

**CANADIAN
COLLEGE OF
PHYSICISTS IN
MEDICINE**



**LE COLLÈGE
CANADIEN
DES PHYSICIENS
EN MÉDECINE**

Examen d'adhésion des membres du CCPM

Édition 13.0

**QUESTIONS DE PHYSIQUE MÉDICALE
POUR
L'EXAMEN D'ADHÉSION DES MEMBRES**

Édition 13.0

Collège canadien des physiciens en médecine

**CANADIAN
COLLEGE OF
PHYSICISTS IN
MEDICINE**



**LE COLLÈGE
CANADIEN
DES PHYSICIENS
EN MÉDECINE**

Examen de candidature au CCPM

Édition 13.0

Medical Physics Questions For
Membership Examination
(Edition 13.0)

Questions de physique médicale
pour l'examen d'adhésion des membres
(Édition 13.0)

Copyright © 2024 by the
Canadian College of Physicians
In Medicine

Copyright © 2024 par
Le Collège canadien des
physiciens en médecine



Les carnets d'examen du Collège canadien des physiciens en médecine sont autorisés par une licence [Creative Commons Attribution-non commerciale-Partage à l'identique 2.5 Canada](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/ca/) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/ca/>).

Available from the:

Distribué par :

Canadian College of
Physicists in Medicine

Le Collège canadien des
physiciens en médecine

Mike Sattarivand, PhD, FCCPM, DABR, PEng, CRPA(R)
CCPM Registrar / Greffier du CCPM
registrar@ccpm.ca

Édition électronique : ISBN : 0-9684873-3-5



AVANT-PROPOS DE LA TREIZIÈME ÉDITION

Voici la treizième édition de la banque de questions publiée pour l'examen d'adhésion au Collège canadien des physiciens en médecine (CCPM). Cet examen permet au CCPM de certifier que ceux qui réussissent l'examen écrit en quatre parties et l'examen oral en trois parties sont compétents dans leur sous-spécialité en physique médicale. Combiné au processus d'éligibilité pour l'examen, il s'agit d'un parcours exhaustif dans lequel un candidat s'engage.

Toutes les banques de questions ont été considérablement modifiées en 2015, et depuis, elles sont révisées sur une base annuelle. La banque de questions sur l'IRM a été mise à jour en 2016, celle de l'imagerie diagnostique en 2021, et celle de la médecine nucléaire en 2023. Plusieurs questions redondantes et/ou obsolètes ont été supprimées et remplacées par des questions actuelles et pertinentes; toutes les questions ont été réorganisées pour améliorer la clarté. Des changements mineurs ont été apportés à la présente version des questions de radio-oncologie. Notez qu'il est important de s'assurer que la bonne banque de questions est téléchargée lorsque la préparation de l'examen commence ! Depuis 1984, un travail considérable a été accompli pour produire une série de questions complète grâce au travail acharné des anciens examinateurs en chef : Ervin B. Podgorsak, Terry M. Peters, Gino Fallone, Ting-Yim Lee, Katharina E. Sixel, Michael D.C. Evans, Robert Corns, Boyd McCurdy, Renée Larouche, Alasdair Syme et Geneviève Jarry et à tous ceux qui les ont aidés.

Un guide de préparation existe maintenant et est affiché sur le site Web du CCPM. Ce guide présente des stratégies de gestion du temps et de l'information sur la longueur attendue pour les réponses à développement longues.

Le Collège souhaite remercier Alexandre Bourque, examinateur adjoint, ainsi que les nombreux bénévoles qui l'aident chaque année. Un merci spécial est adressé à Erin Niven et Marjorie Gonzalez, qui ont contribué à la révision complète de la banque de questions en médecine nucléaire.

Les candidats qui préparent leur examen et qui ont des commentaires sur la banque de questions sont invités à me contacter (chiefexaminer@ccpm.ca).

Bonne chance à tous les candidats,

Marcus Sonier
Abbotsford, BC, Canada
30 Septembre 2024



Ouvrages de référence suggérés pour la préparation de l'examen.

Les candidats ne doivent PAS présumer que les questions seront uniquement basées sur ces ouvrages de référence.

A: Radio-oncologie

1. The physics of radiation therapy: F. M. Khan; Williams and Williams, Baltimore.
2. Introduction to radiological physics and radiation dosimetry: P.H. Attix; Wiley, New York.
3. The physics of radiology (Fourth Edition.): H.E. Johns and J.R. Cunningham; Charles C. Thomas, Springfield Ill.
4. Modern technology of radiation oncology: J. Van Dyk (Editor); Medical Physics Publishing, Madison Wisconsin.
5. Radiation physics for medical physicists: E.B. Podgorsak; Springer, New York.
6. Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students: E.B. Podgorsak (Editor); IAEA, Vienna.
7. Radiobiology for the radiobiologist: E.J. Hall; Lippincott Williams & Wilkins, New York.
8. Publication 103 de la CIPR: The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection: The International Commission on Radiological Protection, New York, 2007
9. NCRP report 147: Structural shielding design for medical x-ray imaging facilities: National Council on Radiation Protection and Measurements; Bethesda MD.
10. NCRP report 151: Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities: National Council on Radiation Protection and Measurements; Bethesda MD.
11. Codes de pratique du contrôle de la qualité technique du PCQR, <http://www.pcqr.ca/programmes/controle-de-la-qualite-technique/>
12. Publication 112 de la CIPR: Preventing Accidental Exposures from New External Beam Radiation Therapy Technologies, The International Commission on Radiological Protection; New York, 2009

B: Radiologie diagnostique

1. Physics of radiology (2nd Ed.): A. Wolbarst, Medical Physics Publishing, Madison, WI; 2005
2. Review of Radiological Physics (3rd Ed.): W. Huda, R.M. Slone; Lippincott Williams & Wilkins; 2010
3. Essential Physics of Medical Imaging (2nd Ed.): J.T. Bushberg, J.A. Seibert, E.M. Leidholdt, J.M. Boone; Lippincott Williams & Wilkins; (2001)
4. Medical Imaging Signals and Systems: J.L. Prince, J. Links; 2005
5. Medical Imaging Physics (4th Ed.): W.R. Hendee, E.R. Ritenour; Wiley-Liss; 2002
6. Computed Tomography: Fundamentals, System Technology, Image Quality, Applications (2nd Ed.): W.A. Kalender; Wiley-VCH; 2006
7. Ultrasound Physics and Instrumentation (4th Ed): W.R. Hedrick, D.L. Hykes, D.E. Starchman; Mosby; 2004
8. Guidelines for the safe use of diagnostic ultrasound equipment. Prepared by the Safety Group of the British Medical Ultrasound Society Ultrasound 2010; 18: 52–59.
9. Medical electrical equipment – Characteristics of digital X-ray imaging devices – Part 1: Determination of the detective quantum efficiency. International Standard IEC 62220-1



C: Médecine nucléaire

1. Physics in nuclear medicine (4th Ed): S.R. Cherry, J.A. Sorenson and M.E. Phelps; W.B. Saunders, Philadelphia; 2012
2. Nuclear medicine physics: L.E. Williams (Ed); CRC Press, Boca Raton.
3. The physics of radiology (4th Ed.): H.E. Johns and J.R. Cunningham; Charles C. Thomas, Springfield Ill.
4. Introductory physics of nuclear medicine, R. Chandra; Lea & Febiger, Philadelphia.
5. Radiation detection and measurement, G. F. Knoll; John Wiley and Sons, Third Edition, 2000.
6. Basic science of nuclear medicine, R.P. Parker, P.H.S. Smith, D.M. Taylor; Churchill Livingstone, New York.

