

**CANADIAN
COLLEGE OF
PHYSICISTS IN
MEDICINE**



**LE COLLÈGE
CANADIEN
DES PHYSICIENS
EN MÉDECINE**

Examen de candidature au 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:

Distribué par :

Canadian College of
Physicists in Medicine

Le Collège canadien des
physiciens en médecine

Andrew Kerr, PhD, P.Eng, FCCPM
CCPM Registrar / Greffier du CCPM
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).

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/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 (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 A : Spécialisation en radio-oncologie

Vous devrez répondre à **CINQ** 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 20 %, totalisant 100 %. Chaque question de la Partie IV vaut 20 %, totalisant 100 %.



III RADIO-ONCOLOGIE

1. a) Définissez le coefficient linéique d'atténuation et le coefficient linéique d'absorption d'énergie des faisceaux de photons et décrivez la différence entre les deux coefficients.
b) Préparez un tableau mettant en évidence la relation entre les coefficients d'atténuation linéique, massique, atomique et électronique et indiquez les unités convenant à ces coefficients.
2. a) Définissez et expliquez le coefficient de transfert d'énergie massique et le coefficient d'absorption d'énergie massique.
b) Décrivez et expliquez la relation entre ces deux coefficients et le coefficient d'atténuation massique.
c) Exprimez le kerma et la dose absorbée en termes de coefficient de transfert d'énergie massique et de coefficient d'absorption d'énergie massique, respectivement.
3. a) Énumérez les principales interactions photon-matière contribuant au coefficient d'atténuation massique d'un photon X.
b) Sur un graphique montrant le numéro atomique Z en fonction du logarithme de l'énergie du photon, dessinez les deux courbes d'équiprobabilité, l'une donnant une probabilité égale à l'effet photoélectrique et à l'effet Compton et l'autre à l'effet Compton et à la production de paires.
4. a) Décrivez l'effet photo-électrique en considérant les interactions des photons avec la matière.
b) Définissez et dérivez le facteur de conversion F ("F-factor").
5. a) Décrivez l'effet Compton en considérant les interactions des photons avec la matière.
b) Décrivez la variation de l'énergie cinétique moyenne de l'électron de recul dans l'effet Compton en fonction de l'énergie du photon lorsque l'énergie du photon varie entre 10 keV et 30 MeV.
6. a) Décrivez la matérialisation (i.e. production de paires) en considérant les interactions des photons avec la matière.
b) Au moyen de $E^2 - p^2c^2 = \text{invariant}$, calculez le seuil de matérialisation (i.e. production de paires).



7. Définissez ou expliquez brièvement :

- | | |
|------------------------------|---|
| a) rendement de fluorescence | f) photoélectrons |
| b) effet Auger | g) production de triplets |
| c) conversion interne | h) photon d'annihilation |
| d) effet Coster-Kronig | i) rayonnement caractéristique |
| e) effet super Coster-Kronig | j) diffusion simple (Thompson-Rayleigh) |

8. Considérez ces interactions photon-matière suivantes : effet photo-électrique; effet Compton et matérialisation (i.e. production de paires).

- Pour chacune, énoncez la dépendance du coefficient d'atténuation approprié sur l'énergie du photon $h\nu$ et le numéro atomique Z du milieu.
- Pour chacune, décrivez brièvement les processus contribuant au transfert d'énergie du photon au milieu suite aux interactions.

9.

- Énoncez les équations relativistes qui représentent la conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement, et qui sont utilisées pour obtenir la relation Compton :

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c(1 - \cos\theta)$$

- Dérivez l'équation de Compton pour l'énergie de l'électron de recul.

10.

- Au moyen de la relation de Compton $\lambda' - \lambda = \lambda_c(1 - \cos\theta)$, exprimez l'énergie $h\nu'$ des photons diffusés et l'énergie cinétique T de l'électron de recul.
- Montrez que l'énergie du photon rétrodiffusé est égale à 255 keV pour un photon de haute énergie.

11. Pour un photon incident sur du plomb (Pb) d'une énergie $h\nu$ de 4 MeV, les coefficients d'atténuation atomique pour l'effet photo-électrique ${}_a\tau$, l'effet Compton ${}_a\sigma$ et la matérialisation (i.e. production de paires) ${}_a\kappa$ sont :

$${}_a\tau = 0,567 \times 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{atome}; \quad {}_a\sigma = 7,878 \times 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{atome}; \quad \text{et} \quad {}_a\kappa = 5,782 \times 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{atome}.$$

En montrant clairement les étapes de votre calcul, calculez le coefficient d'atténuation massique μ/ρ , le coefficient de transfert d'énergie massique μ_{tr}/ρ et le coefficient d'absorption d'énergie massique μ_{ab}/ρ (utilisez la fraction de rayonnement de freinage $g = 0,130$ et $f_{ir} = 0.675$ pour un photon de 4 MeV dans le Pb).



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

12. Un photon d'énergie $h\nu$ interagit avec le plomb (Pb) :
- Donnez la relation générale entre $h\nu$ et l'énergie cinétique maximale E_{\max} de l'électron libre produit par effet photoélectrique, effet Compton et la matérialisation (i.e. production de paires).
 - En prenant pour hypothèse $h\nu = 2$ MeV, calculez E_{\max} pour les trois effets.
13. La formule de Klein-Nishina faisant le lien entre la section efficace différentielle de Compton $d\sigma_c/d\Omega$ et l'angle de diffusion θ du photon s'exprime comme suit :

$$\frac{d\sigma_c}{d\Omega} = \frac{r_e^2}{2} \times \frac{1 + \cos^2 \theta}{[1 + \alpha(1 - \cos \theta)]^2} \times \left\{ 1 + \frac{\alpha^2(1 - \cos \theta)^2}{[1 + \cos^2 \theta] \times [1 + \alpha(1 - \cos \theta)]} \right\}$$

où $r_e = 2.818$ fm est le rayon classique de l'électron et $\alpha = h\nu/m_e c^2$ avec $m_e c^2 = 0,511$ MeV.

- Montrez que pour $\alpha=0$ et tout θ , et que pour $\theta=0$ et tout α , $d\sigma_c/d\Omega$ se transforme en coefficient de diffusion classique pour l'électron, $d\sigma_c/d\Omega$.
 - Montrez que l'intégrale de $d\sigma_c/d\Omega$ sur $d\Omega$ a pour résultat $\sigma_0 = 66.5 \times 10^{-30}$ m².
 - Discutez l'effet de la liaison électronique sur la diffusion de Compton pour des photons de faible énergie.
14. a) Définissez et expliquez les pouvoirs d'arrêt attribués aux collisions et aux pertes radiatives.
b) Décrivez la différence entre le pouvoir d'arrêt et le transfert d'énergie linéique (TEL ou "LET").
- 15.
- Décrivez la dépendance du pouvoir d'arrêt massique par collision S_{coll} en fonction de son énergie et numéro atomique pour des électrons avec une énergie entre 10 keV et 100 MeV.
 - Décrivez la dépendance en énergie et en numéro atomique du pouvoir d'arrêt massique de collision S_{coll} pour des électrons dont l'énergie varie entre 10 keV à 100 MeV.
 - Tracez sur un seul graphique S_{coll} et S_{rad} dans l'eau et le plomb pour des électrons ayant une énergie entre 10 keV et 100MeV.
16. a) En utilisant la variation du pouvoir d'arrêt massique par collision S_{coll}/ρ et le pouvoir d'arrêt massique radiatif S_{rad}/ρ en fonction de l'énergie de l'électron entre 10 keV à 100 MeV, décrivez la conception optimale d'une cible de rayonnement de freinage pour un accélérateur linéaire de haute énergie..
b) Pour une énergie donnée des électrons incidents, quel est l'effet de la conception de la cible sur la qualité du faisceau de rayons X (i.e. courbe de rendement en profondeur)?
c) Décrivez de quelle manière une cible à éléments multiples peut être utilisée pour fournir un faisceau de photons d'un spectre plus désirable.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

17. Définissez ou expliquez brièvement :

- | | |
|--|---|
| a) Électrode de garde | f) W pour l'air |
| b) Matériel de paroi équivalent à l'air | g) Courant de fuite |
| c) Rendement de collection | h) Coefficient d'étalonnage d'une chambre |
| d) Effet de fuite thermique (<i>stem effect</i>) | i) Paire d'ions |
| e) Capuchon d'équilibre électronique | j) Recombinaison initiale et générale. |

18. a) Faites un schéma d'une chambre d'ionisation à plaques parallèles et d'une chambre d'ionisation cylindrique, en indiquant clairement leurs composants. Montrez un circuit électronique simple qui leur est associé.
- b) Décrivez brièvement les applications typiques et appropriées pour une chambre d'ionisation à plaques parallèles et une chambre d'ionisation cylindrique

19. Tracez une courbe de l'efficacité de collection des charges en fonction du voltage pour une chambre d'ionisation à plaques parallèles typique irradiée par un faisceau de photons continu et décrivez brièvement le comportement de la courbe en fonction de l'intensité du rayonnement, de l'éloignement des électrodes et de l'énergie des photons.

