

**CANADIAN  
COLLEGE OF  
PHYSICISTS IN  
MEDICINE**



**LE COLLÈGE  
CANADIEN  
DES PHYSIENS  
EN MÉDECINE**

**Examen d'adhésion des membres du CCPM**

**Édition 11.1**

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

**Édition 11.1**

**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 11.1**

Medical Physics Questions For  
Membership Examination  
(Edition 11.1)

Questions de physique médicale  
pour l'examen d'adhésion des membres  
(Édition 11.1)

Copyright © 2019 by the  
Canadian Organization of  
Medical Physicists and the  
Canadian College of Physicists  
In Medicine

Tous droits réservés © 2019 par  
L'Organisation canadienne des  
physiciens médicaux et  
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:

Canadian College of  
Physicists in Medicine

Distribué par :

Le Collège canadien des  
physiciens en médecine

Andrew Kerr, PhD, P.Eng, FCCPM  
CCPM Registrar / Greffier du CCPM  
[registrar@ccpm.ca](mailto:registrar@ccpm.ca)

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



**AVANT-PROPOS DE LA ONZIÈME ÉDITION**

Voici la onzième édition de la banque de question publiée pour l'examen de candidature au titre du membre du Collège canadien des physiciens en médecine (CCPM). Cet examen permet au CCPM de certifier que les candidats qui réussissent les quatre parties de l'examen écrit et les trois parties de l'examen oral sont compétents dans leur surspécialité désignée. En combinaison avec le processus de vérification d'admissibilité ("credentialing"), il s'agit d'un processus exhaustif dans lequel le candidat s'engage.

Les banques de questions ont toutes été modifiées en 2015. La banque de questions de l'IRM fut davantage mise à jour en 2016. Chaque année, des modifications mineurs peuvent être apportées aux questions, il faut donc télécharger la version la plus récente avant de commencer la préparation! Depuis 1984 beaucoup de travail a été accompli pour produire une série de questions complète grâce au travail des précédents 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 et ceux qui les ont aidés.

Un guide de préparation est publié 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 désire remercier Geneviève Jarry, examinateur principal adjoint, ainsi que les nombreux bénévoles qui s'impliquent à chaque année. Les candidats qui ont des commentaires au sujet des banques de questions sont invités à me contacter ([chiefexaminer@ccpm.ca](mailto:chiefexaminer@ccpm.ca)).

**Bonne étude,**

**Alasdair Syme**  
Halifax, NS, Canada  
28 septembre 2019



**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. Kahn; 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/contrôle-de-la-qualité-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 (3rd Ed): S.R. Cherry, J.A. Sorenson and M.E. Phelps; W.B. Saunders, Philadelphia; 2003
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

**TABLE DES MATIÈRES**

**Ouvrages de référence suggérés**

**Questions des Parties III et IV :**

**Chapitre A : Spécialisation en radio-oncologie**

**Chapitre B : Spécialisation en radiologie diagnostique**

**Chapitre C : Spécialisation en médecine nucléaire**

**Chapitre D : Spécialisation en résonance magnétique**



*Chapitre C : Spécialisation en médecine nucléaire*

Vous devrez répondre à **CINQ** questions de la Partie III et à **QUATRE** 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 20 %, totalisant 100 %. Chaque question de la Partie IV vaut 25 %, totalisant 100 %.



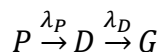
III SPÉCIALISATION EN MÉDECINE NUCLÉAIRE

1. Définissez brièvement ou expliquez :

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

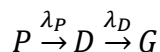
2. a) Dessinez les graphiques de l'activité en fonction du temps  $t$  pour un noyau radioactif typique en utilisant une échelle semi-logarithmique et une échelle linéaire.  
b) Montrez l'allure de la demi-vie ( $t_{1/2}$ ) et de la durée de vie moyenne ( $\tau$ ) en fonction du temps et calculez la relation entre  $\tau$ ,  $t_{1/2}$ , et la constante radioactive ( $\lambda$ ).