D: Résonance magnétique

1. Nuclear magnetic resonance imaging in medicine and biology: P.G. Morris; Oxford University Press, Oxford.
2. Magnetic resonance imaging: physical principles and sequence design, R.W. Brown, YN Cheng, E.M. Haacke M.R. Thompson, and R. Venkatesan, A. John Wiley & Sons, 2014.
3. In vivo NMR Spectroscopy: principles and techniques, R. A. de Graaf, John Wiley and Sons, 2007.
4. Questions and answers in magnetic resonance imaging, Second Edition, A.D. Elster and J. H. Burdette, Mosby, 2001.
5. Handbook of MRI pulse sequences, M. A. Bernstein, K. F. King, and X. J. Zhou, Elsevier Academic Press, 2004.
6. MRI: Basic Principles and Applications (4th Ed.); M.A. Brown, R.C. Semelka; Wiley-Blackwell; 2010
7. Principles of Magnetic Resonance Imaging: A Signal Processing Perspective, Z.P. Liang and P.C. Lauterbur, Wiley-IEEE, 1999



Section C : Spécialisation en médecine nucléaire

Vous devrez répondre à **QUATRE** questions de la Partie III et à **CINQ** questions de la Partie IV. Deux heures et demie au total sont allouées pour répondre aux questions des deux parties. Chaque question de la Partie III vaut 25 %, totalisant 100 %. Chaque question de la Partie IV vaut 20 %, totalisant 100 %.



PART III SPÉCIALISATION EN MÉDECINE NUCLÉAIRE

1. Utilisez l'invariant $E^2 - p^2c^2 = Inv$ pour calculer le seuil de réaction nucléaire $A(a,b)B$ où a et b sont, respectivement, les particules ou photons incident et émis.

2.
 - (a) Dessinez et discutez brièvement la courbe E_B / A en fonction de A où E_B est l'énergie de liaison totale d'un noyau donné et A est sa masse atomique. Indiquez et discutez brièvement les régions de la courbe représentant la fusion et la fission.
 - (b) À partir de la courbe dessinée en a), estimez l'énergie globale (en MeV) dégagée si l'U238 se fissionne spontanément en deux fragments égaux et stables accompagnés de l'émission de quatre neutrons. Quelle fraction de la masse de l'U238 est convertie en énergie ?
 - (c) En supposant que les grandes masses fissionnées en b) possèdent une énergie cinétique négligeable et qu'en moyenne, les quatre neutrons partagent l'énergie disponible de manière égale, calculez la vitesse moyenne d'un neutron, exprimée en une fraction de la vitesse de la lumière, v/c .

3. Définissez brièvement ou expliquez :

(a) activité A	(f) demi-vie $t_{1/2}$
(b) activité spécifique a	(g) durée de vie moyenne τ
(c) source sans entraîneur	(h) constante radioactive λ
(d) rapport d'embranchement	(i) chaîne de désintégration
(e) largeur du niveau d'énergie Γ	(j) activité engendrée

4. Définissez brièvement ou expliquez :

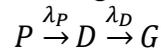
(a) activation neutronique	(f) fragments de fission
(b) transition isomérique	(g) réaction nucléaire en chaîne
(c) densité de flux de neutrons	(h) modérateur de réaction nucléaire
(d) photon d'annihilation	(i) radioactivité artificielle
(e) ionisation spécifique	(j) radioactivité naturelle



5. Définissez brièvement ou expliquez :
- | | |
|-------------------------------|--|
| (a) état nucléaire excité | (f) photon d'annihilation |
| (b) état atomique excité | (g) rendement de conversion interne |
| (c) rendement de fluorescence | (h) rayonnement caractéristique |
| (d) énergie moyenne β | (i) rayonnement de freinage (Bremsstrahlung) |
| (e) état isomérique | (j) déficit de masse |
6. Définissez brièvement ou expliquez :
- | | |
|----------------------------------|---|
| (a) particule bêta | (f) transfert d'énergie linéique (<i>LET</i>) |
| (b) particule alpha | (g) Couche de demi-atténuation (<i>HVL</i>) |
| (c) ionisation | (h) désintégration du positon |
| (d) discontinuité d'absorption K | (i) capture électronique |
| (e) paire d'ions | (j) conversion interne |
7. Discutez la désintégration α en général. Donnez la relation générale pour l'énergie totale Q_α libérée lors d'une désintégration α et dessinez un diagramme énergétique pour une désintégration α typique.
8. Discutez de la transition isomérique en général, donnez un exemple typique avec un diagramme des niveaux d'énergie, et expliquez la conversion interne et la désintégration gamma.
9. Discutez l'interaction des particules indiquées ci-dessous avec les tissus et les matériaux à numéro atomique élevé :
- | |
|---|
| (a) particules alpha (énergie cinétique : quelques MeV) |
| (b) particules bêta (énergie cinétique : quelques MeV) |
| (c) neutrons lents |
| (d) neutrons rapides |
10. Définissez brièvement ou expliquez :
- | | |
|---|---|
| (a) fluorescence de résonance nucléaire | (f) rayonnement Cerenkov |
| (b) capture électronique | (g) coefficient de conversion interne |
| (c) effet Mossbauer | (h) électrons Auger |
| (d) rayonnement X caractéristique | (i) coefficient d'absorption d'énergie massique |
| (e) production de triplets | (j) seuil de réaction nucléaire |
- 11.
- | |
|---|
| (a) Dessinez les graphiques de l'activité en fonction du temps t pour un noyau radioactif typique en utilisant une échelle semi-logarithmique et une échelle linéaire. |
| (b) Montrez l'allure de la demi-vie ($t_{1/2}$) et de la durée de vie moyenne (τ) en fonction du temps et calculez la relation entre τ , $t_{1/2}$, et la constante radioactive (λ). |



12. Considérez une chaîne de désintégration radioactive pour laquelle un radionucléide précurseur **P** décroît en un radionucléide engendré **D** avec des constantes radioactives, λ_P et λ_D , respectivement,



Les activités des noyaux précurseur (A_P) et engendrés (A_D) présents à un temps donné sont

$$A_P = A_{P_0} e^{-\lambda_P t}$$

$$A_D = A_{P_0} \times \frac{\lambda_D}{\lambda_D - \lambda_P} (e^{-\lambda_P t} - e^{-\lambda_D t})$$

- (a) Tracez sur un même graphique les activités A_P et A_D en fonction du temps t pour $\lambda_P < \lambda_D$.
- (b) Calculez le temps t_{max} correspondant au maximum de A_D et montrez que ceci se produit quand $A_P = A_D$.
- (c) Montrez que pour $\lambda_P = \lambda_D(1 - \varepsilon)$, où $0 < \varepsilon \ll 1$, t_{max} peut s'exprimer comme $t_{max} \approx 1/(\lambda_P \lambda_D)^{1/2}$.
13. Quand un radionucléide possède un radionucléide engendré de plus courte demi-vie, il est souvent possible de les séparer, mécaniquement ou chimiquement. Plusieurs de ces systèmes, nommés générateurs nucléaires, sont en usage. Nommez au moins trois de ces systèmes et dessinez l'activité des radionucléides précurseur et engendré à l'intérieur du générateur en fonction du temps en supposant :
- (a) une absence de prélèvement du radionucléide engendré; et
- (b) un prélèvement périodique du radionucléide engendré. Supposez une efficacité de prélèvement du radionucléide engendré à partir du générateur de 100 %.
14. Supposez qu'un échantillon d'un matériau soit bombardé avec des neutrons et qu'un radio-isotope soit produit à un débit uniforme Q . Initialement, aucun radio-isotope n'est présent et il décroît à un taux $-\lambda N$, où N représente le nombre de radionucléides présents à un temps t et λ est sa constante radioactive.
- (a) Dérivez l'équation de l'activité du radio-isotope A en fonction du temps t pendant le bombardement de neutron.
- (b) Quelle hypothèse doit être posée pour produire le radio-isotope à un débit uniforme Q ?
15. Dessinez un diagramme représentant les deux plus importants modes d'interaction photonique avec un milieu pour des énergies de photon utilisées en médecine nucléaire. Discutez brièvement ces deux effets et déterminez la dépendance du coefficient d'atténuation de masse approprié sur l'énergie des photons et sur le numéro atomique du milieu.



