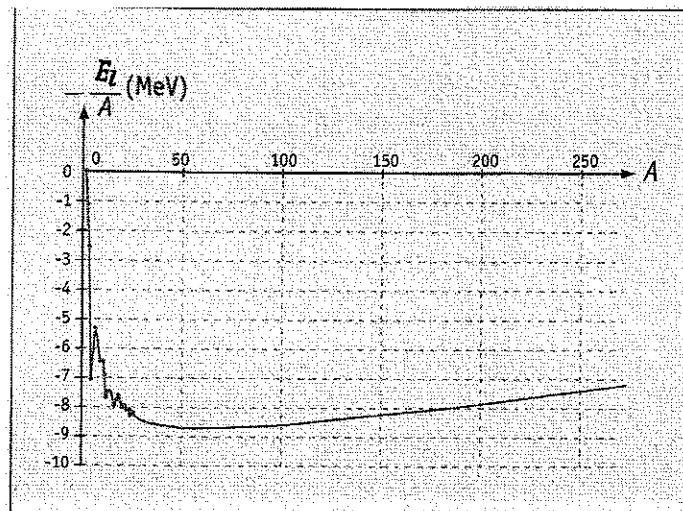
L'uranium naturel est un mélange de deux isotopes  $^{238}_{92}\text{U}$  (99,3 %) et  $^{235}_{92}\text{U}$  (0,7 %).

- II.1. Seul l'isotope  $^{235}_{92}\text{U}$  est "fissile". Sous l'impact de neutrons lents, il peut se produire la réaction représentée par l'équation suivante :



- II.1.a. Calculer l'énergie de liaison  $E_l$  en MeV, puis l'énergie moyenne de liaison par nucléon du noyau d'uranium  $^{235}_{92}\text{U}$ .
- II.1.b. Justifier, à partir de la courbe d'Aston ci-dessous, l'intérêt énergétique de la réaction de fission de l'uranium.  $E_l/A$  représente l'énergie de liaison par nucléon.

0



### II.2.

- II.2.a. Enoncer les lois de conservation relatives aux transformations nucléaires. En déduire les entiers  $x$  et  $y$  de l'équation (1).
- II.2.b. Les neutrons lents dans le cœur du réacteur ont une vitesse  $v = 64 \text{ km.s}^{-1}$ . Calculer leur énergie cinétique  $E_c$  en joules et en eV.

### II.3.

II.3.a. Calculer la perte de masse  $\Delta m$ , exprimée en unité de masse atomique  $u$ , au cours de la fission d'un noyau d'uranium.

II.3.b. Calculer, en joule puis en MeV, l'énergie  $E_1$  libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235.

II.3.c. Estimer en joule, l'énergie  $E_2$  libérée par la fission d'une tonne d'uranium naturel si toutes les réactions de fission libèrent l'énergie calculée précédemment.  
Exprimer  $E_2$  en TEP (Tonne Equivalent Pétrole) qui est l'énergie libérée par la combustion d'une tonne de pétrole.

II.4. L'isotope  $^{238}_{92}\text{U}$  non fissile est dit " fertile ". Il peut capter un neutron rapide selon l'équation suivante :



Le nucléide  $^{239}_{92}\text{U}$  est radioactif; il se transforme en neptunium  $^{239}_{93}\text{Np}$ . Ce dernier, également radioactif, se transforme en plutonium  $^{239}_{94}\text{Pu}$  fissile comme  $^{235}_{92}\text{U}$ .

II.4.a. Quel(s) type(s) de désintégration spontanée subissent l'uranium 239 et le neptunium 239 ? Ecrire les équations de ces désintégrations.

II.4.b. Le combustible des surrégénérateurs est un couple " fissile-fertile "  $^{239}_{94}\text{Pu}$  et  $^{238}_{92}\text{U}$ . Quel intérêt présente l'usage d'un tel combustible ?