3. Considérez une chaîne de désintégration radioactive pour laquelle un radionucléide précurseur  $P$  décroît en un radionucléide engendré  $D$  qui à son tour décroît en un nucléide stable  $G$  :



Si  $P$ ,  $D$  et  $G$  représentent le nombre de noyaux précurseurs et engendrés à un temps arbitrairement déterminé  $t > 0$ , si  $\lambda_P$  et  $\lambda_D$  correspondent aux constantes de désintégration de  $P$  et  $D$ , respectivement, et si au temps  $t = 0$ ,  $P(0) = 0$ ;  $D(0) = 0$ ; et  $G(0) = 0$ ; dérivez les équations pour  $P(t)$ ,  $D(t)$  et  $G(t)$ .

4. Considérez une chaîne de désintégration radioactive pour laquelle un radionucléide précurseur  $P$  décroît en un radionucléide engendré  $D$  avec des constantes radioactives,  $\lambda_P$  et  $\lambda_D$ , respectivement,



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

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

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

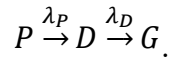
- a) Dessinez sur un même graphique les activités  $A_P$  et  $A_D$  en fonction du temps  $t$  pour  $\lambda_P < \lambda_D$ .  
b) Calculez le temps  $t_{max}$  correspondant au maximum de  $A_D$  et montrez que ceci se produit quand  $A_P = A_D$ .  
c) Montrez que pour  $\lambda_P = \lambda_D(1 - \varepsilon)$ , où  $0 < \varepsilon \ll 1$ ,  $t_{max}$  peut s'exprimer comme  $t_{max} \approx 1/(\lambda_P \lambda_D)^{1/2}$ .



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

5. Considérez une chaîne de désintégration radioactive pour laquelle un radionucléide précurseur **P** décroît en un nucléide engendré instable **D** avec des constantes radioactives  $\lambda_P$  et  $\lambda_D$ , 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) Dessinez les activités  $A_P$  et  $A_D$  en fonction du temps  $t$  pour :
- un noyau précurseur à vie courte,  $\lambda_P > \lambda_D$  ;
  - un noyau précurseur à vie longue,  $\lambda_P < \lambda_D$  ;
  - un noyau précurseur à vie très longue,  $\lambda_P \ll \lambda_D$ ; et
  - un noyau précurseur quasi stable ou qui est constamment réapprovisionné,  $\lambda_P t \ll \lambda_D t \ll 1$ .
- b) Définissez équilibre transitoire et équilibre séculaire.
6. 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          |
7. Discutez l'interaction des particules indiquées ci-dessous avec les tissus et les matériaux à numéro atomique élevé :
- particules alpha (énergie cinétique : quelques MeV)
  - particules bêta (énergie cinétique : quelques MeV)
  - neutrons lents
  - neutrons rapides
8. 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  $\lambda$  est sa constante radioactive.
- Dérivez l'équation de l'activité du radio-isotope  $A$  en fonction du temps  $t$  pendant le bombardement de neutron.
  - Quelle hypothèse doit être posée pour produire le radio-isotope à un débit uniforme  $Q$ ?





Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

9. Un matériau **X** ayant un nombre de noyaux initial  $N_{X0}$  est placé dans un champ de neutrons d'une densité de flux  $\Phi$  ( $cm^{-2} s^{-1}$ ). Un radio-isotope **Y** est produit avec une section efficace  $\sigma$  ( $cm^2$ ) pour la réaction  $n + X \rightarrow Y$ . L'isotope **Y** décroît à un taux de  $-\lambda N_Y$  où  $N_Y$  est le nombre de noyaux **Y** au temps  $t$  et  $\lambda$  est la constante radioactive. Montrez que l'activité maximale de **Y** est atteinte quand

$$t = \frac{\ln(\lambda/\sigma\Phi)}{\lambda - \sigma\Phi}$$

10. 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 :

- c) une absence de prélèvement du radionucléide engendré; et
- d) un prélèvement périodique du radionucléide engendré. Supposez une efficacité de prélèvement du radionucléide engendré à partir du générateur de 100 %.