16. Les agents primaires qui produisent les dommages aux cellules irradiées par du rayonnement X ou gamma sont des électrons de haute énergie libérés par le biais d'interactions de photons avec des atomes entiers, des électrons orbitaux ou des noyaux. Discutez brièvement des trois plus importants modes d'interaction photonique avec la matière dans la gamme d'énergie de photons entre 10 keV et 10 MeV en décrivant les relations fonctionnelles de chaque mode.
17. Considérant les photons d'imagerie primaires émis par le Tc-99m et l'I-131, pour quel angle de diffusion un photon diffusé par effet Compton perd-il une énergie équivalant à la résolution en énergie au niveau de l'énergie du pic photoélectrique pour une caméra gamma constituée d'un détecteur à scintillation utilisant un cristal de NaI(Tl) d'une épaisseur de 1.25 cm (0,5 po). Discutez les implications de cet angle de diffusion sur l'image en vous référant spécifiquement au rendement du pic photoélectrique du détecteur et à la possibilité ou non d'utiliser l'analyse d'amplitude pour la discrimination des photons diffusés dans le patient.
18. Dessinez une distribution de Poisson qui correspond à la distribution des comptes provenant d'une source radioactive dont l'analyse a été répétée pour une période de temps fixe. Supposez que la moyenne vraie soit de 1000 comptes par 10 secondes. Indiquez sur le graphique les intervalles de comptes dans lesquels 66 %, 95 % et 99 % des mesures devraient se trouver.
- 19.
- (a) Supposez que le « vrai » rayonnement de fond soit de 100 comptes par minute. Vous souhaitez mesurer le taux du rayonnement de fond et vous hésitez entre deux méthodes :
- (i) Mesurer le rayonnement de fond 10 fois en utilisant des intervalles d'une minute puis calculer la moyenne de ces 10 lectures.
- (ii) Mesurer le rayonnement de fond une seule fois pendant un intervalle de 10 minutes puis mettre le résultat à l'échelle pour un taux exprimé en comptes/minutes.
- Montrez que la valeur moyenne attendue de votre mesure de rayonnement de fond et son erreur-type sont identiques. Indiquez toutes les hypothèses que vous jugez nécessaire de poser.
- (b) Supposez que vous avez mesuré le rayonnement de fond en cinq mesures d'une minute et en une mesure de dix minutes avec les résultats suivants :
- 112, 108, 109, 82, 93 et 995.
- En utilisant ces données, calculez la meilleure estimation du taux de comptage du rayonnement de fond en cpm.



20. Une surface est inspectée avec un compteur G-M à la recherche de contaminations et une petite tache contaminée donnant une lecture de 15 000 comptes/min est relevée. La lecture du rayonnement de fond habituel est de 45 comptes/min. Le taux de comptage devient négligeable lorsqu'un absorbeur en plastique d'une épaisseur de 5 mm est placé au-dessus de la surface. Le taux de comptage pour une source de référence bêta faite de bismuth-210 et sondée de manière similaire est de 9 400 comptes/min bien que la source soit connue pour émettre 32 600 particules bêta par minute.
- Quel est le taux d'émission des particules bêta en provenance de la surface contaminée?
 - Quels facteurs modifient le taux de comptage détecté par le détecteur G-M?
21. Une source est sondée pendant un temps t_G en présence de rayonnement de fond et mesure G comptes. Une deuxième mesure du rayonnement de fond seul, prise après un temps t_B , donne un résultat de B comptes. Si σ_G et σ_B représentent les écarts-types respectifs, dérivez une équation pour l'écart-type σ_r du débit de signal net $r = G/t_G - B/t_B$. Si le temps combiné $t = t_G + t_B$ servant à mesurer G et B est fixe, comment diviser les temps de comptage t_G et t_B de manière optimale entre les deux mesures de telle sorte à minimiser σ_r ?
22. Les procédures d'imagerie en médecine nucléaire sont souvent interrompues en utilisant un critère nommé « densité de comptes ». En posant certaines hypothèses en ce qui a trait à la résolution spatiale d'une caméra gamma, proposez la densité de comptes requise pour démontrer qu'une variation de 10 % en comptes par centimètre carré est significative à un niveau de confiance de 95 %.
23. Soient les pixels de deux images prises par une caméra à scintillation numérique représentés par $X(i,j)$ et $Y(i,j)$ et leurs erreurs supposées $\Delta X(i,j)$ et $\Delta Y(i,j)$, respectivement. Quelles sont les erreurs d'un élément d'image formé par $X(i,j) \times Y(i,j)$ et par $X(i,j) + Y(i,j)$?
24. Dessinez une matrice 2×2 de la maladie (**D+** ou **D-**) et un test diagnostique (**T+** ou **T-**) pour une population de patients donnée. Identifiez les cas de vrais positifs, faux positifs, vrais négatifs et faux négatifs. En utilisant votre tableau au besoin, définissez clairement les termes suivants :
- sensibilité
 - spécificité
 - précision
 - prévalence (de la maladie)
 - valeur prédictive positive du test
 - valeur prédictive négative du test
25. Décrivez en détail comment une courbe de la caractéristique de fonctionnement du récepteur (*ROC*) est générée et esquissez l'allure d'une courbe classique. Identifiez clairement les axes et indiquez sur la courbe les points de fonctionnement correspondant aux seuils de discrimination « strict » et « relâché ».
26. Exposez une méthode de cotation (« *Rating method* ») pour générer une courbe ROC en utilisant un seul observateur et un certain nombre d'images diagnostiques.



