

EXAMEN INTRA

DATE : 18 avril 2024

EXAMEN FINAL

HEURE : 8h30-11h30

EXAMEN DIFFÉRÉ

SALLE : MIL-B-2061

DIRECTIVES PÉDAGOGIQUES :  calculatrice programmable

calc. non-prog.

docu. permise (1 page recto-verso)

docu. non-permise

examen imprimé recto-verso

L'examen est sur 25 (+1) points et compte pour 25% de la note finale

Répondez à **TOUTES LES QUESTIONS** et choisissez la **meilleure** réponse ou les **meilleures** réponses dans le cas où plusieurs choix sont spécifiés.

La dernière page du document contient des informations et formules utiles. Vous pouvez vous en servir dans n'importe quel énoncé, sauf sous mention explicite contraire. Idéalement, veuillez indiquer quelle formule vous utilisez et dans quel contexte, le cas échéant.

Veuillez répondre aux questions **directement dans le document**, dans les espaces alloués. Au besoin, vous pouvez utiliser le recto d'une feuille, en indiquant clairement à quelle question vous répondez.

Question	Sous-Question	Pts	Pts Obtenus	Question	Sous-Question	Pts	Pts Obtenus
1.		2		9.		5	
2.		2			a)	1	
3.		1			b)	1	
4.		1			c)	1	
5.		3			d)	1	
6.		1			e)	1	
7.		1		10.		2	
8.		2+1		11.		1	
	a)	1		12.		1	
	b)	1		13.		1	
	c)	B1		14.		2	

## 1 Questions

1. Voici la liste des interactions photon-matière que nous avons vu durant le semestre :

- Diffusion Rayleigh ;
- Effet Photo-Électrique ;
- Diffusion Compton ;
- Production de Paires ;
- Photodésintégration.

Parmi cette liste, choisissez-en deux et décrivez-les de façon générale et donnez une équation la décrivant. **[2 pts]**

*ex* : Si on avait parlé de diffusion Møller, on pourrait donner l'équation suivante :

$$e^- + e^- \rightarrow e^- + e^-.$$

2. Voici une image obtenue grâce à la tomodensitométrie :

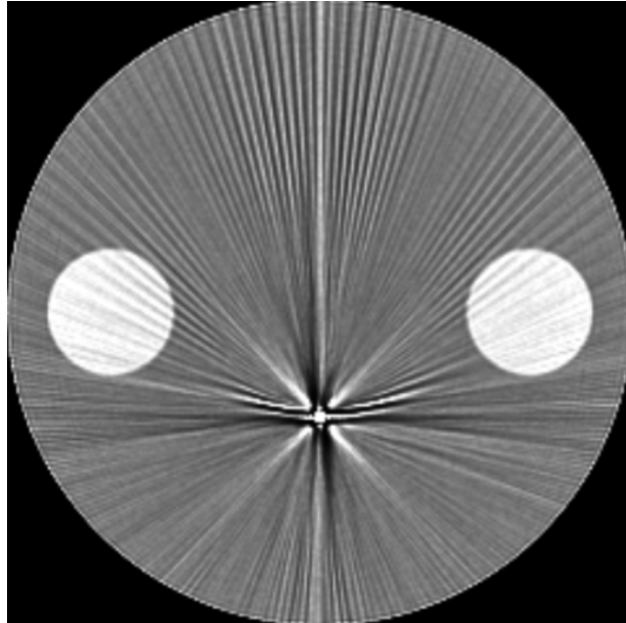


FIGURE 1 – Question 2

Décrivez deux types d'artéfacts présents dans l'image et leur cause [2 pts]

3. Expliquez brièvement pourquoi l'annihilation d'un électron et d'un positron ne peut pas créer qu'un seul photon. [**1 pt**]

4. En médecine nucléaire, le positron, une fois produit, se déplacera un peu dans la matière avant de s'annihiler. Expliquez l'impact que cela aura sur l'image produite. [**1 pts**]

5. Décrivez ce que sont les coïncidences fortuites, diffusées, multiples, réelles et simples en tomographie par émission de positrons. Faites un schéma rapide des différentes situations. [**3 pts**]

6. Discutez brièvement de la différence entre la diffusion Møller et la diffusion Bhabha.  
[1 pt]

7. Expliquez brièvement la différence entre la dose et le kerma. Au besoin, servez-vous des formules en annexe. [1 pt]

8. Par rapport à la portée CSDA [**2 pts + 1**] :

8.a) Expliquez les hypothèses prises lorsqu'il est question de portée CSDA. [**1 pt**]