20.

- a) Décrivez brièvement la mesure absolue de la dose à l'aide d'une chambre d'ionisation à air libre.
- b) Décrivez brièvement la mesure absolue de la dose à l'aide d'un calorimètre.

21. Définissez ou expliquez brièvement

- | | |
|---------------------------|--|
| a) Kerma | f) Rayonnement de freinage (<i>bremsstrahlung</i>) |
| b) Dose absorbée | g) Électrons de conversion |
| c) Exposition | h) Numéro atomique équivalent |
| d) Équilibre électronique | i) Rayons delta. |
| e) Terma | j) Fluence |

22. a) Décrivez le kerma et la dose absorbée en termes de fluence énergétique du photon et des coefficients d'atténuation massique tant pour un faisceau de photons homogène d'énergie $h\nu$ que pour un spectre de photons hétérogène d'énergie maximale $h\nu_{\max}$.
- b) Décrivez brièvement la théorie de la cavité de Bragg-Gray et donnez une définition claire des paramètres impliqués.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

23. a) À l'aide de diagrammes annotés, comparez le tube à rayons X utilisé à des fins de traitement au tube à rayons X utilisé à des fins de diagnostic, en indiquant clairement les principales différences.
b) Décrivez brièvement les protocoles du contrôle de la qualité pour les appareils d'orthovoltage et les simulateurs conventionnels.
24. a) Décrivez l'erreur d'obturation (*shutter error*) associée à la minuterie des appareils de cobalt et d'orthovoltage, ainsi que des accélérateurs linéaires.
b) Décrivez une méthode de mesure de l'erreur d'obturation et dérivez toutes les équations pertinentes à cette mesure.
c) De quelle manière l'applique-t-on, en pratique, au réglage de la minuterie des appareils pour traitement au cobalt comparé à un accélérateur linéaire?
25. a) Estimez la puissance délivrée à la cible par un tube à rayons X actionné à 100 kVp, 50 mA, un transformateur HT triphasé avec un montage à 12 redresseurs.
b) Comparez cela à la puissance délivrée à la cible par un linac de 20 MV actionné à 50 pps avec une durée d'impulsion du courant d'électrons de 7 μ s et une amplitude de 50 mA.
c) Expliquez les différences dans la puissance délivrée, ainsi que les conséquences de ces différences.
26. a) Décrivez les étapes nécessaires pour produire un faisceau clinique d'électrons à partir du faisceau d'électrons accélérés par le guide d'onde d'un accélérateur.
b) Décrivez le processus de collimation de ces faisceaux d'électrons.
27. a) Décrivez le rôle et les propriétés typiques des filtres égalisateurs utilisés dans les accélérateurs linéaires.
b) Discutez de quelle manière la conception du filtre égalisateur affecte la qualité (ex. rendement en profondeur) du faisceau de rayons X pour une énergie de l'électron incident donnée.
c) Quel est l'impact de la conception de l'égalisateur sur le débit de dose?
28. a) Décrivez de quelle manière un électron est accéléré à haute énergie dans un accélérateur linéaire moderne.
b) Décrivez de quelle manière un proton est accéléré à haute énergie dans un cyclotron moderne.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

29. Donnez l'écart typique des valeurs et les unités utilisées pour les paramètres suivants d'un accélérateur linéaire typique :
- | | |
|--------------------------------------|--|
| a) Pic de courant des faisceaux | f) Largeur d'impulsion du courant du faisceau |
| b) Courant moyen de faisceau | g) Tension de l'injecteur (<i>electron gun</i>) |
| c) Largeur d'impulsion du modulateur | h) Longueur du guide d'ondes de l'accélérateur |
| d) Pic de courant du modulateur | i) Matériau et épaisseur de la cible dans un accélérateur linéaire de 6 MV |
| e) Radiofréquence de l'onde | j) Énergie cinétique de l'électron dans le guide d'ondes. |

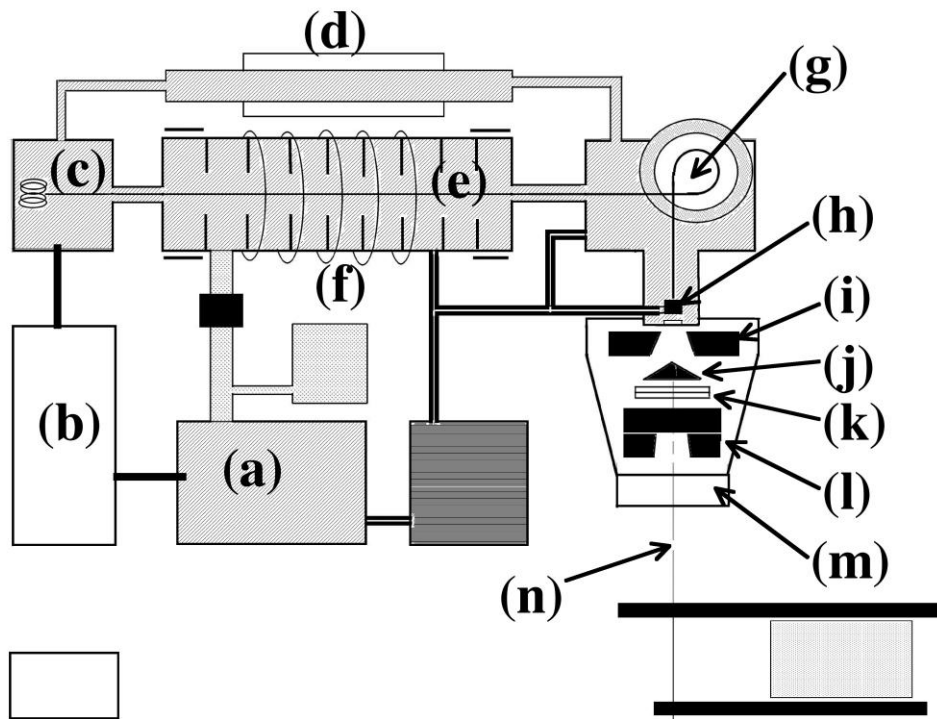
Attention, voir k) prochaine page.

Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

k) Considérez le diagramme schématisé d'un accélérateur linéaire ci-dessous. Faites correspondre les principaux composants énumérés ci-dessous aux espaces laissés vides :

- | | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| i) Aimant de courbure | viii) Source de puissance micro-onde |
| ii) Injecteur | ix) Collimateur multilames |
| iii) Filtre égalisateur | x) Collimateur primaire |
| iv) Bobine de focalisation | xi) Modulateur pulsé |
| v) Chambre d'ionisation | xii) Cible |
| vi) Isocentre | xiii) Pompe à vide |
| vii) Mâchoire | xiv) Guide d'ondes |





Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

30. a) Expliquez pourquoi le débit de dose relatif (cGy/MU) d'un accélérateur linéaire, dans l'air aussi bien que dans un milieu quelconque, change en fonction de la dimension du champ.
- b) En négligeant les électrons de contamination, dessinez un graphique du facteur de débit relatif dans l'air (e.g. S_c) en fonction de la dimension du champ pour des faisceaux typiques de photons de 6 MV et 18 MV.
- c) En négligeant les électrons de contamination, dessinez un graphique du facteur de débit relatif dans un milieu quelconque (e.g. $S_{c,p}$) en fonction de la taille de champ pour les faisceaux typiques de photons de 6 MV et 18 MV.
- d) Quel est l'effet d'une augmentation de l'énergie des photons sur la relation entre ces facteurs et la taille de champ?
- e) Quel est le défi lié à la mesure du facteur de débit relatif dans l'air pour un faisceau de haute énergie?
31. Définissez ou expliquez brièvement les éléments suivants :
- | | |
|-------------------------|------------------------------------|
| (a) Analyse gamma | (f) Seuil d'intervention |
| (b) ATD | (g) « Picketfence » |
| (c) Planéité | (h) Test de Winston-Lutz |
| (d) Symétrie | (i) Test « Star shot » |
| (e) Niveau de tolérance | (j) Acquisition c. mise en service |
32. Les tests d'acceptation d'un accélérateur linéaire avec collimateur multi-lames et imagerie portale peuvent être classés en plusieurs catégories. Les cinq catégories de tests sont sûreté, mécanique, dosimétrie, imagerie et collimateur multi-lames. Pour chacune de ces catégories, donnez deux exemples de mesure ou de test, de même que la spécification de tolérance convenable.
- 33.
- a) Quels sont les paramètres typiques d'un faisceau de photons exigés dans un système de planification de traitements par radiothérapie qui utilise un algorithme de calcul de la dose basé sur un modèle?
- b) Quelles mesures sont typiquement requises et comment est-ce que ces mesures sont utilisées pour estimer des paramètres de modèles?
- c) De quelle manière sont utilisés les paramètres du faisceau modèle dans le calcul tridimensionnel de la dose au patient et les calculs d'unité moniteur?