27. Fournissez les équations complètes de la DMD (détection minimale d'activité ou MDA (anglais)) pour un système de comptage destiné au comptage d'échantillons cliniques (par exemple, du sang), de la thyroïde et de lingettes. Incluez les définitions et les unités des symboles. Quel paramètre change lorsque le système de comptage est un compteur GM, et pourquoi ? Quelle est la signification statistique du terme constant inclus dans l'équation de la DMD ?
28. Définissez brièvement ou expliquez :
- | | |
|----------------------------|------------------------|
| (a) Méiose | (f) métastase |
| (b) Interphase | (g) exfoliation |
| (c) Apoptose | (h) index mitotique |
| (d) Fraction de croissance | (i) mitose |
| (e) Nécrose | (j) fraction hypoxique |
29. Définissez brièvement ou expliquez :
- | | |
|------------------------|-----------------|
| (a) Mutation | (f) Anaphase |
| (b) ADN (<i>DNA</i>) | (g) Restitution |
| (c) ARN (<i>RNA</i>) | (h) Chromatide |
| (d) Cycle cellulaire | (i) Chromosome |
| (e) Ploïdie | (j) Métaphase |
30. Discutez brièvement les effets du rayonnement sur les constituants cellulaires **autres que** l'ADN et les chromosomes.
31. Discutez brièvement les trois types de réponse cellulaire au rayonnement.
- | |
|------------------------------|
| (a) Apoptose |
| (b) Retard de division |
| (c) Échec de la reproduction |
32. Les molécules peuvent être transformées, endommagées ou inactivées par l'*action directe* ou *indirecte* du rayonnement ionisant. Expliquez la signification de ces termes. En quelles circonstances l'action directe serait-elle le mode d'interaction prédominant pour cibler des molécules? Quelle est la relation entre la dose et la production de molécules inactivées par action directe et comment peut-on calculer la taille de la molécule cible ou des structures submoléculaires à partir de cette relation?
33. Exposez les raisons permettant de croire que le principal site de dommage létal radio-induit est localisé dans le chromosome. Décrivez comment sont produits trois types d'aberrations chromosomiques fréquemment observées.



34. Discutez des effets du rayonnement sur les chromosomes et énumérez quatre exemples spécifiques de dommages. Expliquez la différence entre les aberrations de chromosome et de chromatide. Discutez les effets de la dose, du débit de dose et du transfert d'énergie linéique (TEL) sur des types spécifiques de dommages chromosomiques.
- 35.
- (a) Tracez une courbe de survie au rayonnement typique pour des cellules de mammifères. Formulez une équation qui soit une bonne représentation des courbes de ce type et expliquez les paramètres de l'équation en fonction de la compréhension des mécanismes de mort cellulaire.
 - (b) Discutez brièvement comment la survie cellulaire est déterminée expérimentalement.
36. Discutez en détail le cycle cellulaire et donnez trois exemples de temps du cycle cellulaire pour des cellules de mammifères. Décrivez les variations de radiosensibilité d'une cellule en fonction de sa position à l'intérieur du cycle cellulaire.
37. Discutez de la radiosensibilité de chaque stade de la grossesse, y compris le risque de carcinogenèse et de d'autres résultats indésirables. Quelles sont les doses seuils à partir desquelles des résultats indésirables ont été observés chez les humains ? Quels seraient vos conseils pour les situations suivantes :
- (a) Une personne enceinte au troisième trimestre est exposée à des radiations entraînant une dose fœtale de 250 mGy. Cette personne s'inquiète de la perte du fœtus. Que conseilleriez-vous dans cette situation?
 - (b) Une patiente essaie de concevoir et n'est pas certaine de son statut de grossesse. Si la région abdominale est exposée aux premiers stades de la grossesse, quel organe est utilisé pour le calcul de la dose fœtale? En supposant qu'une dose fœtale de 20 mSv soit calculée, qu'il soit estimé que la patiente était à 11 jours après la conception et qu'elle envisage d'interrompre la grossesse. Que conseilleriez-vous dans cette situation ?
38. Un patient reçoit 5,5 GBq d'I-131 pour traiter des métastases de la thyroïde.
- (a) Quelles précautions doivent être prises pour assurer la protection des autres personnes ?
 - (b) Est-ce que l'urine du patient doit être collectée ? Si oui, combien de temps devrait-elle être conservée et comment devrait-on en disposer ? Quels sont les arguments s'opposant à une telle collecte ?
39. Décrivez brièvement un programme de dépistage thyroïdien adapté aux chercheurs qui sont en contact avec des composés marqués à l'I-125 ou I-131.



40. Le directeur du département de physique de l'université locale est dirigé vers le département de médecine nucléaire pour une scintigraphie osseuse. Au cours de l'examen, il pose plusieurs questions relatives à la radioprotection. Répondez aux questions suivantes :
- À quelles agences gouvernementales le département de médecine nucléaire doit-il rendre des comptes pour ce qui a trait à
 - l'approvisionnement en radio-isotopes;
 - l'entreposage des radio-isotopes;
 - l'utilisation in vivo des radio-isotopes;
 - l'élimination des déchets radioactifs?
 - Quels sont les effets indésirables des radiations aux concentrations employées dans un département de médecine nucléaire?
 - En médecine nucléaire diagnostique, existe-t-il des situations réalistes où une dose potentiellement dangereuse d'un produit radiopharmaceutique puisse être administrée à un patient ?
 - Quels instruments aimeriez-vous avoir à votre disposition pour contrôler les niveaux de rayonnement et pourquoi ?
- 41.
- Quels principes de radioprotection sont particuliers aux mères qui allaitent ?
 - Pour quels examens de médecine nucléaire est-il recommandé d'interrompre l'allaitement et pour combien de temps ?
 - Une mère qui a reçu une injection de pertechnétate marqué au Tc-99m présente une concentration maximale de traceur dans son lait maternel trois heures après l'injection équivalant à 0,06 MBq/ml. Deux mesures additionnelles prises au cours des cinq heures suivantes laissent supposer une demi-vie biologique de 24 heures. En supposant que l'enfant ingère 150 ml par tétée et qu'il boit toutes les quatre heures, quand l'enfant pourra-t-il reprendre l'allaitement de manière sécuritaire ? Supposez une dose efficace au nouveau-né de 0,14 mSv/MBq de lait ingéré.
42. Dans les établissements de santé où le rayonnement est utilisé à des fins diagnostiques ou thérapeutiques, la protection de quatre groupes de personnes doit être considérée :
- les travailleurs du secteur nucléaire (*NEW*)
 - les travailleurs qui ne sont pas du secteur nucléaire, mais qui travaillent à proximité d'une source de rayonnement
 - le personnel administratif et autres personnels périphériques
 - le public
- Spécifiez et justifiez les limites de dose équivalente réglementaires et opérationnelles pour les quatre groupes et comparez-les à la dose équivalente provenant du rayonnement ambiant naturel.



43. Discutez de la philosophie d'opération concernant les pratiques de radioprotection connue sous le nom de ALARA. Indiquez de quelle façon elle influence l'interprétation des limites de dose efficace et de dose équivalente. Décrivez cinq pratiques de travail en laboratoire sous rayonnements qui sont en accord avec la philosophie ALARA.
44. Un fœtus est exposé à une dose de 50 mSv au cours de la 10^e semaine de grossesse. Discutez les effets possibles de cette exposition et estimez les facteurs de risque associés à chacun de ces effets. Quelle est la limite de dose efficace pour l'exposition professionnelle d'une femme enceinte qui est une travailleuse du secteur nucléaire (*NEW*)?
45. Il vous a été demandé de réviser des projets de recherche chez l'humain qui nécessiteront l'administration de radiotraceurs en quantité suffisante pour le diagnostic clinique chez des sujets sains. Énumérez et, selon le principe ALARA (niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre), commentez les règles selon lesquelles un comité de recherche et d'éthique chez l'humain pourrait de manière générale évaluer ces projets de recherche.
46. Discutez brièvement des principes de radioprotection tels qu'ils s'appliquent dans la pratique clinique de la médecine nucléaire. Donnez des exemples précis d'applications pour chacun de ces principes.
47. Le département de médecine nucléaire souhaite disposer des déchets solides (seringues, tasses, pailles...) qui ont été utilisés au cours des traitements à l'I-131. Veuillez-vous référer au Règlement sur les substances nucléaires et les appareils à rayonnement publié sur le site Web de la CCSN concernant le règlement portant sur les quantités d'exemptions.
- (a) Quelles limites, si elles existent, s'appliquent ?
 - (b) Quelles considérations additionnelles devraient être prises en compte ?
 - (c) Quelles approches alternatives pourraient être suivies ?
48. Décrivez brièvement les méthodes employées pour contrôler la radioactivité résiduelle suivant le déversement de 37 MBq d'I-131 sous forme liquide devant être administré en thérapie thyroïdienne. Exposez les grandes lignes de la procédure de décontamination à suivre dans de telles situations et décrivez les démarches ultérieures qui pourraient être nécessaires, s'il y a lieu.



