CANADIAN COLLEGE OF PHYSICISTS IN MEDICINE

LE COLLÈGE CANADIEN DES PHYSICIENS EN MÉDECINE

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

Édition 13.1

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 13.1**

Medical Physics Questions For
Membership Examination
(Edition 13.1)

Questions de physique médicale
pour l'examen d'adhésion des membres
(Édition 13.1)

Copyright © 2025 by the
Canadian College of Physicists
In Medicine

Copyright © 2025 par
Le Collège canadien des
physiciens en médecine

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

Available from the:

Canadian College of
Physicists in Medicine

Distribué par :

Le Collège canadien des
physiciens en médecine

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

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

CANADIAN COLLEGE OF PHYSICISTS IN MEDICINE



LE COLLÈGE CANADIEN DES PHYSICIENS EN MÉDECINE

Examen de candidature au CCPM **Édition 13.1**

AVANT-PROPOS DE LA TREIZIÈME ÉDITION

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

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

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

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

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

Bonne chance à tous les candidats,

Marcus Sonier
Abbotsford, BC, Canada
30 Septembre 2025

CANADIAN COLLEGE OF PHYSICISTS IN MEDICINE

LE COLLÈGE CANADIEN DES PHYSICIENS EN MÉDECINE

Examen de candidature au CCPM **Édition 13.1**

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

D: Résonance magnétique

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

Section 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 %.

PARTIE III RADIO-ONCOLOGIE

1.
   (a) Définir le coefficient d'atténuation linéaire et le coefficient d'absorption d'énergie linéaire pour des faisceaux de photons et décrire la différence entre ces deux coefficients.
   (b) Préparer un tableau mettant en évidence la relation entre les coefficients d'atténuation linéaire, massique, atomique et électronique et indiquer les unités correspondantes de ces coefficients.

2.
   (a) Définir et expliquer le coefficient de transfert d'énergie massique et le coefficient d'absorption d'énergie massique.
   (b) Décrire et expliquer la relation entre ces deux coefficients et le coefficient d'atténuation massique.
   (c) Exprimer le kerma et la dose absorbée en termes de coefficient de transfert d'énergie massique et de coefficient d'absorption d'énergie massique, respectivement. Considérer un faisceau mono-énergétique et un faisceau poly-énergétique.

3.
   (a) Énumérer les principales interactions photon-matière contribuant au coefficient d'atténuation massique d'un photon de rayons X.
   (b) Sur un graphique représentant le numéro atomique Z en fonction du logarithme de l'énergie du photon, tracer deux courbes, l'une donnant une probabilité égale pour l'effet photoélectrique et l'effet Compton et l'autre une probabilité égale pour l'effet Compton et pour la production de paires.

4.
   (a) En considérant les interactions des photons avec la matière, décrire l'effet photo-électrique.
   (b) Définir et dériver le facteur F ("F-factor").

5.
   (a) En considérant les interactions des photons avec la matière, décrire l'effet Compton.
   (b) Décrire la variation de l'énergie cinétique moyenne de l'électron de recul Compton en fonction de l'énergie du photon, lorsque l'énergie du photon varie entre 10 keV et 30 MeV.

6.
   (a) En considérant les interactions des photons avec la matière, décrire la production de paires.
   (b) En utilisant $E^2 - p^2c^2 = invariant$, calculer le seuil d'énergie pour la production de paires.

7. Définir ou expliquer brièvement :
   (a) Rendement de fluorescence
   (b) Effet Auger
   (c) Conversion interne
   (d) Effet Coster-Kronig
   (e) Effet super Coster-Kronig
   (f) Photoélectrons
   (g) Production de triplets
   (h) Photon d'annihilation
   (1) Rayonnement caractéristique
   (j) Diffusion (Rayleigh)

8. Considérer les interactions photon-matière suivantes : effet photo-électrique; diffusion Compton et production de paires.
   a) Pour chacune, indiquer la dépendance du coefficient d'atténuation approprié par rapport à l'énergie du photon $h\nu$ et au numéro atomique Z du milieu.
   b) Pour chacune, décrire brièvement les processus contribuant au transfert d'énergie du photon au milieu à la suite des interactions.

9.
   (a) Énoncer les équations relativistes qui représentent la conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement, et qui sont utilisées dans la dérivation de la relation Compton :

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

   (b) Dériver l'équation de Compton pour l'énergie de l'électron de recul.