8.b) Est-ce que ces hypothèses sont raisonnables? Énoncez dans quels contextes elles le sont plus et dans quels contextes moins. [**1 pt**]

8.c) Que signifie l'abréviation CSDA (exactement ou en paraphrase) [**1 pt bonus**]

9. Considérons un faisceau de photons de 12 MeV. Sachant que le flux de photons à 1 mètre de l'appareil est de  $3 \cdot 10^{10}$  photons/s, quel sera le flux de photons à 30 cm dans un bassin d'eau (avec un coefficient d'atténuation massique de  $0.02079 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) ou dans l'air/le vide, si **[5 pts]**
- 9.a) Le faisceau est convergent dans l'air. **[1 pt]**
- 9.b) Le faisceau est divergent dans l'air. **[1 pt]**
- 9.c) Le faisceau est convergent dans l'eau. **[1 pt]**
- 9.d) Le faisceau est divergent dans l'eau. **[1 pt]**
- 9.e) Suite aux parties (a)-(d), quel est le facteur dominant la diminution de fluence? **[1 pt]**



10. Décrivez la différence entre l'imagerie anatomique et l'imagerie fonctionnelle. Donnez un type d'imagerie pertinente pour chaque. [**2 pts**]

11. Décrivez en mots ce qu'est le SNR. [**1 pts**]

12. Expliquez brièvement pourquoi la dose en radiothérapie est fractionnée. [**1 pt**]

13. Ernest, un collègue ingénieur, affirme avoir trouvé une façon de faire de l'imagerie par résonance magnétique grâce aux atomes d'hélium ( $Z = 2$ ,  $A = 4$ ). Est-ce qu'Ernest a raison ? [1 pt]

14. En imagerie par résonance magnétique (IRM), un gradient de champs magnétique est appliqué pour causer une rotation de l'axe de précession des spins nucléaires. Cela permet de créer une magnétisation transverse. Cette rotation des spins survient cependant partout dans l'objet imagé. Comment peut-on faire pour sélectionner seulement une partie, soit une tranche, de l'objet/patient d'intérêt ? Expliquez brièvement. [2 pts]

## 2 Équations Pertinentes

1.	Fonction de densité de probabilité (pdf)		$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$
2.	Espérance Mathématique		$f(x) \geq 0$ $\mathbb{E}[g(x)] = \int_{-\infty}^{\infty} g(x)f(x)dx$
3.	Moyenne		$\bar{x} = \mathbb{E}[x]$
4.	Variance		$s^2 = \mathbb{E}[(x - \bar{x})^2]$
4.1.	Variance 2		$s^2 = \mathbb{E}[x^2] - \bar{x}^2$
5.	Loi d'atténuation		$N(x) = N_0 e^{-\mu x} = N_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \rho x}$
6.	Effet Photo-Électrique : Cinématique		$E_{e^-} = h\nu - \phi = E_{\gamma} - \phi$
7.	Diffusion Compton : Cinématique		$h\nu' = E_{\gamma'} = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$ $T_{e^-} = h\nu \left[ \frac{\frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)} \right]$ $\theta = \arccos \left[ 1 - m_e c^2 \left( \frac{h\nu - h\nu'}{h\nu h\nu'} \right) \right]$ $\cotan \alpha = \left( 1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} \right) \tan(\theta/2)$
8.	Sections Efficaces	P-E P-E (Sauter) Rayleigh Compton PP	$\sigma_{a,PE}(E, Z) \approx f_{PE}(E) Z^m$ $\sigma_{a,PE}(E, Z) \approx f_{PE}(E) Z^5$ $\sigma_{a,R}(E, Z) \approx f_{PE}(E) Z^2$ $\sigma_{a,C}(E, Z) \approx f_{PE}(E) Z^1$ $\sigma_{a,PP}(E, Z) \approx f_{PE}(E) Z^2$
9.	Convolution		$f(x) \star g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(x-t)dt$
10.	Transformée de Fourier 1D	Directe Inverse	$\mathcal{F}[f(x)]_k = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-i2\pi kx} dx$ $\mathcal{F}^{-1}[F(k)]_x = \int_{-\infty}^{\infty} F(k)e^{i2\pi kx} dk$
11.	Théorème de Convolution		$\mathcal{F}[f(x) \star g(x)] = \mathcal{F}[f(x)] \cdot \mathcal{F}[g(x)]$
12.	Propriétés de la Transformée de Fourier	Linéarité Décalage Échelle Dérivée Séparabilité	$\mathcal{F}[\alpha f(x) + \beta g(x)] = \alpha \mathcal{F}[f(x)] + \beta \mathcal{F}[g(x)]$ $\mathcal{F}[f(x - x_0)] = e^{-i2\pi kx_0} \mathcal{F}[f(x)]$ $\mathcal{F}[f(ax)] = \frac{1}{ a } F\left(\frac{k}{a}\right)$ $\mathcal{F}[f^{(n)}(x)] = (i2\pi k)^n \mathcal{F}[f(x)]$ $\mathcal{F}[f(x)g(y)] = \mathcal{F}[f(x)]_{\nu} \mathcal{F}[g(y)]_{\mu}$
13.	Rotation d'axes	x y	$x' = x \cos \theta + y \sin \theta$ $y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$
13.	Transformée de Radon	1 point Générale	$\mathcal{R}f(\xi, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(\xi - [x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta]) dx dy$ $\mathcal{R}f(\xi, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(\xi - [x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta]) dx dy$
14.	Théorème de la Coupe Centrale		$f(x, y) = \int_0^{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i2\pi(kx \cos \theta + ky \sin \theta)}  k  \mathcal{F}[p_{\theta}(\xi)]_k dk d\theta$
15.	Désintégration radioactive		$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-\ln(2)t/t_{1/2}}$
16.	Activité		$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\ln(2)t/t_{1/2}}$