49. Une personne arrive aux urgences se plaignant de douleurs abdominales sévères, elle informe l'infirmière de triage qu'elle est "radioactive", puis s'évanouit.
- Quelles instructions pouvez-vous donner au personnel pour confirmer si le patient est effectivement radioactif ou non?
 - Doit-on enquêter sur cela avant, pendant ou après le triage?
 - Pourquoi pourrait-on mesurer de la radioactivité sur ce patient pour d'autres raisons qu'une intervention médicale ?
 - En supposant que le patient ait reçu une thérapie à l'I-131 pour la maladie de Grave plus tôt dans la journée avec une activité administrée de 740 MBq. Si le personnel des urgences vous questionne, quelles précautions de sécurité radiologique pourriez-vous leur donner?
50. Définissez brièvement ou expliquez :
- | | |
|---|----------------------|
| (a) qualité de rayonnement | (f) principe ALARA |
| (b) effets somatiques | (g) dose absorbée |
| (c) effets stochastiques | (h) dose équivalente |
| (d) efficacité biologique relative (<i>RBE</i>) | (i) dose efficace |
| (e) dose maximale admissible | (j) $DL_{50/30}$ |
51. Définissez brièvement ou expliquez :
- | | |
|---|--|
| (a) détriment dans une population | (f) exposition |
| (b) facteur de qualité | (g) constante de débit d'exposition |
| (c) pouvoir d'arrêt de collision | (h) extinction (pour un détecteur Geiger- Mueller) |
| (d) transfert d'énergie linéique (<i>LET</i>) | (i) dose efficace |
| (e) efficacité biologique relative (<i>RBE</i>) | (j) charge corporelle |
52. Une dose de 100 MBq d'Y-90 est injectée au centre d'une tumeur. En supposant une source ponctuelle d'Y-90, estimez le débit de dose initial du rayonnement bêta sur les tissus mous avoisinants en fonction du rayon. Quelle est la dose donnée à la tumeur ? Donnez vos réponses en unités SI et indiquez toutes les hypothèses que vous jugez nécessaire de poser.
53. On donne à un patient 3,5 MBq d'I-131 par voie orale. Supposez que l'absorption par la thyroïde est de 30 %, que l'énergie moyenne des particules bêta est de 0,1915 MeV, que la demi-vie biologique est de 80 jours et que la masse de la thyroïde est de 20 grammes. Calculez la dose administrée à la thyroïde. Justifiez la raison pour laquelle la contribution des photons à la dose est négligeable.
54. Quelle est l'équation MIRD (Medical Internal Radiation Dose) complète/originaline ? Incluez les définitions et les unités pour les symboles. Quels sont les paramètres de la valeur S (S-value) et du temps de résidence (residence time) ? Quelles sont les limites du formalisme MIRD? Quelles sont les différences entre les méthodologies de calcul de la dose interne MIRD et de l'ICRP (International Commission on Radiological Protection) ?



PART IV SPÉCIALISATION EN MÉDECINE NUCLÉAIRE

1. Définissez brièvement ou expliquez :

(a) dynode	(f) bande de valence
(b) photocathode	(g) bande interdite
(c) fluorescence	(h) largeur de bande (<i>energy gap</i>)
(d) constante de décroissance lumineuse	(i) détecteur à barrière de surface d'un cristal
(e) exciton	(j) semi-conducteur de type n

2. Discutez la spectroscopie d'énergie des photons pour des détecteurs à scintillation. Dessinez un spectre en énergie typique et définissez les structures suivantes :

(a) pic photoélectrique	(e) pics de sommation des coïncidences
(b) vallée, front et plateau Compton	(f) pic de rétrodiffusion
(c) pic d'échappement de rayonnement X	(g) pic d'annihilation
(d) pic d'échappement d'annihilation	(h) pic de rayonnement X caractéristique

3. Définissez brièvement ou expliquez :

(a) pic photoélectrique	(f) avalanche électronique
(b) dynode	(g) charge d'espace
(c) W pour l'air	(h) extinction (<i>quenching</i>)
(d) spectre en température	(i) coïncidence perdue
(e) front Compton	(j) systèmes paralysables et non paralysables

4. Différents matériaux sont impliqués dans le processus d'examen d'un patient en médecine nucléaire.
 - (a) Quels sont les numéros atomiques équivalents pour :

i) NaI	v) os
ii) BGO	vi) muscle
iii) LSO	vii) plomb
iv) eau	viii) tungstène
 - (b) Quelle est l'importance relative de l'effet photoélectrique et de l'effet Compton dans le patient et dans la caméra ?
 - (c) Quel est l'impact potentiel sur la qualité d'image des interactions photoniques dans la tête de la caméra ?



5. Discutez brièvement :
 - (a) Le calcul de la dose absorbée dans l'air à partir d'une mesure de l'ionisation dans l'air à l'aide d'une chambre d'ionisation ;
 - (b) La capacité de discrimination en énergie des compteurs proportionnels ;
 - (c) La façon de distinguer le rayonnement bêta du rayonnement gamma avec un compteur G-M;
 - (d) La façon de déterminer la force d'une source d'émission bêta avec un compteur G-M.
6. Décrivez les composantes essentielles d'un système utilisé pour la spectroscopie gamma.
7. Dessinez un spectre en énergie typique obtenu à l'aide d'un détecteur Si(Li) et d'une source gamma encapsulée de Cs-137. Identifiez et expliquez les structures principales du spectre.
8. Discutez les techniques utilisées pour obtenir les distributions d'amplitude d'émetteurs bêta par l'entremise du comptage par scintillation en milieu liquide.
9. Décrivez le principe de fonctionnement d'un compteur à scintillation. Dessinez le diagramme d'un compteur typique et étiquetez clairement ses composants. Dessinez également un tube photomultiplicateur et décrivez son mode de fonctionnement.
10. Discutez la résolution en énergie du pic photoélectrique en spectroscopie de scintillation et donnez les valeurs typiques pour au moins trois matériaux scintillateurs différents. Discutez les raisons expliquant la faiblesse relative de la résolution en énergie des détecteurs à scintillation. Dessinez l'allure d'un spectre en énergie obtenu d'un cristal de NaI(Tl) pour une source gamma de Cs-137 (énergies des photons : 31,8 keV, 37,3 keV et 662 keV).
11. Décrivez le fonctionnement des détecteurs à semi-conducteur et discutez de leur utilisation en radioprotection.
12. Les détecteurs à scintillation offrent une résolution en énergie relativement médiocre. En conséquence, des détecteurs à semi-conducteur ont été introduits pour améliorer le pouvoir de résolution des spectromètres gamma. Décrivez au moins deux types de détecteurs à semi-conducteur utilisés en spectroscopie gamma. Pourquoi ne sont-ils pas utilisés plus fréquemment dans les applications de médecine nucléaire? Décrivez un semi-conducteur utilisé couramment en imagerie isotopique. Quelle est la résolution en énergie de ce système et quels sont les avantages cliniques potentiels de cette résolution en énergie améliorée?
13. La dosimétrie thermoluminescente (*TLD*) est une technique de dosimétrie relative largement utilisée. Discutez brièvement les caractéristiques principales d'un lecteur de TLD et d'au moins trois matériaux utilisés comme phosphores sensibles au rayonnement.