Données :

*Masse des noyaux participant à la réaction :*

Noyaux	$^{139}_{54}\text{Xe}$	$^{95}_{38}\text{Sr}$	$^{235}_{92}\text{U}$	${}^1_0\text{n}$	${}^1_1\text{p}$
Masse ( $u$ )	138,8882	94,8946	235,0134	1,0087	1,0073

$$1 u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$1 \text{ T.E.P} = 42 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$\text{Célérité de la lumière dans le vide : } c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}.$$

$$\text{Constante d'Avogadro } N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\text{Masse molaire de l'uranium } M(\text{U}) = 238 \text{ g.mol}^{-1}.$$

$$1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

### Partie III : Déchets radioactifs

Dans le combustible irradié d'un réacteur nucléaire, on trouve du zirconium 95 de demi-vie radioactive 64 jours et du plutonium 241 de demi-vie radioactive 14,3 ans. On immerge le container dans la piscine de la Hague pendant 3 ans.

III.1. On rappelle la loi de décroissance radioactive pour l'activité d'un échantillon :

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

III.1.a. Donner la définition de la demi-vie radioactive.

III.1.b. Etablir l'expression de la demi-vie radioactive en fonction de  $\lambda$

III.1.c. Calculer les constantes radioactives respectives  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  en  $s^{-1}$  pour le zirconium et le plutonium.

III.2.

III.2.a. Calculer pour le zirconium 95 le rapport  $\frac{A(t)}{A_0}$  après une durée de 3 ans.

III.2.b . Faire de même pour le plutonium 241.

III.3. Commenter l'intérêt du séjour en piscine :

- Des déchets à demi-vie courte
- Des déchets à demi-vie longue

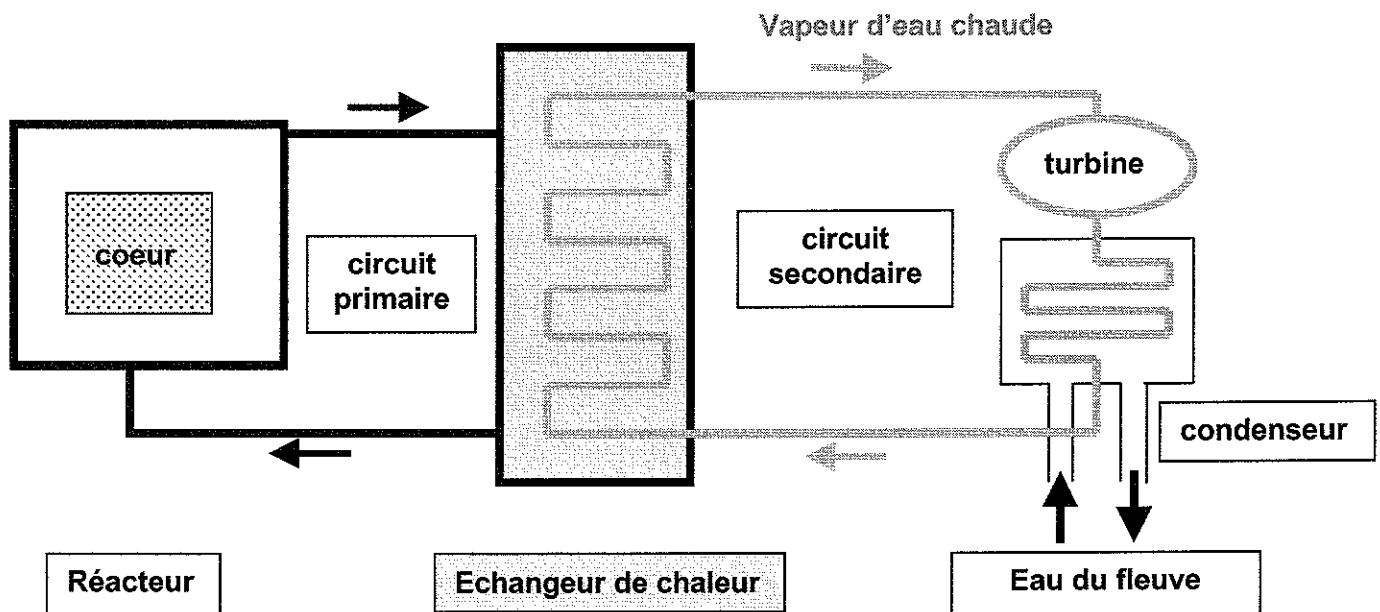
On prendra pour une année : 31,54 Ms.