11. 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 $\beta$   | i) rayonnement de freinage (Bremsstrahlung) |
| e) état isomérique           | j) déficit de masse                         |

12. Discutez la désintégration  $\alpha$  en général. Donnez la relation générale pour l'énergie totale  $Q_\alpha$  libérée lors d'une désintégration  $\alpha$  et dessinez un diagramme énergétique pour une désintégration  $\alpha$  typique.

13. 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.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

14. a) Montrez que pour la photodésintégration du deuteron,  $D(\gamma, n)p$ , le seuil d'énergie est

$$E_{\gamma} = B_D \left( 1 + \frac{B_D}{2m_D c^2} \right),$$

où  $B_D$  est l'énergie de liaison totale du deuteron et  $m_D c^2$  est l'énergie au repos du deuteron.

- b) Montrez que pour la production de paires dans le champ d'un noyau **A**, le seuil d'énergie est

$$E_{\gamma} = 2m_e c^2 \left( 1 + \frac{m_e c^2}{m_A c^2} \right)$$

où  $m_A c^2$  est l'énergie au repos de **A** et  $m_e c^2$  est l'énergie au repos d'un électron.

15. 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,  $v/c$ .
16. 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                 |
17. Discutez la désintégration gamma en général, donnez un exemple typique avec un diagramme énergétique et expliquez la conversion interne et les transitions isomériques.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

18. a) Quels principes de radioprotection sont particuliers aux mères qui allaitent?  
b) Pour quels examens de médecine nucléaire est-il recommandé d'interrompre l'allaitement et pour combien de temps?  
c) 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.
19. 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.
20. 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?
21. 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                    |
22. 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.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

23. 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 |
24. 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).
25. 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) $DL_{50/30}$     |
26. 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.
27. Un patient reçoit 5,5 GBq d'I-131 pour traiter des métastases de la thyroïde.
- Quelles précautions doivent être prises pour assurer la protection des autres personnes?
  - 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?



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

28. 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?
29. 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                          |
30. Un photon gamma incident sur un détecteur subit deux événements de diffusion Compton séquentiels d'un premier angle  $\theta_1$  puis d'un second angle  $\theta_2$  avant de s'échapper. Démontrez que l'énergie totale déposée dans le détecteur est la même si la séquence des angles est inversée, c'est-à-dire premier angle  $\theta_1$  puis second angle  $\theta_2$  avant de s'échapper.
31. En utilisant le principe de conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement, montrez qu'un processus photoélectrique ne peut se produire avec un électron libre.
32. Pour le photon de 140,5 keV du Tc-99m et celui de 364 keV de l'I-131, dessinez les graphiques montrant les énergies des photons diffusés par effet Compton en fonction de l'angle de diffusion.



**Examen de candidature au CCPM**

**Édition 11.1**

33. 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.
34. 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.
35. 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?
36. 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.
37. 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.
- Quelles limites, si elles existent, s'appliquent?
  - Quelles considérations additionnelles devraient être prises en compte?
  - Quelles approches alternatives pourraient être suivies?



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

38. a) Un département de médecine nucléaire utilise une hotte pour la préparation et l'entreposage des traitements à l'I-131. La sortie d'air de la hotte est située sur le toit du bâtiment. Le débit de l'air à travers l'ouverture de la hotte (mesurant  $1 \text{ m}^2$ ) est de  $7.1 \text{ m}$  linéaires/min. Quel est le débit de fuite maximum permis par semaine? 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.
- (b) Décrivez un moyen qui permettrait à l'hôpital d'augmenter la quantité d'I-131 utilisée par semaine.
39. En commençant par la distribution binomiale, dérivez une expression analytique de la distribution de Poisson. Dérivez les expressions pour la moyenne et la variance de la moyenne en fonction du paramètre de la distribution de Poisson.
40. 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.
41. 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.
42. 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 %.