17.	Défaut de masse		$\Delta = Z(m_e + m_p) + (A - Z)m_n - m(Z, A)$
18.	Équation caractéristique		$\det(A - rI) = 0$
19.	Énergie cinétique max		$K_{\xi, \max} = \left( \frac{m_{\xi_1}^2 - \Delta m^2}{2\Delta m} \right) c^2$
20.	Angle d'émission		$1 - \cos \theta = \frac{m_e c^2 (h\nu_1 + h\nu_2)}{h\nu_1 h\nu_2}$
21.	Signal		$s_{\text{tot}}(a) = \int_0^\pi e^{-2\mu r \sqrt{1 - (\frac{a}{r})^2 \sin^2 \theta}}$
22.	Erreur en TEP	Angle entre les photons	$\frac{\sqrt{R^2 - \xi^2}}{ \tan \theta } \left[ -1 + \sqrt{1 + 4\alpha(1 - \alpha) \tan^2 \theta} \right]$
23.	SNR		$\text{SNR} = \mu/\sigma$
24.	Pouvoir d'arrêt	Définition Collisionnel Radiatif Coulombien	$S = -\frac{dT}{dx}$ $\frac{S_{\text{col}}}{\rho} = f_{\text{col}}(\beta, W) \frac{Z}{A} z^2$ $\frac{S_{\text{rad}}}{\rho} = f_{\text{rad}}(\beta, W) \frac{Z^2}{A}$ $\frac{S_{\text{coul}}}{\rho} = f_{\text{coul}}(\beta, W) \frac{Z^2}{A}$
25.	Portée CSDA		$R_{\text{CSDA}}(T) = \int_0^T \frac{dT}{s_{\text{tot}}(T)}$
26.	Dose		$D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} = \Psi \left( \frac{\mu_{\text{abs}}}{\rho} \right)$
27.	Kerma		$K = \Psi \left( \frac{\mu_{\text{tr}}}{\rho} \right)$
28.	Dose équivalente		$H = D\omega_R$
29.	Fluence énergétique		$\Psi = \int_0^\infty \phi(E) E dE$
30.	Faisceau de traitement de photons	Divergence Atténuation	$\Psi_{\text{div}} = \Psi_0 \left( \frac{\text{SSD}}{\text{SSD} + x} \right)^2$ $\Psi_{\text{att}} = \Psi_0 e^{-\mu x}$
31.	PDD		$\text{PDD} = \frac{D(x)}{D(0)} = e^{-\mu x} \left( \frac{\text{SSD}}{\text{SSD} + x} \right)^2$
32.	Survie		$N(D) = N_0 e^{-D(\alpha + \beta D)}$
33.	Taux de survie		$S(D) = \frac{N(D)}{N(0)} e^{-D(\alpha + \beta D)}$
34.	Fréquence de Larmor		$\omega_{\text{Larmor}} = \gamma B$
35.	Magnétisation I		$M_z = \frac{N\gamma^2 \hbar^2 I(I+1)}{3k_B T} B_0$
36.	Magnétisation II	Longitudinale	$M_z(t) = M_0(1 - e^{-t/T_1})$
37.		Transverse	$M_{xy}(t) = M_0 e^{-t/T_2}$
38.	Angle de nutation		$\alpha = \gamma \int_0^{t_p} B_1(t) dt$

SIGNATURES:

LE CHARGÉ DE COURS \_\_\_\_\_

LE RÉPONDANT \_\_\_\_\_