14. Décrivez le mode de fonctionnement de trois types de moniteur de rayonnement personnel qui se basent sur différentes méthodes pour détecter et intégrer l'exposition au rayonnement ou la dose. Indiquez les avantages et les inconvénients de chaque type de détecteur.
- 15.
- (a) Décrivez les détecteurs de rayonnement basés sur l'ionisation de gaz suivants et discutez de leurs mérites respectifs en ce qui a trait à la radioprotection :
 - (i) Chambre d'ionisation;
 - (ii) Compteur proportionnel; et
 - (iii) Compteur Geiger-Mueller (G-M)
 - (b) Comment ces détecteurs sont-ils calibrés pour fournir des lectures pertinentes aux quantités de rayonnement propres à la radioprotection?
- 16.
- (a) Décrivez les facteurs qui contribuent au temps mort d'un système de détection
 - (b) Définissez les systèmes *paralysable* et *non paralysable* et illustrez par un exemple un système de détection paralysable et un système de détection non paralysable.
 - (c) Décrivez deux méthodes servant à déterminer le temps mort.
 - (d) Supposez qu'un système non paralysable a un temps mort de 1 microseconde. Vous mesurez un signal de 200 000 comptes en 1 minute. Quel est le vrai nombre de comptes ?
 - (e) Décrivez un examen clinique de médecine nucléaire dans lequel une correction précise du temps mort est essentielle et expliquez pourquoi.
- 17.
- (a) Discutez des tests de contrôle de la qualité pour un calibrateur de dose numérique : fond, précision, linéarité et précision de l'horloge (y compris les critères de réussite/échec, les options de test et la fréquence des tests). Que signifie l'échec du test de linéarité dans la plage d'activité élevée ? Dans la plage de faible activité ?
 - (b) Discutez des tests de contrôle de la qualité pour un compteur de puits : fond, étalonnage du gain, résolution énergétique, précision et chi-carré (y compris les critères de réussite/échec, les options de test et la fréquence des tests). Que signifie l'échec du test du chi-carré ? Quelles seraient les étapes suivantes ?
18. Vous effectuez des mesures d'efficacité et de DMD (détection minimale d'activité ou MDA (anglais)) pour un compteur de puits pour le Tc-99m. Vous avez obtenu une source avec une activité de 10 kBq. Lors du comptage du bruit de fond, vous comptez pendant 60 secondes en utilisant la fenêtre Tc-99m et obtenez une lecture de 250 CPM. Lors du comptage de la source, vous comptez pendant 60 secondes et la lecture est de 495 000 CPM. Quels sont l'efficacité et le DMD du compteur de puits pour le Tc-99m ? Si la limite de contamination amovible pour le Tc-99m dans une zone publique est de 30 Bq/cm², quelle est la lecture en CPM qui correspond à cette limite ? Indiquez toutes les hypothèses que vous avez formulées pour vos calculs.



19. Définissez brièvement les termes NEMA (National Electrical Manufacturers Association) suivants se rapportant à une caméra à scintillation et donnez les valeurs typiques pour une caméra moderne:
- | | |
|--|---|
| (a) résolution spatiale intrinsèque | (g) performance du taux de comptage intrinsèque |
| (b) résolution énergétique intrinsèque | (h) recalage spatial à fenêtre multiple |
| (c) uniformité intrinsèque d'un mannequin uniforme | (i) sensibilité du système |
| (d) linéarité spatiale intrinsèque | (j) variation de sensibilité inter-détecteurs |
| (e) alignement du système | (f) résolution spatiale du système avec et sans diffusé |
20. Dans le cadre de l'imagerie TEM (*SPECT*), définissez brièvement et expliquez l'utilisation ou la signification de
- | | |
|----------------------------------|---|
| (a) source de gadolinium | (f) contamination diaphonique |
| (b) imagerie en coïncidence | (g) correction de l'empilement |
| (c) CAN parallèle (<i>ADC</i>) | (h) longueur focale de faisceau en éventail |
| (d) accord automatisé | (i) imagerie holospectrale |
| (e) caméra gamma numérique | (j) artéfacts de troncature |
21. À l'aide de diagrammes, décrivez les composantes d'une caméra gamma à cristal unique. Décrivez comment chacune de ces composantes peut contribuer à la dégradation de la qualité d'image.
22. Discutez des différences entre les collimateurs en éventail (*fan-beam*) et ceux à trous parallèles pour la TEM (*SPECT*) en précisant leurs critères de performance respectifs de même que leurs implications sur la reconstruction d'image et les techniques de correction d'atténuation.
23. Donnez un aperçu du protocole de contrôle de la qualité des caméras gammas pour un système TEM (*SPECT*) à têtes multiples capable de balayer le corps entier. Indiquez à quelle fréquence cette procédure doit être répétée et décrivez brièvement les techniques utilisées.
24. Décrivez cinq exemples de résultats anormaux obtenus à l'aide d'un fantôme à barre en faisant référence aux types de défektivité pouvant toucher l'équipement.
25. Quelles sont les sources de non-uniformité intrinsèque des mannequins uniformes? Quelles caractéristiques de conception d'une caméra à scintillation minimisent de tels défauts ?
26. Décrivez les effets de l'épaisseur du cristal sur la résolution spatiale intrinsèque, sur la résolution spatiale du système sans diffusé et sur la sensibilité du système pour le Tc-99m et l'I-131. Comment l'épaisseur du cristal affecte-t-elle la résolution spatiale et la sensibilité en imagerie TEP?



27. Plusieurs facteurs influencent la qualité des images TEM (*SPECT*).
- (a) Quels artefacts sont causés par l'atténuation des photons ?
 - (b) Quel sera l'effet sur l'image TEM (*SPECT*) d'un petit objet chaud placé au centre du champ de vue ?
 - (c) Quel sera l'effet sur l'image TEM (*SPECT*) d'un petit objet chaud placé près du bord extérieur du champ de vue ?
 - (d) Discutez des avantages et des inconvénients de l'utilisation d'une orbite circulaire au lieu d'une orbite non circulaire lors d'une acquisition TEM (*SPECT*). Quels artefacts peuvent possiblement être créés dans l'image ?
28. Quels sont les critères de conception pertinents à la fabrication de collimateurs utilisés en imagerie isotopique ? Comment ces paramètres affectent-ils les performances du collimateur ?
29. Dessinez et décrivez les changements sur le spectre en énergie d'un détecteur à base de NaI pour une irradiation au Cr-51 (320 keV) si :
- (a) Un cristal de NaI(Tl) plus épais est utilisé ;
 - (b) Un barreau de lucite d'un pouce est interposé entre la source de Cr-51 et le détecteur à scintillation à base de NaI;
 - (c) Des images du genou ont été obtenues à l'aide de citrate de Ga-67 (« vues ponctuelles ») au lieu du Cr-51 ;
 - (d) Un barreau de lucite d'un pouce a été placé derrière la source de Cr-51 ;
 - (e) Quel changement subit le spectre de Ga-67 si un collimateur basse énergie universel (LEGP) est utilisé à la place d'un collimateur moyenne énergie universel (MEGP) ? Que se passe-t-il si un collimateur sténopé est employé ?
- 30.
- (a) Quels collimateurs sélectionneriez-vous pour chacun des examens suivants? Expliquez les raisons de votre choix.
 - (i) scintigraphie thyroïdienne au Tc-99m-pertechnétate;
 - (ii) angiographie de premier passage;
 - (iii) imagerie du genou au citrate de Ga-67 (« vues ponctuelles »)
 - (iv) scintigraphie pulmonaire pour détecter des métastases chez un patient présentant une récurrence locale d'un cancer thyroïdien traité à l'iode radioactif trois jours auparavant.
 - (b) Recommanderiez-vous un collimateur à haute sensibilité couplé à la restauration de la résolution lors de la reconstruction plutôt qu'un collimateur à haute résolution ? Expliquez le raisonnement menant à votre accord ou désaccord.