- 34.
- Décrivez un formalisme typique pour effectuer une vérification manuelle des unités monitrices pour un plan de traitement 3D généré par un système de planification de traitement. Considérez un traitement photon avec installation DSA et utilisez des tables de ratio tissus-fantôme (« TPR »). Expliquez tous les paramètres utilisés.
 - Expliquez les valeurs « Grandeur de champ équivalent » et « Distance radiologique effective » dans le contexte des calculs manuels des unités monitrices.
 - Discutez brièvement quelques points à considérer afin de modifier la méthode de calcul pour qu'elle s'applique aux champs modulés utilisés en RTMI (ou « IMRT »).
- 35.
- Décrivez en détail un protocole de dosimétrie clinique de référence pour un faisceau de 18 MV dans un accélérateur linéaire médical utilisant une chambre d'ionisation étalonnée au cobalt-60. Inclure une description de la géométrie et des conditions de mesure, ainsi que du milieu dans lequel la mesure est effectuée.
 - Donnez l'équation utilisée et définissez chaque paramètre en détail.
 - De quelle manière la qualité du faisceau est-elle spécifiée?
36. Définissez les fonctions suivantes utilisées dans le calcul manuel de la dose en radio-oncologie; dessinez la géométrie pertinente et énoncez clairement quels paramètres de faisceau influencent ces fonctions :
- Rendement en profondeur (« PDD »)
 - Rapport tissu-maximum (*TMR*) et Rapport tissu-fantôme (« TPR »)
 - Facteur hors-axe (« OAR »)
 - Facteur filtre (« WF »)
 - Rendement en profondeur d'un faisceau à surface nulle.
- 37.
- Dessinez la courbe de rendement en profondeur (« PDD ») pour un faisceau égalisé de photons à 6MV ayant une grandeur de champ de $10 \times 10 \text{ cm}^2$ à une DSP de 100 cm.
 - Expliquez les changements dans la courbe de rendement en profondeur pour les profondeurs plus grandes que d_{max} .
 - Comment varie la courbe de rendement en profondeur avec l'énergie du faisceau de photons?
 - Comment varie la courbe de rendement en profondeur avec la grandeur du champ?
 - Comment varie la courbe de rendement en profondeur avec la distance source-surface?



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

38. a) Pour un grand champ d'un faisceau égalisé de 6MV, expliquez comment varie le profil du faisceau en fonction de la profondeur.
 b) Lorsqu'un faisceau de photons à haute énergie irradie un fantôme, une dose est donnée aux couches superficielles surtout par des électrons de contamination. Décrivez le comportement de cette dose due aux électrons de contamination en fonction de la profondeur.
39. Décrivez les trois méthodes suivantes pour les corrections pour l'inhomogénéité des tissus dans le calcul des doses pour des faisceaux de photons et donnez les avantages et inconvénients de chacune:
 a) un simple calcul manuel;
 b) un algorithme de calcul de dose basé sur la superposition de « pencil-beam kernel »; et
 c) un algorithme de calcul de dose basé sur la superposition de « point-dose kernels ».
40. Des outils de simulation par méthode de Monte-Carlo (MC) sont disponibles pour le calcul de la dose dans plusieurs systèmes de planification des traitements.
 a) Discutez les avantages d'utiliser la simulation MC pour le calcul de la dose, comparée à d'autres méthodes.
 b) Expliquez brièvement comment calculer l'historique d'une particule à partir d'une collection de nombres pseudo-aléatoires.
 c) Expliquez brièvement de quelle manière on obtient une distribution de dose à partir d'une accumulation d'historiques de particules.
41. La formule de Klein-Nishina faisant le lien entre la section efficace différentielle de diffusion Compton $d\sigma_c/d\Omega$ et l'angle de diffusion θ du photon s'exprime comme suit :

$$\frac{d\sigma_c}{d\Omega} = \frac{r_e^2}{2} \times \frac{1 + \cos^2 \theta}{[1 + \alpha(1 - \cos \theta)]^2} \times \left\{ 1 + \frac{\alpha^2(1 - \cos \theta)^2}{[1 + \cos^2 \theta] \times [1 + \alpha(1 - \cos \theta)]} \right\}$$

où $r_e = 2.818$ fm est le rayon classique de l'électron et $\alpha = h\nu/m_e c^2$ avec $m_e c^2 = 0.511$ MeV.

- a) Décrivez de quelle manière cette équation pourrait être utilisée dans un programme de simulation Monte-Carlo pour modéliser une interaction Compton dans un milieu. Discuter aussi du rôle d'un générateur de nombres aléatoires et du processus d'échantillonnage.
 b) Décrivez de quelle manière le programme pourrait déterminer la trajectoire et l'énergie d'un électron produit lors de l'interaction.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

42. Les distributions de dose calculées à l'aide d'une méthode de simulation Monte-Carlo (MC) sont assujetties au bruit de fond statistique.
- Pourquoi y-a-t-il un bruit de fond statistique dans une distribution de dose par la méthode de MC?
 - Écrivez les équations montrant de quelle manière le bruit relatif dépend :
 - du nombre d'historiques de particules;
 - de la grandeur du voxel de la matrice de dose;
 - de la dose comme pourcentage de la dose prescrite; et
 - de la durée de la simulation MC.
 - Tracez un histogramme cumulatif dose-volume typique (*DVH*) pour un volume cible auquel est prescrit une dose de 70 Gy et qui reçoit une dose minimale de 67 Gy et une dose maximale de 72 Gy. Sur le même graphique, tracez le DVH qui serait obtenu par une méthode de simulation MC avec un bruit de fond statistique relatif de 10 %.
43. Définissez ou expliquez brièvement :
- | | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| a) Énergie cinétique des électrons | f) Rayonnement de Čerenkov |
| b) Électrons de contamination | g) Dosimétrie de Fricke |
| c) R_{50} d'un faisceau d'électrons | h) Rendement radiochimique |
| d) Portée totale des électrons | i) Défaut thermique |
| e) Rapport de pouvoir d'arrêt | j) Capacité thermique. |
44. a) Faites un croquis des distributions du rendement en profondeur pour un faisceau typique d'électrons de $10 \times 10 \text{ cm}^2$, avec une DSP de 100 cm et des énergies cinétiques initiales de 6, 12 et 18 MeV.
- b) Décrivez avec un croquis la forme des distributions d'isodoses pour un faisceau électron de 12 MeV.
45. a) Faites un croquis des rendements en profondeur pour un faisceau d'électrons de 15 MeV et des tailles de champ de $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $10 \times 10 \text{ cm}^2$ et $20 \times 20 \text{ cm}^2$. Expliquez les différences ou similitudes de ces trois courbes.
- b) Décrivez brièvement ce qui doit être pris en considération lorsque des champs d'électrons sont collimatés afin de réduire leur taille de façon significative.
- 46.
- Décrivez le protocole servant à la mesure de la dose absorbée pour un faisceau d'électrons avec une chambre d'ionisation étalonnée pour la dose.
 - Donnez l'équation utilisée et définissez chaque paramètre en détail.
 - Incluez une description de la géométrie des mesures de même que du matériau du mannequin approprié.
 - De quelle manière la qualité du faisceau est-elle spécifiée?



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

47.

- a) Décrivez les principes physiques de base du processus de dosimétrie par luminescence stimulée optiquement (« OSL »).
- b) Faites un schéma d'un appareil typique servant aux mesures de OSL. Identifiez clairement les composantes.