## Partie IV : Bilan énergétique

On supposera que chaque tranche de cette centrale fournit une puissance électrique  $P_{tr}$  telle que  $|P_{tr}| = 740$  MW. On négligera toutes les pertes d'énergie dans les circuits et la turbine et on donne les valeurs numériques suivantes correspondant aux conditions de fonctionnement de l'installation :

- Capacités thermiques massiques de l'eau liquide :
  - $C_0 = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  aux environs de  $10^\circ\text{C}$  sous 1 bar
  - $C_0' = 5250 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  aux environs de  $290^\circ\text{C}$  sous 155 bars.
- Masse volumique de l'eau liquide :  $\mu_L = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ .
- Capacité thermique massique de l'eau vapeur
  - $C_1 = 3800 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  aux environs de  $270^\circ\text{C}$  sous 56 bars.
- Le débit volumique de l'eau du fleuve dans le circuit de refroidissement est  $D = 168 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ .

Une centrale nucléaire, simplifiée à un réacteur nucléaire, est composée de trois circuits distincts : primaire, secondaire et refroidissement.



L'énergie libérée par la réaction en chaîne est extraite du cœur du réacteur par le fluide caloporteur circulant dans le circuit primaire à la température  $\theta = 290\text{ °C}$  à la pression de 155 bars.

Dans l'échangeur de chaleur, cette énergie, véhiculée par le fluide caloporteur, permet de transformer l'eau du circuit secondaire en vapeur d'eau, à la température  $\theta_C = 270\text{ °C}$ , sous une pression de 56 bars.

La vapeur d'eau formée entraîne la turbine fournissant un travail mécanique au rotor d'un alternateur ; celui-ci produit alors l'énergie électrique.

À la sortie de la turbine, grâce à l'eau du circuit de refroidissement prélevée froide à la température  $\theta_F = 10\text{ °C}$  dans le fleuve, la vapeur d'eau du circuit secondaire est ramenée à l'état liquide à la température  $\theta_C' = 20\text{ °C}$  dans le condenseur.

**IV.1.** Dans le circuit primaire, le fluide caloporteur est de l'eau liquide à la température  $\theta = 290\text{ °C}$  sous haute pression (155 bars).

**IV.1.a.** En comparant les capacités thermiques massiques de l'eau dans les états liquide et vapeur, expliquer pourquoi il est intéressant de conserver le fluide caloporteur (eau) à l'état liquide.

**IV.1.b.** Pourquoi la haute pression est-elle nécessaire ?

**Dans la suite de cette partie, on ne tiendra pas compte de l'énergie apportée par les pompes.**

**IV.2**

**IV.2.a.** Indiquer, en prenant comme système l'eau du circuit secondaire, si l'énergie est transférée par chaleur ou par travail et indiquer le signe des énergies échangées :

- $\Delta E_1$  entre l'eau du circuit primaire et l'eau du circuit secondaire ;
- $\Delta E_2$  entre la turbine et l'eau du circuit secondaire ;
- $\Delta E_3$  entre le circuit de refroidissement et l'eau du circuit secondaire.

**IV.2.b.** À l'aide du premier principe de la thermodynamique, effectuer le bilan d'énergie, pour un cycle de l'eau du circuit secondaire, en fonction de  $\Delta E_1$ ,  $\Delta E_2$  et  $\Delta E_3$ .

**IV.2.c.** Donner l'expression du rendement  $r$  du circuit secondaire en fonction des énergies échangées. En déduire son expression en fonction des puissances  $P_2$  cédée à la turbine et  $P_3$  cédée au fleuve.

Dans la suite, on considérera que  $P_2 = P_{tr}$  (pertes négligées)

**IV.3. Le rendement réel  $r$  est égal à 0,4.**

**IV.3.a.** Soit la masse d'eau  $m_{eau}$ , circulant dans le circuit de refroidissement pendant l'intervalle de temps  $\Delta t$ . Établir la relation entre  $m_{eau}$ ,  $\Delta t$ , le débit volumique  $D$  dans le circuit refroidissement et la masse volumique de l'eau  $\mu_L$ .