- 31.
- (a) Quels sont les avantages et les inconvénients liés à l'utilisation de collimateurs en éventail dans les caméras TEM (*SPECT*) ?
 - (b) Pourquoi ces collimateurs possèdent-ils une meilleure sensibilité que les collimateurs à trous parallèles standards ?
 - (c) Discutez l'utilisation de la collimation sténopée en imagerie TEM (*SPECT*).
32. Décrivez brièvement et comparez la TEM/TDM (*SPECT/CT*) et la TEM (*SPECT*) avec capacité de transmission isotopique. Considérez le matériel, les paramètres d'acquisition, la reconstruction, les coûts et la radioprotection. Incluez un diagramme annoté d'un système TEM/TDM.
33. Discuter des origines de l'artefact de l'anneau complet ou partiel dans une image *SPECT*. Discuter des limites des tests de contrôle de qualité planaires dans la détection des artefacts tomographiques. Décrire les techniques permettant de discerner si un artefact tomographique est d'origine intrinsèque ou extrinsèque.
34. Discuter de la TEMP, de la TEMP/TDM et de l'angiographie pulmonaire par tomodensitométrie pour l'exploration de l'embolie pulmonaire. Discuter des avantages et des inconvénients de chacune de ces techniques et comparer les doses respectives pour les patients.
35. Dans le contexte de la tomographie par émission de positons, définissez brièvement et expliquez l'utilisation ou la signification de :
- (a) ligne de réponse
 - (b) fraction diffusé
 - (c) septa inter-plan
 - (d) taux de coïncidences fortuites
 - (e) taux de simples
 - (f) largeur de coupe axiale
 - (g) mode d'acquisition 3D
 - (h) ré-échantillonnage sur coupe unique
 - (i) angle d'admission axiale
 - (j) géométrie d'anneau partiel
36. Dessinez le diagramme d'un tomographe par émission de positons typique. Décrivez individuellement les composantes les plus importantes. Incluez les paramètres de performance typiques.
37. Énumérez cinq (5) isotopes émetteurs de positons utilisés en médecine et énoncez leurs caractéristiques physiques importantes telles leur demi-vie, l'énergie du positron, etc. Pour chacun des isotopes énumérés, nommez un agent radiopharmaceutique qui lui est associé et précisez son utilité. Décrivez les installations de production typiques d'agents radiopharmaceutiques émetteurs de positons et mettez en évidence leurs problèmes.



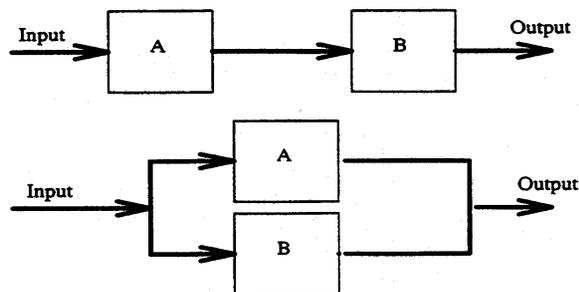
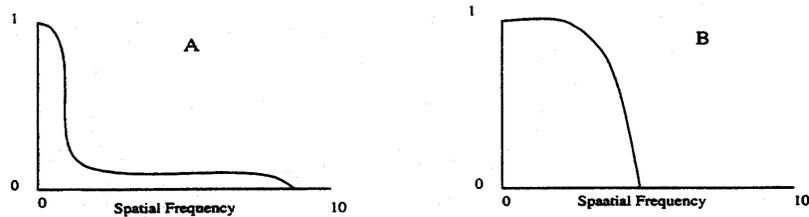
38. Pourquoi le F-18 est-il un isotope utile en TEP, sachant que le fluor et ses composés ne sont pas des substrats métaboliques normaux ? Quelles sont les applications cliniques de l'imagerie au F-18? Nommez au moins cinq (5) agents radiopharmaceutiques différents utilisés dans les domaines de l'oncologie, de la neurologie et de la cardiologie. Pour chacun de ces agents, décrivez brièvement son utilisation et ce qu'il mesure.
39. Exposez brièvement les différences de conception entre une caméra TEP (*PET*) et une caméra TEM (*SPECT*). Quels détecteurs sont utilisés dans les deux systèmes et pourquoi? Discutez le besoin d'employer des collimateurs en TEP et en TEM.
- 40.
- (a) Comparez la TEP et la TEM (*SPECT*) en abordant les aspects suivants :
 - (i) Résolution spatiale;
 - (ii) Sensibilité (incluant les taux de comptage atteignables);
 - (iii) Capacité à quantifier la radioactivité.
 - (b) Quel phénomène physique limite les performances de la TEM et de la TEP?
41. Décrivez le fonctionnement d'un cyclotron, incluez des diagrammes. Quels sont les paramètres limitant sa conception ? Quelles sont les deux conceptions courantes des blindages ?
42. Discutez des interactions des neutrons avec la matière. Décrire un détecteur de neutrons qui peut être utilisé lors de la mise en service d'un cyclotron. Le personnel d'exploitation du cyclotron doit-il faire l'objet d'une surveillance régulière des doses de neutrons ? Pourquoi ou pourquoi pas ?
43. Décrire les méthodes de correction de l'atténuation en TEP par scanner et IRM. Comparer et opposer la correction de l'atténuation par tomographie en TEM (*SPECT*) et en TEP.
44. Décrivez les tests d'acceptation que vous effectueriez sur un système TEP nouvellement acheté. Fournissez une description générale des techniques utilisées pour chaque test et des résultats attendus.
45. Discutez des limites de la résolution spatiale en TEP TOF (time of flight). Discutez de trois domaines de recherche actuels qui pourraient permettre d'améliorer la résolution spatiale des systèmes disponibles en clinique.