48. Définissez ou expliquez brièvement :

- | | |
|--|---------------------------------------|
| a) Recuit pré- irradiation | f) Énergie d'activation |
| b) Recuit post-irradiation | g) Supralinéarité |
| c) Spectre en température (« thermogram ») | h) Émissions infrarouges de la plaque |
| d) Centres de recombinaison | i) Modèle de Randall-Wilkins |
| e) Piège à électron | j) Luminescence stimulé optiquement |

49. a) Comparez les dosimètres thermoluminescents avec les dosimètres à luminescence stimulée optiquement et exposez un avantage et un inconvénient pour chacune d'elles.
- b) Décrivez l'utilisation de la dosimétrie thermoluminescente ou de la dosimétrie par luminescence stimulée optiquement pour la surveillance de la dose aux patients en radiothérapie externe.
- c) Décrivez les techniques de calibration et de manipulation d'une de ces techniques.
- d) Incluez une description de la pertinence des valeurs mesurées lorsqu'on tente de valider les doses calculées pour un plan de traitement.

50.

- a) Nommez quatre techniques de dosimétrie relative, autres que la dosimétrie thermoluminescente ou à luminescence stimulée optiquement.
- b) Décrivez brièvement leurs principales caractéristiques et applications
- c) Décrivez les avantages et inconvénients.

51. Différentes approches sont utilisées dans la curiethérapie interstitielle et intracavitaire.

- a) Décrivez les méthodes d'irradiation en curiethérapie par haut débit (« HDR ») et par implant à grains, incluant le mécanisme donnant la dose et le radio-isotope communément utilisé.
- b) Donnez une application clinique (anatomie et dose typique) de chacune.
- c) Expliquez les avantages offerts par les techniques de chargement différé à distance comparé au chargement différé manuel et comparé à l'insertion d'aiguilles chargées de sources.



52.

- a) Décrivez deux sources de curiethérapie, dont une fréquemment utilisées dans les systèmes de chargement différé par projecteur de sources et une utilisées dans les techniques de chargement manuelles. Incluez les paramètres physiques de construction et de rayonnement tels que la demi-vie, l'activité typique, l'énergie et la constante de débit du kerma de l'air.
- b) Décrivez une utilisation clinique commune à chaque source. Spécifiez l'anatomie traitée, la méthode de planification et des considérations de sécurité.

53.

- a) Décrivez une méthode pratique pour faire l'étalonnage d'une source de curiethérapie haut débit après avoir été installée dans un projecteur de source. Spécifiez chaque pièce d'équipement requise.
- b) Expliquez de quelle manière la distribution de la dose absorbée pour une source de curiethérapie typique est déterminée.

54.

- a) Quels sont les avantages et inconvénients des traitements à haut débit de dose par rapport aux traitements à bas débit de dose en curiethérapie gynécologique?
- b) Comment les doses délivrées à haut débit se comparent-elles aux doses délivrées à bas débit?
- c) Décrivez un fractionnement typique pour un cancer du col utérin traité par curiethérapie à haut débit?

55. Pour ce qui concerne l'implantation permanente avec grains dans le traitement précoce du cancer de la prostate :

- a) Décrivez brièvement les étapes nécessaires au traitement du patient de l'évaluation initiale jusqu'à l'évaluation du traitement après l'implantation.
- b) Décrivez les étapes et outils nécessaires aux procédures d'assurance de la qualité des grains radioactifs avant l'implantation.
- c) Décrivez les étapes et outils nécessaires aux procédures d'assurance de la qualité du système d'ultrason trans rectal utilisé pour guider l'implantation.

56. En ce qui concerne le calcul de la dose de curiethérapie :

- (a) décrivez le formalisme du calcul de la dose couramment utilisé, en fournissant des définitions et des explications pour toutes les quantités;
- (b) dans quelles circonstances ce formalisme n'est-il pas en mesure de calculer avec précision la dose?



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

57. En ce qui a trait à la curiethérapie HDR de la prostate
- Décrivez comment faire la planification du traitement.
 - Décrivez de quelle manière le traitement est donné.
 - Décrivez quatre différences dans les préoccupations liées à la radioprotection dans le traitement de la prostate à haut débit par rapport à l'implantation permanente avec grains.
 - Décrivez les différences d'admissibilité et de sélection pour les patients soumis à la curiethérapie à haut débit par rapport aux patients recevant un implant de grains permanents.
- 58.
- Décrivez en détail un traitement de radiothérapie du sein ou de la paroi de la cage thoracique standard, incluant les ganglions lymphatiques régionaux. Incluez les considérations liées à la préservation des organes à risque, à l'homogénéisation de la dose dans les trois dimensions et les problèmes associés à la jonction des faisceaux.
 - Énoncez deux schémas de dose totale et les fractionnements typiques.
59. Dans le contexte de la planification et du traitement du cancer de la prostate:
- Utilisez la terminologie de l'ICRU 50 et de l'ICRU62 pour décrire les volumes de tumeur et de cible.
 - Indiquez deux fractionnements couramment utilisés.
 - Décrivez une technique de traitement typique.
 - Décrivez trois méthodes possibles pour évaluer la position du patient avant ou pendant le traitement.
 - Énumérez deux organes à risque ainsi que les doses de tolérance et la toxicité associée.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

60. Selon l'ICRU, le volume cible de planification (« PTV ») est un concept géométrique qui assure que la dose prescrite est livrée au volume cible clinique (« CTV »). Différentes méthodes ont été proposées pour définir la marge entre le CTV et le PTV. Une approche, basée sur la distribution de probabilités, est de différencier entre les erreurs aléatoires et systématiques qui contribuent à la déviation géométrique. Lorsque cette approche est utilisée, l'équation communément utilisée pour définir la marge du PTV est :

$$PTV = 2.5 \Sigma + 0.7 \sigma$$

ou Σ est la déviation standard des erreurs systématiques et σ représente la déviation standard des erreurs aléatoires. Cette équation assure une dose minimale au CTV de 95% de la dose de prescription chez 90% des patient, se basant sur l'approximation que la largeur de la pénombre est de 3.2mm.

- a) Plusieurs simplifications sont assumées lors de la dérivation de ce modèle. Discutez brièvement de quatre de ceux-ci.
 - b) Décrivez comment une distribution de dose est modifiée par des erreurs aléatoires et systématiques.
 - c) Pour les traitements de tumeur intra-crânienne (ex. cerveau), énumérez trois sources de déviations géométriques and discutez brièvement leur contribution à Σ et à σ .
 - d) Discutez brièvement pourquoi cette équation ne s'applique pas à la détermination de marge autour des organes à risques.
- 61.
- a) Décrivez la justification de procéder à une irradiation corporelle totale (ICT, *TBI*) avant une transplantation de moelle osseuse dans un cas de leucémie,
 - b) Quel est le fractionnement habituellement donné,
 - c) Décrivez les problèmes médicaux durant ou après une ICT,
 - d) Décrivez les avantages théoriques et/ou inconvénients à l'irradiation de la dose en une seule fraction comparé à en fractions multiples.
 - e) Donnez deux contraintes de doses pour des organes à risques
62. a) Décrivez brièvement trois techniques différentes utilisées pour effectuer une irradiation corporelle totale (ICT), inclure au moins une technique utilisée en se servant d'un accélérateur linéaire.
- b) Pour chaque technique, décrivez comment réduire la dose aux organes à risque.
 - c) Décrivez brièvement les mesures de dosimétrie à prendre avant d'utiliser un accélérateur linéaire standard pour effectuer l'ICT.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

63. a) Indiquez deux types de cancers qui peuvent bénéficier de l'utilisation de la synchronisation respiratoire et expliquez ensuite les raisons justifiant l'utilisation de la synchronisation respiratoire.
b) Décrivez deux méthodes de traitement par synchronisation respiratoire.
c) Expliquez l'incidence de la synchronisation respiratoire sur la préparation du patient, le protocole de tomodensitogramme et la planification du traitement
64. a) Décrivez en détail les modifications et mesures devant être effectuées sur un accélérateur linéaire standard avant qu'il ne puisse être utilisé pour une irradiation cutanée totale par électrons.
b) Décrivez une technique de traitement actuellement employées pour l'irradiation cutanée totale par électrons.
c) Donnez les doses et le fractionnement habituellement utilisés.
65. a) Énumérez 3 sites de maladies crâniennes ou indications pour lesquels la radiochirurgie stéréotaxique est le traitement de choix. Quels sont la dose totale et le fractionnement typiques pour chacune d'elles?
b) Énumérez trois sites de maladies extra-crâniennes ou indications pour lesquels la radiochirurgie corporelle stéréotaxique est le traitement de choix, Quels sont la dose totale et le fractionnement typiques pour chacune d'elles?
c) Décrivez les avantages et inconvénients d'utiliser une technique stéréotaxique versus un traitement conventionnel.
d) Comparez les marges requises lors d'un traitement stéréotaxique au traitement conventionnel, et décrivez les techniques employés pour atteindre les marges en stéréotaxie.
66. a) Décrivez brièvement trois plateformes majeures pour réaliser un radiochirurgie stéréotaxique.
b) Comment est-ce que les exigences de mise en service et d'assurance qualité d'un linac utilisé pour la radiochirurgie stéréotaxique varient par rapport à un linac utilisé pour des traitements conventionnels?