**IV.3.b.** Donner l'expression de l'énergie échangée  $\Delta E_3$  entre l'eau du circuit secondaire et le circuit de refroidissement, en fonction de la masse d'eau  $m_{eau}$  circulant dans le circuit de refroidissement, de l'élévation de température du fleuve  $\Delta\theta_F$  et de la capacité thermique massique de l'eau de refroidissement.

**IV.3.c.** Dédurre des questions **IV.3.a.** et **IV.3.b.**, l'expression de la puissance  $P_3$  échangée entre l'eau du circuit secondaire et le circuit de refroidissement, en fonction du débit  $D$  de l'eau circulant dans le circuit de refroidissement, de la masse volumique de l'eau de refroidissement, de la variation de température du fleuve  $\Delta\theta_F$  et de la capacité thermique massique de l'eau de refroidissement.

**IV.3.d.** A l'aide de l'expression de  $r$  et de  $P_3$ , montrer que l'on peut exprimer  $\Delta\theta_F$  sous la forme :

$$\Delta\theta_F = \frac{P_{tr}}{\mu_L \cdot D \cdot C_0} \cdot \frac{r - 1}{r}$$

**IV.3.e.** Calculer l'élévation  $\Delta\theta_F$  de la température du fleuve d'une centrale simplifiée à un seul réacteur nucléaire.

**IV.3.f.** Comme la centrale est constituée de 4 réacteurs ayant un circuit de refroidissement commun, sachant que l'eau de ce circuit de refroidissement peut être rejetée loin des berges à condition que sa température n'excède pas  $30^\circ\text{C}$ , le rejet est-il possible ?

## Partie V : L'alternateur

Un alternateur de 80 m de long pesant 1200 tonnes est muni d'un rotor de diamètre  $d = 1,2$  m tournant à 25 tours par seconde.

**V.1.** Quelle est sa vitesse angulaire  $\omega$  en  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  ?

**V.2.** Déterminer la période  $T$  et la fréquence  $f$  de ce mouvement.

**V.3.** Calculer la vitesse  $v$  d'un point de la périphérie du rotor.

**V.4.** Déterminer le nombre de paires de pôles que doit posséder l'alternateur pour produire une tension alternative de fréquence 50 Hz.

## Partie VI : Ligne électrique

L'alternateur précédent, assimilable à un générateur sinusoïdal, fournit une puissance moyenne  $P$  sous une tension efficace  $U$ . Le facteur de puissance est égal à l'unité.

Une ligne électrique, de résistance linéique  $r$  par conducteur, sert à transporter cette puissance sur une distance  $L$ .

On donne :  $r = 0,05 \Omega\cdot\text{km}^{-1}$  ;  $L = 50 \text{ km}$  ;  $P = 900 \text{ MW}$  ;  $U = 40 \text{ kV}$ .

**VI.1.** Quelle est en fonction de  $r$ ,  $L$ ,  $U$  et  $P$ , la puissance totale  $P_J$  perdue par effet Joule dans la ligne ?

**VI.2.** Calculer numériquement cette puissance perdue.

**VI.3.** Pour diminuer cette perte, le distributeur d'énergie utilise un transformateur élévateur de tension dont la tension efficace en sortie est  $U' = 400 \text{ kV}$ .

- La tension de sortie est sinusoïdale de même pulsation que celle de l'alternateur.
- La puissance moyenne est la même à l'entrée et à la sortie.
- Le facteur de puissance est égal à 1 à l'entrée comme à la sortie.

**VI.3.a.** Déterminer l'intensité efficace  $I_1$  du courant débité par l'alternateur.

**VI.3.b.** Déterminer l'intensité efficace  $I_2$  du courant circulant sur la ligne très haute tension.

**VI.3.c.** Le nombre de spires au primaire est  $N_1 = 100$ . Calculer le nombre de spires au secondaire.

**VI.3.d.** Reprendre le calcul de la puissance  $P_J$  perdue dans la ligne. Conclusion ?