**Examen de candidature au CCPM**

**Édition 11.1**

43. 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  $X(i,j) + Y(i,j)$ ?
44. Définissez brièvement ou expliquez :
- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| a) interpolation bilinéaire          | f) artefact de projection d'intensité maximale |
| b) algorithme de Levenberg-Marquardt | g) lancé de rayon                              |
| c) égalisation d'histogramme         | h) réseau neuronal à rétropropagation          |
| d) déconvolution                     | i) lissage gaussien                            |
| e) ajustement biexponentiel          | j) opérateur morphologique                     |
45. 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.
46. 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?
47. 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.
48. 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?





**Examen de candidature au CCPM**

**Édition 11.1**

49. 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.
50. 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.
51. Décrivez cinq exemples de résultats anormaux obtenus à l'aide d'un fantôme à barre en faisant référence aux types de défauts pouvant toucher l'équipement.
52. 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.
53. 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.
54. 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.
55. 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.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

56. 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                 |
57. 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.
58. 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.
59. Pourquoi la diffusion des photons est-elle un problème en médecine nucléaire? Comparez au moins trois techniques de correction du diffusé dans les images.
60. Décrivez les composantes essentielles d'un système utilisé pour la spectroscopie gamma.
61. 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?
62. Décrivez un système pouvant être utilisé pour imager le contenu en I-127 de la thyroïde. Quels sont les avantages et les inconvénients de ce système comparativement à l'imagerie thyroïdienne standard à l'I-123 à l'aide d'une caméra gamma? Décrivez comment et quand les mesures doivent être effectuées dans le cadre d'un programme de contrôle d'épreuves biologiques thyroïdiennes typique. Qui doit prendre part à ce programme et quels sont les seuils d'intervention?



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

63. 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.
64. 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 :
- un cristal de NaI(Tl) plus épais est utilisé;
  - un barreau de lucite d'un pouce est interposé entre la source de Cr-51 et le détecteur à scintillation à base de NaI;
  - des images du genou ont été obtenues à l'aide de citrate de Ga-67 (« vues ponctuelles ») au lieu du Cr-51;
  - un barreau de lucite d'un pouce a été placé derrière la source de Cr-51;
  - 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?
65. 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  $\sigma_G$  et  $\sigma_B$  représentent les écarts-types respectifs, dérivez une équation pour l'écart-type  $\sigma_r$  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  $\sigma_r$ ?
66. Dans le contexte de la tomographie par émission de positons, définissez brièvement et expliquez l'utilisation ou la signification de :
- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| a) ligne de réponse               | f) largeur de coupe axiale             |
| b) fraction diffusé               | g) mode d'acquisition 3D               |
| c) septa inter-plan               | h) ré-échantillonnage sur coupe unique |
| d) taux de coïncidences fortuites | i) angle d'admission axiale            |
| e) taux de simples                | j) géométrie d'anneau partiel          |
67. Dessinez le diagramme d'un tomographe par émission de positons typique. Décrivez individuellement les composantes les plus importantes. Incluez les paramètres de performance typiques.



**Examen de candidature au CCPM**

**Édition 11.1**

68. Comparez les modes d'acquisition 3D et 2D d'un tomographe par émission de positons de technologie (*PET*) récente. Énumérez les avantages et les désavantages du mode 3D. Incluez les techniques de reconstruction dans votre comparaison. Quelles sont les applications du balayage en mode 3D?
69. Décrivez en incluant des diagrammes, le fonctionnement d'une caméra gamma en mode coïncidence pour l'imagerie 511 keV. Comparez les performances de cet appareil avec celles d'un tomographe par émission de positons typique et d'une caméra gamma standard équipée de collimateurs à ultra haute énergie. Incluez les valeurs typiques des paramètres décrits. Énumérez les avantages et inconvénients de chaque appareil. Donnez des exemples d'applications cliniques.
70. 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 |
71. Décrivez la conception d'une caméra gamma numérique. Quels sont les bénéfices d'une caméra gamma numérique comparativement à la conception Anger? Quelle différence cela fait-il sur les caractéristiques de fonctionnement?
72. 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?
73. Quelles sont les sources de non-uniformité intrinsèque des mannequins uniformes? Quelles caractéristiques de conception d'une caméra à scintillation minimisent de tels défauts?