67.

- a) Décrivez brièvement le fondement de la Tomothérapie et expliquez de quelle manière la modulation de l'intensité est obtenue dans l'ensemble du volume de la cible.
- b) Faites un croquis et décrivez les principaux composants d'un appareil de Tomothérapie hélicoïdale.
- c) Décrivez deux problèmes liés à la dosimétrie d'un faisceau pouvant être plus difficiles à résoudre avec un appareil de Tomothérapie qu'avec un accélérateur linéaire conventionnel.

68.

- a) Justifiez l'utilisation des protons pour le traitement du cancer.
- b) Tracez la courbe de rendement en profondeur d'un faisceau de protons de 120 MeV. Montrez de quelle manière on peut combiner des faisceaux modulés multiples pour produire une distribution de dose en profondeur cliniquement plus utile.
- c) Décrivez la plage d'énergies appropriée pour un traitement aux protons.
- d) Décrivez deux méthodes pour la production de champs larges latéralement uniformes et cliniquement utiles à partir des faisceaux-crayon de protons produits dans un accélérateur de protons typique.

69. L'hyperthermie, la cryochirurgie, la thérapie photodynamique et la radioimmunothérapie avec anticorps monoclonaux peuvent être décrites comme d'autres options dans le traitement du cancer. Pour chacune :

- a) Décrivez brièvement le fondement du traitement.
- b) Décrivez une méthode pour donner le traitement.
- c) Spécifiez un site traité par cette technique.
- d) Décrivez un problème possible d'utilisation.

70. Définissez ou expliquez ce qui suit à l'aide de croquis, s'il y a lieu :

- a) Tomodensitomètre simulateur;
- b) Filtre papillon (« bow-tie »)
- c) Rétroprojection filtrée
- d) CT 4D
- e) Tomodensitomètre à faisceau conique (*CBCT*);

71. Définissez ou expliquez ce qui suit à l'aide de croquis, s'il y a lieu :

- a) Nombre CT par rapport à densité électronique;
- b) Imagerie avec faisceau de photons mégavoltage;
- c) Radiographie reconstruite numériquement (*DRR*);
- d) *Beam 's-eye-view*;



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

72. a) Décrivez et expliquez le fonctionnement technique et les caractéristiques physiques d'un système d'imagerie portale électronique à base de silicium amorphe (*a-Si EPID*) utilisé en imagerie avec rayonnement de haute énergie (mégavoltage)
- b) Décrivez et expliquez les principales différences de conception entre les systèmes d'imagerie avec rayonnement de haute énergie (mégavoltage) et les systèmes d'imagerie avec rayonnement de basse énergie (kilovoltage) (montés sur un accélérateur linéaire médical).
73. Comparez l'utilisation de la TDM et de l'IRM dans la planification de la radiothérapie en faisant référence à la résolution, au contraste et à l'uniformité spatiale et géométrique des images et leur capacité de :
- a) Localiser des repères osseux.
- b) Délimiter les volumes des tumeurs et des organes essentiels (définir l'étendue des tumeurs).
- c) Fournir de l'information pour les corrections liées à l'inhomogénéité des tissus.
74. a) Décrivez un système d'imagerie TEP/TDM typique:
- b) Décrivez le principal radiotracer utilisé, son comportement biologique de base associé à l'imagerie TEP et son applicabilité à l'imagerie oncologique.
- c) Décrivez deux sites cliniques typiques où des systèmes TEP/TDM sont utilisés dans des programmes de radio-oncologie.
- d) Quelles considérations techniques doivent être prises en compte pour utiliser les systèmes TEP/TDM le plus efficacement possible dans un département de radio-oncologie (comparativement à un département de radiologie)?
75. Considérez la planification inverse pour atteindre le faisceau avec fluence optimale lors de la radiothérapie de conformation avec modulation de dose (RCMI/ « IMRT » ou « VMAT »), expliquez
- a) fonctions objectifs,
- b) objectifs de dose,
- c) contraintes de dose,
- d) Méthodes d'optimisation non-stochastique typiques
- e) Méthodes d'optimisation stochastique typiques



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

76. Décrivez les techniques suivantes pour administrer des traitements de radiothérapie de conformation avec modulation de dose en tenant compte de la façon dont la modulation est accomplie. Comparez les avantages et les inconvénients :
- du collimateur multilames statique ou segmenté (*SMLC* ou « *step and shoot* »),
 - du collimateur multilames dynamique (*DMLC* ou « *sliding window* »)
 - de la radiothérapie de conformation avec modulation d'intensité de dose rotationnelle (aussi nommée « arc thérapie dynamique avec modulation d'intensité (*VMAT*) »).
77. Décrivez les techniques suivantes pour l'assurance de la qualité des traitements avec modulation centrée sur le patient en tenant compte des avantages et des inconvénients
- des mesures sur fantôme (avec système de chambre(s) d'ionisation/film(s)),
 - des chambres d'ionisation bidimensionnelles ou matrices de diode,
 - des dispositifs d'affichage à électrophorèse (EPID)
 - des validations indépendantes des unités moniteurs (« *MU check* »).
78. Considérez l'importance qu'on prît les systèmes informatique en oncologie (OIS) pour le bon fonctionnement d'une clinique de radio-oncologie, expliquez la raison d'être et l'utilisation de:
- pare-feu,
 - checksum,
 - IPv6,
 - RAID,
 - DICOM
 - PACS
 - RIS
- 79.
- Justifiez l'utilisation des photons orthovoltages comparativement aux électrons pour la radiothérapie.
 - Esquissez les courbes de rendement en profondeur pour 100 kVp et 270 kVp en supposant DFP = 30 cm et une filtration appropriée pour chaque faisceau.
 - Justifiez l'utilisation des photons orthovoltages comparativement aux électrons pour la radiothérapie.
 - Décrivez les principaux sites de traitement où les faisceaux de photons orthovoltages sont habituellement considérés.
 - Décrivez brièvement le protocole de mesure des doses absolues dans un faisceau de photons orthovoltages à l'aide d'une chambre à ionisation calibrée. Présentez les équations appropriées et définissez les termes.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

80. Il y a plusieurs systèmes basés sur des TDM volumétriques utilisés pour les traitements de radiothérapie guidés par l'imagerie. Ceux-ci incluent les tomodesitomètres à faisceau conique kV, à faisceau conique MV, à faisceau en éventail kV et à faisceau en éventail MV.
- a) Pour un scan abdominal standard, fournissez des valeurs de doses approximatives pour chaque modalité et décrivez brièvement la raison pour ces différences.
 - b) Discutez brièvement pourquoi les différences en résolution spatiale et en contraste entre les différentes modalités.
 - c) Discutez brièvement les différences dans la susceptibilité au mouvement et l'effet d'artefact de mouvement entre les différentes modalités.



IV RADIO-ONCOLOGIE

1. Définissez ou expliquez brièvement :

<ol style="list-style-type: none"> a) Pouvoir d'arrêt b) Couche de demi-atténuation (CDA) c) Couche d'atténuation au dixième (TVL) d) Kerma dans l'air e) Dose absorbée 	<ol style="list-style-type: none"> f) Dose équivalente (H_T) g) Dose efficace (E) h) Facteur de pondération du rayonnement (w_R) i) Facteur de pondération des tissus (w_T). j) Limite annuelle d'incorporation (LAI).
--	---

2.
 - a) Décrivez le concept du transfert d'énergie linéique (TEL, LET) et de son emploi comme mesure de la qualité du rayonnement.
 - b) Comment le TEL varie-t-il en fonction du type et de l'énergie des particules chargées et en fonction de la profondeur dans un matériau dans lequel des particules chargées sont ralenties?

3. Donnez un aperçu de la façon dont le modèle linéaire-quadratique utilisé en radiobiologie décrit et explique la variation de l'efficacité biologique relative (RBE) et(ou) la forme de la courbe dose-réponse en fonction du type de rayonnement et de l'énergie.