46. Dans le contexte de l'imagerie TEM, définissez brièvement ou expliquez :
- (a) spectre logarithmique de puissance
 - (b) théorème de la coupe centrale
 - (c) sinogramme
 - (d) filtre rampe
 - (e) pénétration septale
 - (f) Maximisation de l'espérance par sous ensembles ordonnés (OSEM)
 - (g) transformation de Fourier rapide (*FFT*)
 - (h) restauration de la résolution selon la profondeur
 - (i) effet de volume partiel
 - (j) filtre Metz
47. Définissez brièvement ou expliquez :
- (a) interpolation bilinéaire
 - (b) algorithme de Levenberg-Marquardt
 - (c) égalisation d'histogramme
 - (d) déconvolution
 - (e) ajustement biexponentiel
 - (f) artéfact de projection d'intensité maximale
 - (g) lancé de rayon
 - (h) réseau neuronal à rétropropagation
 - (i) lissage gaussien
 - (j) opérateur morphologique
48. Considérez l'importance qu'on prît les systèmes informatique en radiologie (RIS) pour le bon fonctionnement d'une clinique, expliquez la raison d'être et l'utilisation de:
- (a) pare-feu,
 - (b) checksum,
 - (c) IPv6,
 - (d) RAID,
 - (e) DICOM
 - (f) PACS
49. Décrivez en détail la rétroprojection filtrée et les techniques de reconstruction d'image itérative en TEM (*SPECT*). Discutez les avantages et inconvénients de la reconstruction itérative comparativement à la rétroprojection filtrée dans le contexte de l'implantation clinique.
50. En utilisant des équations pour illustrer vos réponses, s'il y a lieu, répondez aux questions suivantes :
- (a) Quelles sont les deux propriétés des systèmes d'imagerie linéaires ?
 - (b) Que signifie le terme « décalage invariant » ? Donnez des exemples de systèmes à « décalage variant » et à « décalage invariant ».
 - (c) Qu'est-ce qu'une fonction de réponse ponctuelle ?

51. En utilisant des équations pour illustrer vos réponses, s'il y a lieu, répondez aux questions suivantes :
- Qu'est-ce qu'une fonction de transfert de modulation (FTM ou *MTF*) et comment est-elle reliée à la fonction de réponse ponctuelle?
 - Pour un système linéaire à deux étages cascadables dont les fonctions de réponse ponctuelle sont $p_1(x)$ et $p_2(x)$:
 - quelle est la fonction de réponse ponctuelle totale du système?
 - quelle est la FTM du système total?

52. Pour les systèmes illustrés schématiquement ci-dessous avec leurs FTM correspondantes, quelle est la FTM du système complet (c.-à-d. à la sortie)?



53. Décrivez une analyse de type « détail-contraste » pour un système d'imagerie. Dessinez et identifiez un graphique de détail-contraste typique pour un tomodynamomètre. Quelles sont les limitations principales de cette technique ?
54. Présentez le problème du mouvement volontaire chez le patient (comparativement au mouvement cardiaque ou respiratoire) lors d'examens TEM (*SPECT*) ou d'imagerie planaire dynamique. Décrivez les algorithmes typiques pouvant être employés pour la correction du mouvement dans les acquisitions planaires dynamiques et TEM. Discutez les restrictions de tels algorithmes.



55. Pourquoi est-il important de corriger pour l'atténuation en TEP et en TEM? Comparez les techniques utilisées pour la correction d'atténuation non-uniforme. Précisez la magnitude de la correction requise, l'exactitude de la technique, les source de transmission utilisée, les algorithmes de correction d'atténuation et les applications cliniques. Démontrez que la correction est indépendante de la profondeur pour une géométrie TEP simple.
56. Décrivez les techniques de correction d'atténuation non uniforme à base de radio-isotopes utilisées en TEM (SPECT). Dessinez des schémas géométriques de tels systèmes et discutez les méthodes de reconstruction, la précision des techniques d'application et les problèmes qui y sont liés. Comparez la technique de source linéaire collimatée à double balayage à la technique de source linéaire collimatée à géométrie de faisceau en éventail.
57. Pourquoi la diffusion des photons est-elle un problème en médecine nucléaire? Comparez au moins trois techniques de correction du diffusé dans les images.
58. Discutez de la différence entre le filtrage dans la convolution et le fenêtrage dans les méthodologies de reconstruction par transformée de Fourier. Énumérez les avantages et les inconvénients de la reconstruction itérative par rapport aux techniques de reconstruction analytique dans le contexte de la mise en œuvre mathématique/logicielle.
59. Quelle est l'application de la scintigraphie rénale ? Indiquez les paramètres d'acquisition typiques et décrivez brièvement les produits radiopharmaceutiques employés. Discutez les méthodes de traitement d'image et d'analyse de courbes utilisées pour interpréter ces scintigrammes, incluant les techniques de correction du rayonnement de fond et les analyses de déconvolution. Décrivez les paramètres physiologiques quantitatifs qui peuvent être obtenus d'une scintigraphie rénale.
60. Décrivez les techniques de traitement d'image employées pour la détection automatisée des contours et le calcul de la fraction d'éjection en scintigraphie ventriculaire planaire. Discutez la fiabilité et la précision de ces techniques. Discutez l'emploi de l'analyse par harmoniques multiples. Quels autres paramètres physiologiques peuvent être obtenus à partir de ces images ?
61. Quel est le rôle de l'imagerie de perfusion TEM synchronisée (*gated SPECT perfusion imaging*)? Quels sont les paramètres d'acquisition d'image typiques? Discutez des techniques de traitement d'image utilisées pour le calcul automatisé de la fraction d'éjection en TEM synchronisée. Discutez la fiabilité et de la précision de ces algorithmes.
62. Décrivez en détails l'algorithme d'analyse par carte polaire appliqué à la tomographie de perfusion myocardique, incluant les techniques utilisées pour la comparaison avec la banque de données des sujets sains.



63. Dans le contexte d'acquisitions TEM synchronisées (*gated SPECT*), définissez brièvement ou expliquez :
- | | |
|---|------------------------------|
| (a) volume ventriculaire en fin de diastole | (f) rythme sinusal |
| (b) mode liste | (g) analyse de phase |
| (c) fraction d'éjection | (h) fibrillation auriculaire |
| (d) mode trame synchronisé à l'ECG | (i) bloc de branche |
| (e) extrasystole ventriculaire (ESV) | (j) débit cardiaque |
64. Décrivez en détail à l'aide de diagrammes l'acquisition d'une étude d'angiocardigraphie radio-isotopique à l'équilibre. Les données d'une telle étude sont corrompues en cas d'arythmie importante. Expliquez comment ce phénomène se produit et suggérez des méthodes pouvant surmonter cette difficulté.
65. Quel est le rôle d'une étude d'angiocardigraphie radio-isotopique à l'équilibre (*equilibrium gated blood-pool study*)? Décrivez les techniques utilisées pour estimer la fraction d'éjection. Quelles sont les restrictions inhérentes à cette technique? Quels sont ses avantages et ses inconvénients en comparaison avec l'imagerie de perfusion myocardique synchronisée pour mesurer la fraction d'éjection? Qu'est-ce que l'analyse de phase et comment procède-t-on pour faire ces mesures? Quel est le rôle de l'analyse de phase dans la prise en charge de la cardiopathie?
66. Prenez en considération un choix de modalités d'imagerie pour un patient chez lequel on suspecte une coronaropathie. Comparez la coronarographie, l'échocardiographie et l'imagerie isotopique. Discutez le type d'informations fournies, leur coût, la disponibilité et la pertinence clinique de chacune de ces techniques. D'autres modalités pourraient-elles être utiles? Établissez le bien-fondé de la scintigraphie employée en médecine nucléaire pour diagnostiquer la coronaropathie.
67. Nommez 5 produits radiopharmaceutiques thérapeutiques actuellement utilisés, chacun avec un radio-isotope différent. Indiquer leurs principales émissions de photons et de particules, leurs énergies, leurs demi-vies et leurs mécanismes d'administration. Outre le tissu/organe cible, citez deux tissus/organes qui peuvent être cliniquement concernés par chaque produit radiopharmaceutique.
68. Comparer et opposer les propriétés isotopiques, la distribution radiopharmaceutique, les protocoles cliniques et la résolution spatiale de l'image du Tc-99m ECD, du Tc-99m HMPAO et de l'eau O-15 pour les protocoles cliniques de débit sanguin cérébral.