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

74. La calibration de la taille des pixels des caméras à scintillation modernes est souvent effectuée par le personnel d'entretien à l'aide d'équipement spécialisé lors de l'installation ou l'entretien des caméras. Supposez que vous devez déterminer la calibration de la taille des pixels d'un ancien modèle de caméra pour lequel aucun accessoire de calibration n'existe, mais que vous ayez accès aux objets suivants : une règle, deux marqueurs ponctuels de Co-57 et un exemplaire de la publication NU-1 (2001) des normes NEMA.
- Décrivez une technique du domaine spatial pour déterminer les facteurs de calibration de la taille des pixels en  $X$  et en  $Y$ , exprimés en  $mm/pixel$ .
  - Quelle hypothèse à propos de la linéarité spatiale de la caméra est implicite dans cette technique?
75. Supposez que vous devez déterminer la calibration de la taille des pixels d'un ancien modèle de caméra pour lequel aucun accessoire de calibration n'existe, mais que vous ayez accès aux objets suivants : une règle, un mannequin uniforme, un mannequin à trous orthogonaux et un exemplaire de la publication NU-1 (2001) des normes NEMA. En estimant la calibration de la taille des pixels pour une caméra gamma en utilisant ces outils, l'analyse de Fourier de l'image d'un mannequin à trous orthogonaux présente certains avantages comparativement à l'estimation directe dans le domaine spatial.
- Considérez l'amplitude de la transformée de Fourier 2D de l'image d'un mannequin à trous orthogonaux; c'est-à-dire une matrice bidimensionnelle de sources ponctuelles placée sur une grille régulière d'espacement  $\Delta X$  et  $\Delta Y$ . Expliquez pourquoi des pics apparaissent, indiquez leurs positions dans le domaine des fréquences spatiales et reliez ces positions aux espacements de la grille du domaine spatial.
  - Si le positionnement exact des points du mannequin à trous orthogonaux est déformé dû aux erreurs de positionnement spatial dans la caméra (p. ex. des non-linéarités), comment la transformation de Fourier en sera-t-elle affectée?
76. Les techniques d'analyse de Fourier sont utilisées fréquemment en médecine nucléaire, en reconstruction et en traitement d'image, par exemple. Considérant l'image d'un mannequin à trous orthogonaux :
- Montrez que l'amplitude de la transformation de Fourier 2D n'est pas modifiée par la translation de l'image.
  - Prouvez que la transformée de Fourier 2D d'une image pivotée possède des composantes de fréquence spatiale  $(v', v')$  qui peuvent être exprimées comme la version pivotée des composantes de fréquence spatiale  $(v, v)$  de l'image non pivotée, l'angle de rotation étant le même dans les deux domaines.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

77. La calibration de la taille des pixels des caméras à scintillation modernes est souvent effectuée par le personnel d'entretien à l'aide d'équipement spécialisé lors de l'installation ou l'entretien des caméras. Supposez que vous devez déterminer la calibration de la taille des pixels d'un ancien modèle de caméra pour lequel aucun accessoire de calibration n'existe, mais que vous ayez accès aux objets suivants : une règle, un mannequin uniforme, un mannequin à trous orthogonaux et un exemplaire de la publication NU-1 (2001) des normes NEMA.
- Supposez que la linéarité spatiale de la vieille caméra soit mauvaise et que vous ayez des doutes à propos de la reproductibilité des mesures faites directement sur l'image acquise. En utilisant un mannequin uniforme, un mannequin à trous orthogonaux et la méthode NEMA pour la détermination du centroïde, décrivez une technique du domaine des fréquences spatiales pour déterminer les facteurs de calibration spatiaux  $X$  et  $Y$ , exprimés en  $mm/pixel$ .
  - Comment cette approche peut-elle être considérée comme une amélioration par rapport aux mesures directes faites sur l'image acquise pour des caméras présentant une mauvaise linéarité spatiale?
78. Dans le contexte de l'imagerie animale, définissez brièvement et expliquez l'utilisation ou la signification de :
- |                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| a) profondeur d'interaction | f) microsphères radioactives |
| b) effets de volume partiel | g) souris knock-out          |
| c) transfection virale      | h) gène rapporteur           |
| d) symport Na/K             | i) promoteur constitutif     |
| e) électroporation          | j) condition de Tuy          |
79. 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.
80. À l'aide d'un diagramme, décrivez comment les gènes rapporteurs et les sondes rapporteuses sont utilisés en imagerie isotopique. Décrivez les différences entre les gènes rapporteurs encodant des récepteurs, des transporteurs et des enzymes.
81. Les cellules greffées peuvent être observées *in vivo* en médecine nucléaire en pré-marquant les cellules avec un radio-isotope ou par le paradigme gène rapporteur/sonde rapporteuse. Expliquez ces deux méthodes en ce qui concerne la localisation cellulaire et énumérez brièvement les avantages et les inconvénients de chacune.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