4.
 - a) Définissez l'« oxygen enhancement ratio » (OER) et expliquez de quelle manière la présence d'oxygène modifie la réponse au rayonnement.
 - b) Quelle est une valeur typique de l' OER pour une dose de 200 cGy provenant de rayons X?
 - c) Tracez l' OER en fonction du TEL (LET).

5.
 - a) Décrivez brièvement les éléments probants sur lesquels se fondent les valeurs des facteurs de pondération du rayonnement (w_R) de la CIPR publication 103 ($ICRP103$).
 - b) Quelles sont les valeurs de facteur de pondération du rayonnement pour les photons, électrons, protons et particules alphas?
 - c) Expliquez brièvement pourquoi le facteur de pondération du rayonnement pour les neutrons est une fonction continue (au lieu d'être une valeur)?

6. Définissez ou expliquez brièvement :

<ol style="list-style-type: none"> a) Pic photoélectrique b) Dynode c) Spectre en température d) Front Compton e) Avalanche électronique 	<ol style="list-style-type: none"> f) Charge d'espace g) Extinction (<i>quenching</i>) h) Perte de coïncidence i) Système paralysable j) Système non paralysable
---	---



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

7. Les chambres d'ionisation, les compteurs proportionnels et les compteurs Geiger-Müller sont tous des détecteurs de rayonnement à gaz.
- Tracez un graphique illustrant le fonctionnement d'un détecteur à gaz représentant l'amplitude de l'impulsion en fonction de la tension utilisée. Indiquez sur ce graphique les régions qui définissent les différents types de détecteur.
 - Discutez les avantages et inconvénients de ces détecteurs dans le domaine de la radioprotection
 - Donnez un exemple illustrant l'utilisation pour chaque détecteur.
8. Considérant la radioprotection, :
- Décrivez le schéma d'une chambre d'ionisation et les circuits qui y sont associés lorsqu'elle est utilisée avec un électromètre.
 - Décrivez l'utilisation d'une chambre d'ionisation portable lors de mesures en radioprotection.
9. Décrivez :
- Un compteur proportionnel;
 - La capacité de discrimination de l'énergie d'un compteur proportionnel;
 - Comment calibrer un compteur proportionnel en tant que détecteur équivalent au tissu
10. Décrivez :
- Un compteur Geiger-Müller (G-M);
 - Comment faire la distinction entre un rayonnement bêta et un rayonnement gamma à l'aide d'un compteur G-M;
 - Comment déterminer l'intensité de la source d'un émetteur bêta avec un compteur G-M.
11. a) Définissez ou expliquez brièvement :
- Les neutrons lents;
 - La collision élastique; et
 - Le proton de recul.
- b) Décrivez la mesure des neutrons en présence de rayons X ou de rayons gamma.
- c) Décrivez un détecteur au BF_3 utilisé pour la mesure de dose équivalente provenant des neutrons.
12. a) Définissez ou expliquez brièvement :
- L'écart-type et l'erreur-type;
 - La précision et l'exactitude de la mesure; et
 - L'incertitude relative et absolue.
- b) Décrivez l'effet du rayonnement de fond sur la précision des mesures de rayonnement.



13.

- a) Donnez la limite annuelle de dose efficace pour les effets stochastiques recommandée dans la publication 103 de la CIPR pour les expositions au travail et au publique.
- b) Expliquez comment la dose efficace est déterminée pour un corps au complet lorsque l'irradiation est non-uniforme par une source variée de radiation.
- c) Donnez quatre exemples de facteur de pondération des tissus.

14. La Commission canadienne de sûreté nucléaire définit les limites de dose efficaces pour les trois catégories de personnes suivantes :

- (i) les travailleurs du secteur nucléaire
- (ii) les travailleuses du secteur nucléaire enceintes
- (iii) les personnes qui ne travaillent pas dans le secteur nucléaire

- a) Indiquez les limites de dose efficaces pour les trois groupes et comparez-les à la dose d'origine naturelle efficace. Indiquez les périodes durant lesquelles les limites s'appliquent.
- b) Expliquez comment les urgences peuvent avoir une incidence sur les limites de dose.
- c) Quel a été le principal facteur d'exposition au public au cours des 30 dernières années?
- d) Décrivez une campagne visant à réduire le risque de population associé au facteur précisé à la lettre (c) ci-dessus.

15.

- a) La Commission canadienne de sûreté nucléaire précise les limites de dose équivalente de même que les limites de dose efficace. Énumérez les organes ou tissus pour lesquels une limite de dose équivalente existe, donnez la magnitude de la limite de dose équivalente en mSv et la période pour laquelle cette limite s'applique, pour :
 - i. un travailleur du secteur nucléaire;
 - ii. toute autre personne.
- b) Décrivez brièvement les cinq étapes que la Commission canadienne de sûreté nucléaire requiert d'un licencié lorsque le licencié apprend qu'un organe ou tissu peut avoir dépassé une limite de dose applicable.

16. Définissez ou expliquez brièvement :

- | | |
|--|--|
| a) Détriment dans une population | f) <i>Oxygen enhancement ratio (OER)</i> |
| b) Effets stochastiques | g) Cellules souches |
| c) Effet déterministe | h) Charge corporelle |
| d) Transfert d'énergie linéique (TEL, <i>LET</i>) | i) Index thérapeutique |
| e) Efficacité biologique relative (<i>RBE</i>) | j) Radicaux libres. |



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

17. Un fœtus est exposé à une dose de 50 mSv durant la 10e semaine de grossesse. Décrivez l'(es) effet(s) possible(s) de cette exposition et estimez les facteurs de risque associés à chaque effet.
18. Considérez la radioprotection dans une clinique de radiothérapie et définissez ou expliquez brièvement :
- a) Barrière primaire
 - b) Rayonnement de fuite
 - c) Rayonnement diffusé
 - d) Barrière secondaire
 - e) Facteur d'utilisation U
 - f) Charge de travail W
 - g) Facteur d'occupation des locaux T
 - h) Arrêt de faisceau (*beam stopper*)
 - i) Couche d'atténuation au dixième (TVL_{10}) à l'équilibre
 - j) Concept ALARA
19. Une enceinte typique de radio-oncologie, incluant un accélérateur linéaire isocentrique de 6 MV.
- a) Donnez les valeurs typiques de W , T et U , de même que les épaisseurs des barrières primaires et secondaires.
 - b) Expliquez de quelle manière l'épaisseur des barrières est calculée dans NCRP 151.
 - c) Expliquez de quelle manière on a tenu compte du concept ALARA pour la conception de la pièce.
20. Décrivez brièvement pourquoi il est difficile d'obtenir des informations exactes sur les effets biologiques de faibles doses (par ex., 10 mGy) de rayonnements ionisants à faibles TEL sur l'humain, particulièrement si la dose est cumulée sur un laps de temps prolongé.
- 21.
- a) Décrivez les concepts de l'excès de risque absolu (« excess absolute risk, EAR ») et l'excès de risque relatif (« excess relative risk, ERR ») dans CIPR 103.
 - b) Décrivez les étapes dans CIPR 103 utilisées pour aller de EAR à ERR et au facteur de pondération des tissus.



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

22. Définissez ce qui suit :

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| a) Effets précoces | f) Paramètre α du modèle LQ |
| b) Effets tardifs | g) Paramètre β du modèle LQ |
| c) Modèle linéaire-quadratique | h) Repopulation accélérée. |
| d) T_{pot} | i) Réparation des lésions sub-létales |
| e) T_{delay} | j) Effet du débit |

23.

- a) Décrivez l'utilité et les limites du modèle linéaire-quadratique en comparant différents fractionnements de dose dans le temps utilisés en radiothérapie :
- b) Au moyen du modèle linéaire-quadratique, avec $d = \ll \text{dose par fraction} \gg$ et $n = \ll \text{nombre de fractions} \gg$, dérivez l'équation de la dose biologique efficace :

$$\frac{E}{\alpha} = dn \left(1 + \frac{d}{\alpha/\beta} \right)$$

24.

