

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

- 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 :

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

1 pt par réponse.

Rayleigh : Un photon est absorbé par un électron orbital. L'électron réémet un photon avec la même énergie, mais une direction différente.

$$\gamma + e^- \rightarrow \gamma + e^-$$

Compton : Un photon est absorbé par un électron orbitale, l'ionisant. L'électron émet un nouveau photon avec une énergie moindre. L'angle d'émission du photon dépend de l'énergie transférée.

$$\gamma + X \rightarrow \gamma' + X^+ + e^-$$

Photo-Électrique : Un photon est absorbé par un électron d'une orbitale électronique, l'ionisant.

$$\gamma + X \rightarrow X^+ + e^-$$

Production de paires : Un photon de haute énergie ($h\nu \geq 1.022MeV$) interagit avec un atome pour créer une paire électron-positron.

$$\gamma + X \rightarrow X + e^- + e^+$$

Photodésintégration : Un photon de haute énergie est absorbé par le noyau, le rendant dans un état excité.

$$\gamma + X \rightarrow X^*$$

2. Voici une image obtenue grâce à la tomodensitométrie :

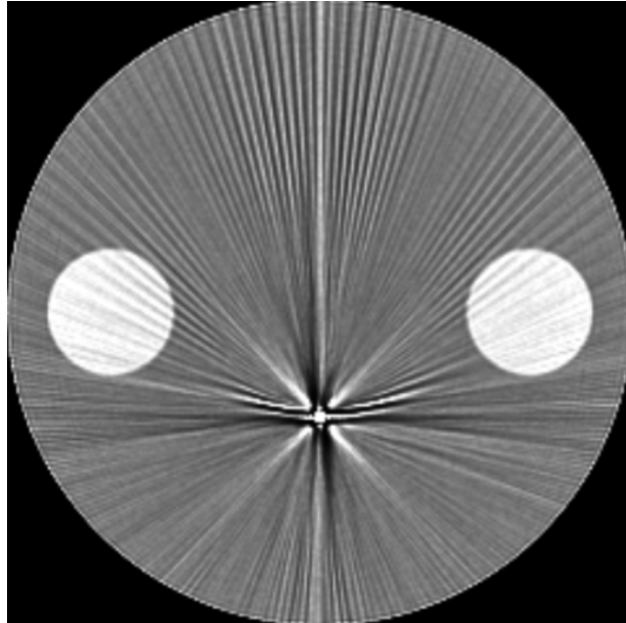


FIGURE 1 – Question 2

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

1 pt par réponse.

Un corps étranger en métal (haut Z) crée une mauvaise évaluation de l'intensité environnante.

Les stris provenant du nombre de projection sont visibles.

Autre possibilité : Contour un peu flou et moins nets autour des taches blanches et du pourtour du grand cercle venant de l'algorithme de reconstruction.

Note : Les cercles blancs ne sont pas des artéfacts, mais des caractéristiques du fantôme.

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

1 pt la réponse.

Il ne serait pas possible de respecter les lois de conservations d'énergie et de quantité de mouvement.

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]

1 pt la réponse.

Il y aura la création d'un flou.

Avant de créer la ligne d'incidence, il ne sera pas possible de savoir quel a été le mouvement du positron dans le milieu. Il y aura donc un certain volume d'où le positron pourra venir.

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]**

1 pt pour la réponse. 1 pt pour le schéma.

Réelles : ligne d'incidence passant par le lieu de création de la paire de photons.

Diffusée : un (ou les deux) photon est dévié par effet Compton ou Rayleigh. La ligne d'incidence n'est plus valide.

Fortuite : Deux événements pour lesquels un seul photon se rend au détecteur sont détectés pour former une fausse ligne d'incidence.

Multiples : Plusieurs annihilations créent des paires qui sont toutes détectées en même temps. Le système ne peut pas déterminer la bonne ligne d'incidence.

Simple : Un seul des photons d'annihilation est détecté. Il n'est pas possible de créer une ligne d'incidence.

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

1 pt la réponse.

Møller : électron-électron ; Bhabha : positron-électron.

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

1 pt la réponse.

Le kerma représente la quantité d'énergie transféré à un milieu et la dose la quantité absorbée. En profondeur, les deux sont généralement les mêmes, mais pas en surface, là où il y a une zone de build-up, c'est-à-dire un non-équilibre électronique.

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**]

1 pt par réponse.

- 8.a) Il est supposé que les particules perdent leur énergie cinétique de façon graduelle (non-stochastique) et se déplacent en ligne droite.
- 8.b) Pour les particules légères, électrons & positrons, cela n'est pas vrai, car elles sont grandement déviées.
Pour les particules massives, leur trajectoire est plus linéaire. L'hypothèse tient donc mieux.
- 8.c) Continuously Slowing Down Approximation

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]

1 pt par réponse.

9.a) $\Psi = 3 \cdot 10^{10}$.

9.b) $\Psi = 3 \cdot 10^{10} * \left(\frac{1}{1 + 0.3} \right)^2 \approx 1.776 \cdot 10^{10}$

9.c) $\Psi = 3 \cdot 10^{10} * e^{-1 \cdot 0.02079 \cdot 3} \approx 1.61 \cdot 10^{10}$

9.d) $\Psi = 3 \cdot 10^{10} * e^{-1 \cdot 0.02079 \cdot 3} * \left(\frac{1}{1 + 0.3} \right)^2 \approx 9.51 \cdot 10^9$

9.e) L'effet géométrique, dû à la divergence du faisceau, est la partie principale faisant diminuer la fluence énergétique.

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

1 pt par réponse/exemple.

Anatomique : Montre des parties de l'anatomie, ex : os, gras, air.

Imagerie : Rayons X, CT, IRM anatomique.

Fonctionnelle : Montre des régions fonctionnelles de l'anatomie, pas l'anatomie elle-même. ex : Absorption du FDG.

Imagerie : Médecine nucléaire, TEP, SPECT, IRM fonctionnelle, Doppler.

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

1 pt pour la réponse.

. Il s'agit d'une mesure quantitative de la netteté d'une image. Plus l'image est floue et plus le SNR sera bas et vice-versa

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

1 pt pour la réponse.

Pour permettre aux tissus sains de se rétablir entre chaque fraction de dose (et permettre l'oxygénation de la tumeur : plus facile à traiter qu'en hypoxie).

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]

1 pt pour la réponse.

Non, car le nombre de protons et le nombre de neutrons sont pair. Le moment magnétique dipolaire de l'hélium est donc de 0, ce qui cause une magnétisation nette de 0. Il n'y a donc pas de possibilité d'utiliser cela pour de l'IRM.

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]

1 pt pour mentionner le gradient de tranche. 1 pts pour une explication.

En créant un gradient dans le champs magnétique principale.

Cela causera une précession à différentes fréquences pour les spins nucléaires. L'onde RF causant la rotation n'aura donc effet que sur une tranche du patient.

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	$\mathcal{R}f(\xi, \theta) = \delta(\xi - [x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta])$ $\mathcal{R}f(\xi, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(\xi - [x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta]) dx dy$
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 _____