82. 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          |
83. 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.
84. 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.
85. 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.
86. 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?
87. Dans le contexte de l'imagerie TEM, définissez brièvement ou expliquez :
- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| a) spectre logarithmique de puissance | f) algorithme espérance-maximisation par sous ensembles ordonnés (OSEM) |
| b) théorème de la coupe centrale      | g) transformation de Fourier rapide ( <i>FFT</i> )                      |
| c) sinogramme                         | h) restauration de la résolution dépendant de la profondeur             |
| d) filtre rampe                       | i) effet de volume partiel  |
| e) pénétration septale                | j) filtre Metz  |



**Examen de candidature au CCPM**

**Édition 11.1**

88. 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.
89. 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.
90. 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.





#### IV. SPÉCIALISATION EN MÉDECINE NUCLÉAIRE

1. 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?
2.
  - 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*).
3.
  - a) Discutez les avantages et inconvénients d'utiliser une caméra TEM (*SPECT*) standard pour détecter des isotopes émetteurs de positons.
  - b) Quels changements peuvent ou doivent être apportés à la caméra TEM (*SPECT*) pour l'employer en imagerie en coïncidence?
4. 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.
5. 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 sources de transmission utilisées, les algorithmes de correction d'atténuation et les applications cliniques. Démontrez que la correction est indépendante de la profondeur pour une géométrie TEP simple.
6. Énumérez cinq (5) isotopes émetteurs de positrons 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 positrons et mettez en évidence leurs problèmes.



**Examen de candidature au CCPM**

**Édition 11.1**

7. a) Comparez la TEP et la TEM 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?
8. 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.
9. 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 |
10. 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?
11. Discutez brièvement :
- 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;
  - la capacité de discrimination en énergie des compteurs proportionnels;
  - la façon de distinguer le rayonnement bêta du rayonnement gamma avec un compteur G-M;
  - la façon de déterminer la force d'une source d'émission bêta avec un compteur G-M.
12. Décrivez le fonctionnement des détecteurs à semi-conducteur et discutez de leur utilisation en radioprotection.
13. 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.
14. Discutez les techniques utilisées pour obtenir les distributions d'amplitude d'émetteurs bêta par l'entremise du comptage par scintillation en milieu liquide.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

15. 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.
16. 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                             |
17. 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 :
- (i) les travailleurs du secteur nucléaire (*NEW*)
  - (ii) les travailleurs qui ne sont pas du secteur nucléaire, mais qui travaillent à proximité d'une source de rayonnement
  - (iii) le personnel administratif et autres personnels périphériques
  - (iv) 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.
18. 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.
19. Un fœtus est exposé à une dose de 50 mSv au cours de la 10<sup>e</sup> 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*)?
20. Donnez une brève description ou explication des termes suivants :
- a) coefficient G
  - b) radical libre
  - c) solvant et soluté de radicaux
  - d) dose D37
  - e) soustraction d'hydrogène



**Examen de candidature au CCPM**

**Édition 11.1**

21. 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.
22. 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?
23. 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.
24. 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.
25. 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 |
26. 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.
27. Discutez brièvement au moins deux techniques qui sont utilisées pour produire des cultures cellulaires à la division synchronisée.
28. Discutez l'autoradiographie et la cytométrie de flux dans le cadre de l'étude de la cinétique cellulaire.