- a) En fonction du modèle linéaire-quadratique, décrivez la gamme du rapport α/β pour les tissus à réponses précoce et tardive et donnez deux exemples de tissus à réponse précoce et deux exemples de tissus à réponse tardive.
- b) Pour ce qui concerne le modèle linéaire-quadratique, définissez et comparez le concept de dose en Gy, et $Gy_{\alpha/\beta}$.
- c) Comparez un schéma posologique classique de 30 fractions de 2 Gy à une fraction par jour, 5 jours par semaine avec celui d'un programme d'hyperfractionnement consistant en 70 fractions de 1,1 Gy administrées au taux de 2 fractions par jour, à 6 heures d'intervalle, 5 jours par semaine. Prenez pour hypothèse que $\alpha/\beta = 2$ pour les effets tardifs et que $\alpha/\beta = 10$ pour les effets précoces sur les tumeurs. Exprimez les résultats en Gy_2 et Gy_{10} et comparez les deux schémas en termes d'impact sur la réponse de la tumeur en fonction d'une réponse tardive normale des tissus



Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

25. Un centre de radiothérapie a décidé de fermer pendant 10 jours ouvrés pour des vacances d'été. Le radio-oncologue est inquiet des effets que cela pourrait avoir sur les résultats de la radiothérapie.
- Au moyen du modèle linéaire-quadratique, donnez l'équation pouvant être utilisée pour mesurer les effets de cette fermeture, incluant une expression pour la prolifération des cellules souches tumorales.
 - Prenez pour hypothèse qu'un lymphome hodgkinien a un T_{pot} de 5 jours et un gliome, un T_{pot} de 30 jours. Calculez le coefficient de réduction de la dose efficace pour chacune de ces tumeurs en termes de Gy_{10} . Prenez comme hypothèse que le fractionnement du lymphome est 1.8 Gy/fraction pour 20 fractions et que le fractionnement pour le gliome est 1.8 Gy/fraction sur 28 fractions. Assumez également que $\alpha=0.3 \text{ Gy}^{-1}$ pour ces deux cas.
 - Expliquez si la fermeture de la clinique est à conseiller pour l'une ou l'autre de ces tumeurs.
26. Définissez ou expliquez brièvement les concepts suivants pour la radiobiologie en oncologie :
- | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| a) Hypoxie radiobiologique | f) Hypofractionnement |
| b) Pourcentage de cellules en phase S | g) Radiosensibilisateur anoxique |
| c) Radioprotecteur | h) Phase S du cycle cellulaire |
| d) Modèle sphéroïde | i) Phase M du cycle cellulaire |
| e) Hyperfractionnement | j) LD_{50} . |
- 27.
- Dessinez un modèle d'une tumeur solide à différentes étapes de sa croissance, montrant les capillaires et les zones d'hypoxie et de nécrose.
 - Quelle est la concentration d'oxygène sous laquelle les cellules sont généralement considérées comme étant radiobiologiquement hypoxiques?
 - Quel est la distance de diffusion de l'oxygène dans les tissus?
 - Décrivez et contrastez l'hypoxie chronique et aiguë.
28. Décrivez les « 4 R » de la radiobiologie et expliquez leur rôle en radiothérapie fractionnée.
29. Les cataractes peuvent être classées comme des effets somatiques tardifs du rayonnement.
- Décrivez comment les cataractes se développent dans le cristallin comme conséquence d'une exposition au rayonnement ionisant.
 - Décrivez la relation dose-temps pour la production d'une cataracte par des rayons X ou des rayons gamma.
 - Décrivez le seuil de formation d'une cataracte et l'effet de la dose totale sur la période de latence pour l'induction d'une cataracte.
 - Comparez l'incidence de la cataracte consécutive à une irradiation par neutrons avec celle observée après une irradiation aux rayons X ou aux rayons gamma.



30.

- a) Décrivez brièvement la structure moléculaire de l'ADN.
- b) Décrivez brièvement l'effet direct et indirect de la radiation sur l'ADN.
- c) En vous référant à CIPR 103, commentez sur le risque de développer un cancer pour les travailleurs sous rayonnement travaillant dans un milieu hospitalier qui reçoivent la limite annuelle permise à chaque année pendant leur carrière de 25 ans? Présentez clairement toutes vos suppositions.

31.

- a) Décrivez les effets génétiques du rayonnement chez l'homme et expliquez l'utilisation du concept de la dose double comme unité de mesure de l'effet du rayonnement.
- b) Énumérez les sources principales de rayonnement naturel et médical ainsi que la dose équivalente par individu qui contribue à la dose reçue par la population en général, tel qu'estimé par NCRP 160.
- c) Quel est l'effet génétique du rayonnement ionisant dans la plage de dose admise pour l'exposition en milieu de travail?

32. Décrivez l'effet du rayonnement ionisant sur l'embryon et le fœtus.

33. Décrivez les effets aigus d'une irradiation corporelle totale et indiquez la dose de rayonnement qui produirait de tels effets.

34.

- a) Décrivez la courbe de survie cellulaire typique et définissez clairement ses paramètres.
- b) À l'aide d'un croquis, décrivez et comparez-les courbes typiques de survie des cellules oxygénées et des cellules hypoxiques irradiées avec des rayons X de 250 kVp.
- c) Quel est le ratio « oxygen enhancement, OER » pour des protons et des neutrons?

35. La publication QUANTEC (Quantitative Analysis of Normal Tissue Effects in the Clinic) est un effort de fournir des tolérances de doses standardisées basées sur des résultats pour une variété d'organes à risque:

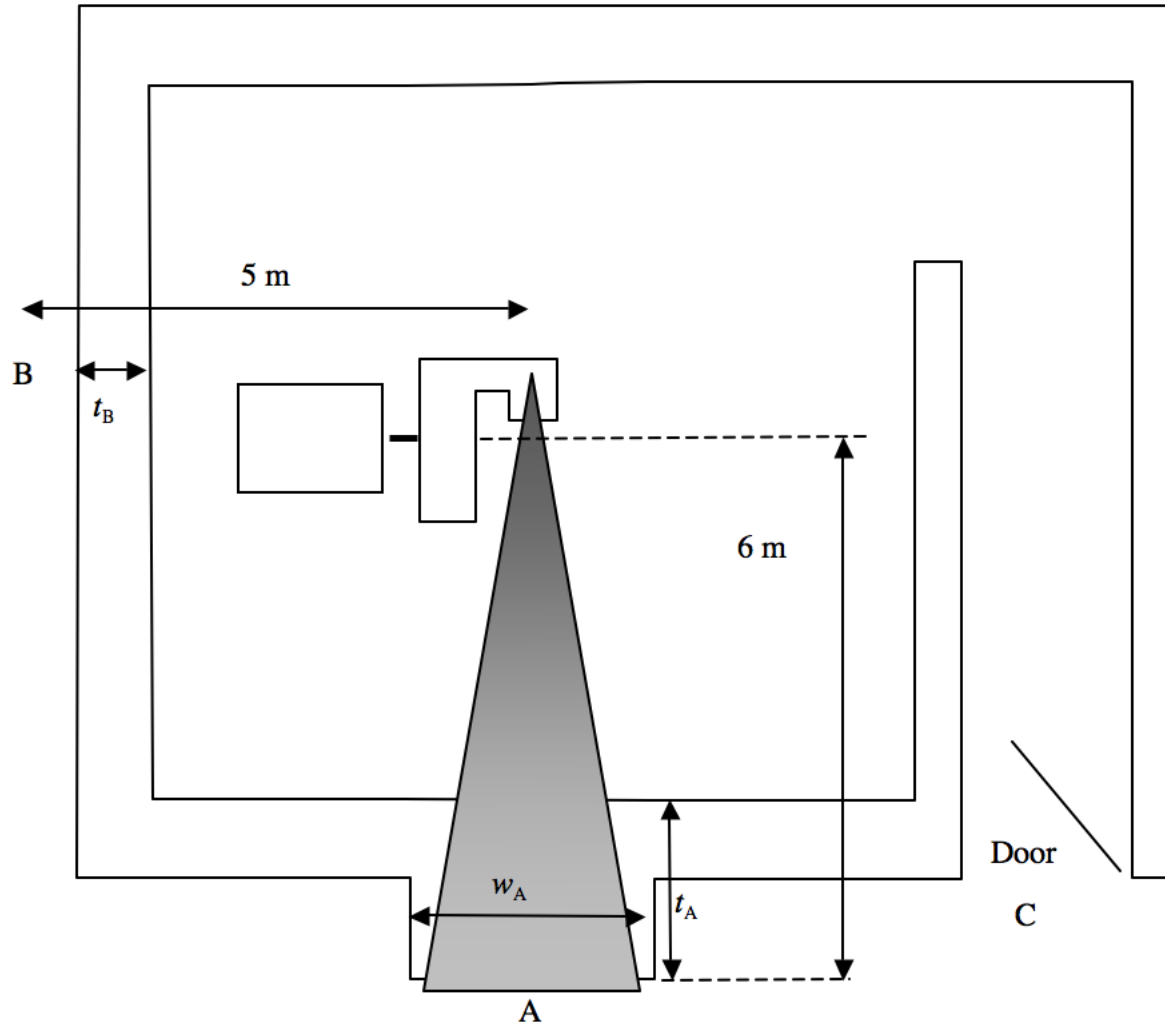
- a) Décrivez la méthodologie générale utilisée par QUANTEC
- b) Décrivez les limites de QUANTEC.
- c) Décrivez les leçons apprises lors de l'effort de publication QUANTEC.



