

# PIS GE2, Option « Energies Renouvelables ».

## Technologie des réacteurs nucléaires, Examen.

25 novembre 2022

Durée : 2h00.

Documents autorisés : une feuille manuscrite recto-verso.

Calculatrices autorisées.

Les questions sont rédigées en italiques. Les 3 exercices sont indépendants.

## 1 Modèle de la goutte

### a Présentation

En physique nucléaire, le modèle de la goutte liquide est un modèle totalement phénoménologique permettant de déterminer approximativement en une seule formule générale la distribution des énergies de liaison  $B$  d'un noyau en fonction du nombre de masse  $A$  et du numéro atomique  $Z$ .

L'idée est de traiter le noyau par analogie avec une goutte liquide où les molécules sont rassemblées par des forces à courte portée (forces de van der Waals) : on considère le noyau comme une goutte de volume  $V$  (proportionnel à  $A$ ), formée de nucléons réunis entre eux par l'interaction nucléaire forte. On reprend alors la formulation générale de l'énergie de liaison d'une goutte, en ajoutant quelques termes spécifiques. L'expression de cette énergie de liaison  $B$  en fonction de  $A$  et de  $Z$  est :

$$B(A, Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_a \frac{(A - 2Z)^2}{A} + \delta \frac{a_p}{A^{1/2}}$$

1.  $a_v A$  est le terme de volume : chaque nucléon est lié à ses voisins immédiats d'où ce terme proportionnel au volume (i.e. au nombre total de nucléons  $A$ ).
2.  $a_s A^{2/3}$  est le terme de surface : les nucléons en surface ont moins de voisins et contribuent moins d'où ce terme correctif avec un signe  $-$ .
3.  $a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}}$  est le terme coulombien. Il traduit la répulsion entre protons, considérés comme uniformément répartis dans la goutte.
4.  $a_a \frac{(A-2Z)^2}{A}$  est le terme d'asymétrie. Il a pour origine des effets quantiques liés au spin.
5.  $\delta \frac{a_p}{A^{1/2}}$  est le terme de parité. Il a pour origine la préférence des protons et neutrons à former des paires proton/proton ou neutron/neutron :  
par convention, on a  $\delta = 0$  pour  $A$  impair,  $\delta = -1$  pour  $N$  (nombre de neutrons) impair et  $Z$  impair, et  $\delta = +1$  pour  $N$  pair et  $Z$  pair.

Pour les applications numériques, on retiendra :

1.  $a_v \simeq 15.4$  Mev
2.  $a_s \simeq 16.7$  Mev

3.  $a_c \simeq 0.7$  Mev
4.  $a_a \simeq 24$  Mev
5.  $a_p \simeq 12$  Mev

## b Questions

### Question 1.1 :

*Exprimer  $B/A$ , l'énergie de liaison par nucléon lié en fonction de  $A$  et  $Z$ .*

### Question 1.2 :

*En négligeant le terme de parité, à  $A$  constant, exprimer la dérivée par rapport à  $Z$  de  $B/A$  (autrement dit, calculer  $\frac{dB/A}{dZ}$ ) en fonction de  $Z$ .*

### Question 1.3 :

*A partir du résultat précédent, donner la valeur de  $Z$  correspondant à un extremum de  $B/A$  à  $A$  fixé. Montrer que c'est un maximum.*

### Question 1.4 :

*Application : Calculer le numéro atomique  $Z$  du noyau qui maximise l'énergie de liaison à nombre de masse  $A = 206$ . Quel est l'élément correspondant ?*

### Question 1.5 :

*Application : Calculer le numéro atomique  $Z$  du noyau qui maximise l'énergie de liaison à nombre de masse  $A = 235$ . Quel est l'élément correspondant ?*

### Question 1.6 :

*Application : Calculer le numéro atomique  $Z$  du noyau qui maximise l'énergie de liaison à nombre de masse  $A = 184$ . **Bonus** : quel est l'élément correspondant ?*

## 2 Energie libérée par la fission de l'Uranium 235

### a Présentation

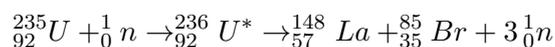
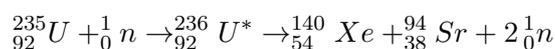
L'unité de masse atomique (1/12 de la masse de l'atome de  $^{12}_6C$ ) vaut  $1 \text{ u} = 931.494 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$ .