Examen de candidature au CCPM

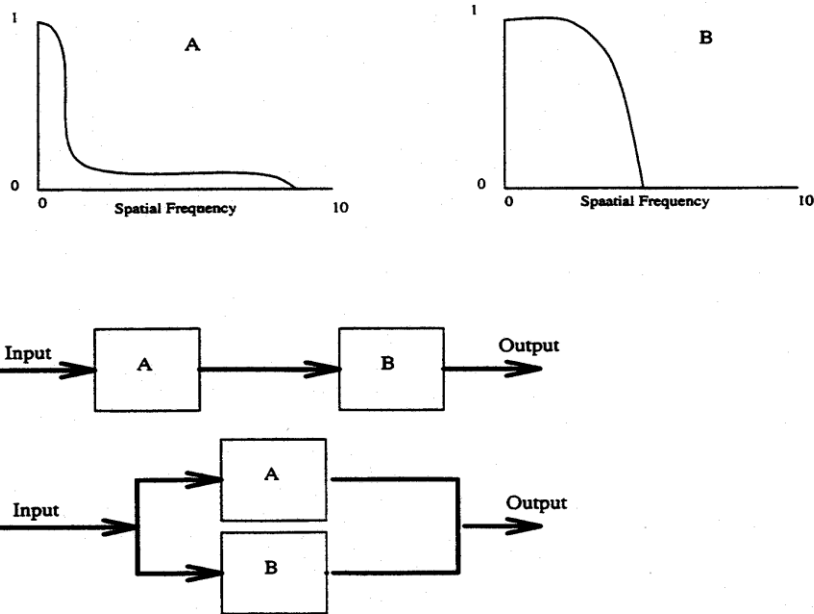
Édition 11.1

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 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.
31. Discutez brièvement les effets du rayonnement sur les constituants cellulaires **autres que** l'ADN et les chromosomes.
32. Discutez brièvement les trois types de réponse cellulaire au rayonnement.
- |                             |
|-----------------------------|
| a) apoptose                 |
| b) retard de division       |
| c) échec de la reproduction |
33. 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?  |
34. En utilisant des équations pour illustrer vos réponses, s'il y a lieu, répondez aux questions suivantes :
- |   |
|---|
| a) Qu'est-ce qu'une fonction de transfert de modulation (FTM ou <i>MTF</i> ) et comment est-elle reliée à la fonction de réponse ponctuelle?  |
| b) Pour un système linéaire à deux étages cascadables dont les fonctions de réponse ponctuelle sont $p_1(x)$ et $p_2(x)$ :<br>(i) quelle est la fonction de réponse ponctuelle totale du système?<br>(ii) quelle est la FTM du système total? |

Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

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



36. Dessinez une matrice  $2 \times 2$  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 :
- |                |                                       |
|----------------|---------------------------------------|
| a) sensibilité | d) prévalence (de la maladie)         |
| b) spécificité | e) valeur prédictive positive du test |
| c) précision   | f) valeur prédictive négative du test |
37. 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 ».
38. Exposez une méthode de cotation (« *Rating method* ») pour générer une courbe ROC en utilisant un seul observateur et un certain nombre d'images diagnostiques.
39. 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?



**Examen de candidature au CCPM**

**Édition 11.1**

40. a) Décrivez comment s'effectue une analyse des modes de défaillance et de leurs effets (FMEA) dans une clinique de médecine nucléaire.  
b) Pour chacun des modes de défaillance suivants, identifiez une cause possible et suggérez, avec vos raisons, les valeurs des paramètres de fréquence (F), sévérité (S) et détectabilité (D):  
i) Procédure faite sur le mauvais patient;  
ii) Mauvais paramètre d'imagerie pour un examen SPECT;  
iii) Traitement à l'I-131 d'une patiente enceinte.  
c) Pour chaque situation présentée en b), quelles mesures préventives pourraient être employées pour diminuer le paramètre D (c.-à-d. augmenter la détectabilité de l'erreur avant qu'elle n'atteigne le patient)?
41. 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