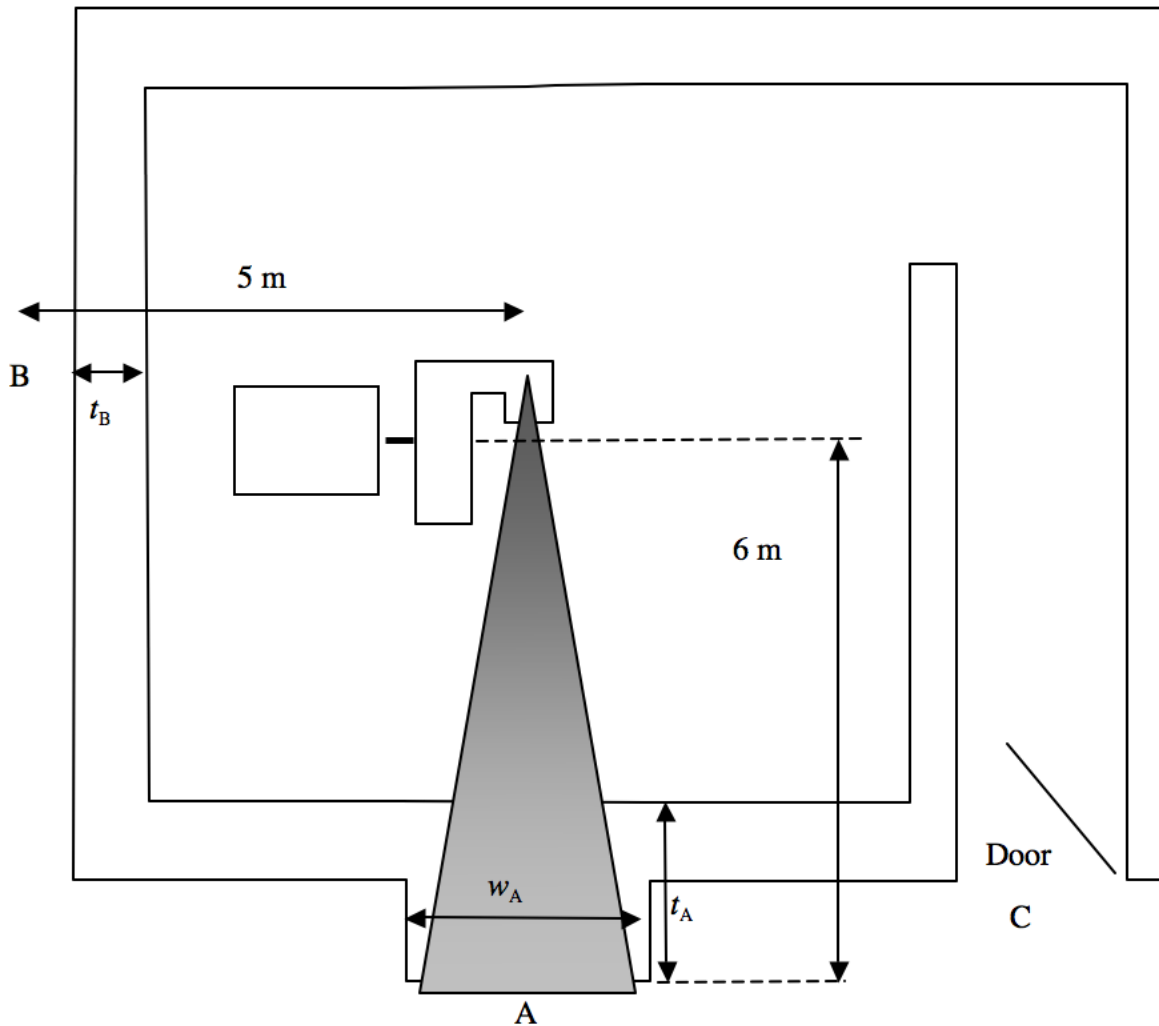
Examen de candidature au CCPM

Édition 11.1

36. Décrivez les trois cas signalés d'irradiation accidentelle avec de nouvelles technologies suivants, tels qu'énoncés dans la publication 112 de la CIPR (Commission Internationale de Protection Radiologique). Pour chaque événement, énumérez au moins deux stratégies de sécurité qui auraient réduit le risque que de tels événements se produisent.
- Cas N° 4 : Calcul des unités moniteur pour le mauvais type de filtre en coin (Épinal).
 - Cas N° 5 : Pannes d'ordinateur et la perte de données dans la planification de traitements de radiothérapie de conformation avec modulation d'intensité de dose (État de New York).
 - Cas N° 9 : Transfert manuel incorrect des paramètres de traitement (Glasgow).
- 37.
- Décrivez comment s'effectue une analyse des modes de défaillance et de leurs effets (FMEA) dans une clinique de radiothérapie.
 - 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):
 - Mauvaise vertèbre utilisée pour la localisation lors d'une procédure guidée par image d'un traitement stéréotaxique de la moelle.
 - Ensemble d'objectifs et de contraintes incorrect utilisé pour l'optimisation du plan de traitement.
 - Bolus manqué une fraction sur vingt
 - 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)?
38. On vous demande de superviser la planification et l'installation d'une salle de traitement pour un accélérateur linéaire de 18 MV qui sera utilisé en mode photon (18 MV) et en mode électron (6 MeV à 21 MeV).
- Discutez des agence(s) de réglementation et quels règlements doivent être considérés et suivis.
 - Décrivez les exigences de permis de la CCSN sur le cycle de vie d'un accélérateur linéaire.
 - Énumérez des considérations de planification qui peuvent être imposés par des techniques spécialisées tel que la radiothérapie intra-opératoire, irradiation cutanée totale par électron et l'irradiation corporelle totale par photon.



39. Un accélérateur linéaire de 18 MV (DSA de 100 cm, taille du champ maximal à l'isocentre de $40 \times 40 \text{ cm}^2$) doit être installé au rez-de-chaussée d'un établissement isolé, tel que montré sur le croquis du plan d'étage (pas à l'échelle). Le statif pivote sur 90 degrés et il n'y a aucune pièce au-dessus de l'accélérateur linéaire. Le poste de contrôle est à l'emplacement A, les bureaux sont à l'emplacement B et toutes les zones adjacentes sont inoccupées.
- Discutez les critères de conception d'une porte de salle de traitement et indiquez clairement les matériaux typiques et l'épaisseur approximative utilisés.
 - Décrivez et identifiez clairement l'emplacement de tous les accessoires de sécurité tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la pièce.
 - Discutez la zone d'inspection de radioprotection et énumérez les appareils à utiliser. Indiquez les valeurs typiques des mesures attendues aux points A, B et C (tant pour une porte ouverte qu'une porte fermée) et indiquez la nature et l'emplacement de tous les panneaux de mise en garde.



40. Un accélérateur linéaire biénergie (6 et 18 MV, DSA de 100 cm, taille du champ maximal l'isocentre de 40x40 cm²) doit être installé au rez-de-chaussée d'un établissement isolé, tel que montré sur le croquis du plan d'étage (pas à l'échelle). Il n'y a aucune pièce au-dessus du linac. Le poste de contrôle est à l'emplacement A, les bureaux sont à l'emplacement B et toutes les zones adjacentes sont inoccupées. Prenez pour hypothèse qu'on traite 20 patients par jour au moyen de RCMI (IMRT) de 6 MV et 10 patients par jour en utilisant les techniques conventionnelles à 18 MV. Au moyen de la méthodologie proposée dans le rapport NCRP 151 et en indiquant clairement toutes les hypothèses :
- Calculez l'épaisseur de la barrière primaire (t_A) au point A pour le béton ordinaire.
 - Calculez l'épaisseur de la barrière secondaire (t_B) au point B pour le béton ordinaire. Assumez que l'épaisseur de la barrière planifiée pour le rayonnement de fuite est suffisante pour également bloquer le rayonnement diffusé (tel que dans NCRP 151).