On donne ci-dessous les masses **au repos, dans leur état fondamental** du neutron et de quelques noyaux :

- neutron ( $^1_0n$ ) :  $m = 1.008664 \text{ u}$
- uranium 235 ( $^{235}_{92}U$ ) :  $m = 235.043928 \text{ u}$
- uranium 236 ( $^{236}_{92}U$ ) :  $m = 236.045566 \text{ u}$
- xénon 140 ( $^{140}_{54}Xe$ ) :  $m = 139.921645 \text{ u}$
- strontium 94 ( $^{94}_{38}Sr$ ) :  $m = 93.915355 \text{ u}$
- lanthane 148 ( $^{148}_{57}La$ ) :  $m = 147.932679 \text{ u}$
- brome 85 ( $^{85}_{35}Br$ ) :  $m = 84.915646 \text{ u}$

Le noyau d'uranium 235 capte un neutron et forme (transitoirement) un noyau d'uranium 236 *dans un état excité* qui fissionne selon plusieurs voies possibles.

On envisage (parmi une centaine de cas différents) les deux réactions de fissions ci-dessous :



### b Questions

#### Question 2.1 :

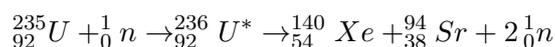
*A partir des masses données, justifier que l'uranium 236 est dans un état excité.*

#### Question 2.2 :

*Donner son énergie d'excitation en MeV.*

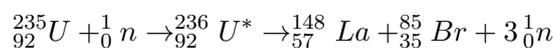
#### Question 2.3 :

*Calculer en MeV l'énergie libérée par la première réaction.*



#### Question 2.4 :

*Calculer en MeV l'énergie libérée par la deuxième réaction.*



#### Question 2.5 :

On retiendra une moyenne de 190 MeV récupérés immédiatement par fission sur un uranium 235.

*En déduire, en Joules, l'énergie que peut dégager la fission d'un gramme d'Uranium  $^{235}_{92}U$ .*

**Question 2.6 :**

*Exprimer cette énergie en MWj (Mégawatts-jour). En déduire la quantité d'Uranium nécessaire à la production de 1000 MW d'électricité pendant un an, dans une centrale dont le rendement de conversion de l'énergie thermique en énergie électrique est de 33% (un an se décompose en 330 jours de production, et 35 jours d'arrêt pour rechargement).*

**Question 2.7 :**

*Sachant que dans un assemblage, on a une masse de 500 kg de combustible qui renferme 4% de matière fissile, calculer le nombre minimum d'assemblages nécessaires au fonctionnement d'une centrale pendant un an. En réalité, les assemblages sont remplacés par tiers tous les ans (un assemblage reste trois ans en centrale et on n'en consomme qu'un tiers par an). Combien d'assemblages comporte le cœur ?*

**Question 2.8 :**

*Comparer la quantité de charbon nécessaire à la production d'un Mégawatt-jour, sachant que la combustion d'un atome de Carbone libère 4 eV.*

### 3 Technologie des réacteurs

#### Question 3.1 :

Quels sont les quatre composants se trouvant dans un cœur de centrale nucléaire ? Pour chacun, citer un exemple d'élément ou de matériau possible.

#### Question 3.2 :

A quoi sert un modérateur (recopier la bonne réponse) :

1. A modérer, c'est-à-dire à abaisser le taux de réaction en capturant des neutrons ;
2. A modérer, c'est-à-dire à favoriser les réactions en ralentissant les neutrons ;
3. A modérer, c'est-à-dire à absorber les rayonnements nocifs.

#### Question 3.3 :

Que signifie qu'un réacteur fonctionne en régime critique ? Quelle est la signification de la relation  $k = 1$  ( $k$  est le facteur mesurant la criticité) ?

#### Question 3.4 :

Citer trois filières de réacteurs, donner leurs caractéristiques (combustible, modérateur, caloporteur).

#### Question 3.5 :

On s'intéresse à trois filières : le réacteur UNGG, le réacteur CANDU, et le réacteur à eau sous pression (REP). Pour chacun, on donne quelques dimensions (hauteur du cœur, diamètre du cœur) et valeurs de puissance thermique dans le tableau 1.

Filière	H (m)	R(m)	$P_{th}$ (MW)
UNGG	10.2	16	1920
CANDU-6	6	7.6	2100
REP (N4)	4.2	4.5	4250
REP naval	1	1	90

TABLE 1 – Caractéristiques des coeurs de quelques filières

A partir de ces données, calculer la puissance volumique en  $MW.m^{-3}$ .

#### Question 3.6 :

Comparer ces valeurs et les commenter en essayant d'apporter des explications physiques.