10.
   (a) En utilisant la relation de Compton $\lambda' - \lambda = \lambda_c(1 - cos\theta)$, déduire les expressions de l'énergie $h\upsilon'$ du photon diffusé et de l'énergie cinétique T de l'électron de recul.
   (b) Montrer que l'énergie du photon rétrodiffusé est égale à 255 keV pour un photon de haute énergie.

11. Pour un photon d'énergie $h\nu$ = 4 MeV incident sur du plomb (Pb), les coefficients d'atténuation atomique pour l'effet photo-électrique ${}_a\tau$, l'effet Compton ${}_a\sigma$ et la production de paires ${}_a\kappa$ sont : ${}_a\tau$=0,567 x 10^{-24} cm^2/atome; ${}_a\sigma$=7,878x10^{-24} cm^2/atome; et ${}_a\kappa$=5,782x10-24 cm^2/atome.
   En expliquant clairement les étapes du calcul, calculer 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 (utiliser la fraction de rayonnement de freinage g = 0,130 et f_{tr} = 0.675 pour un photon de 4 MeV dans le Pb).

12. Un photon d'énergie $h\nu$ interagit avec le plomb (Pb) :
    (a) Donner la relation générale entre l'énergie $h\nu$ du photon et l'énergie cinétique maximale E_{max} de l'électron libre produit par l'effet photoélectrique, l'effet Compton et la production de paires.
    (b) En supposant que $h\nu = 2$ MeV, calculer E_{max} pour les trois effets.

13. La formule de Klein-Nishina reliant la section efficace différentielle de Compton $d\sigma_c/d\Omega$ avec l'angle de diffusion θ du photon s'exprime comme suit :

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

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) Montrer que pour α=0 et tout θ, et que pour θ=0 et tout α, $d\sigma_c/d\Omega$ se transforme en coefficient de diffusion classique par électron, $d\sigma_c/d\Omega$.
    (b) Montrer que l'intégration de $d\sigma_c/d\Omega$ sur $d\Omega$ a pour résultat $\sigma_o = 66.5 \times 10^{-30}$ m^2.
    (c) Discuter de l'effet de la liaison électronique sur la diffusion Compton pour des photons de faible énergie.
    (d) Esquisser des exemples de sections efficaces de l'angle de diffusion de Compton déterminées par la formule de Klein-Nishina pour 100 kV, 1 MV, 6 MV, 15 MV

14.
    (a) Définir et expliquer les pouvoirs d'arrêt attribués aux collisions et aux pertes radiatives.
    (b) Décrire la différence entre le pouvoir d'arrêt et le transfert d'énergie linéique (TEL ou "*LET*").

15.
    (a) Décrire la dépendance en énergie et en numéro atomique du pouvoir d'arrêt massique par collision S_{coll} pour des électrons avec une énergie entre 10 keV et 100 MeV.
    (b) Décrire la dépendance en énergie et en numéro atomique du pouvoir d'arrêt massique radiatif S_{rad} pour des électrons avec une énergie entre 10 keV à 100 MeV.
    (c) Tracer sur un seul graphique S_{coll} et S_{rad} pour des électrons dans l'eau et le plomb et ayant une énergie entre 10 keV et 100 MeV.

16.
(a) En utilisant les relations entre le pouvoir d'arrêt massique par collision S_{coll}/ρ et le pouvoir d'arrêt massique radiatif S_{rad}/ρ avec le numéro atomique et l'énergie, décrire la conception optimale d'une cible de rayonnement de freinage (*bremsstrahlung*) pour un accélérateur linéaire à haute énergie..
(b) Décrire comment la conception de la cible affecte la qualité (c.-à-d. le rendement en profondeur) du faisceau de rayons X pour une énergie d'électrons incidents donnée
(c) Décrire de quelle manière une cible à plusieurs éléments peut être utilisée pour fournir un faisceau de photons d'un spectre plus désirable.

17. Définir ou expliquer brièvement :
(a) Électrodes de garde
(b) Matériau de paroi équivalent à l'air
(c) Rendement de collection
(d) Effet de tige (*stem effect*)
(e) Capuchon d'équilibre électronique (*build-up cap*)
(f) W pour l'air
(g) Courant de fuite
(h) Coefficient d'étalonnage d'une chambre
(i) Paire d'ions
(j) Recombinaison initiale et générale.

18.
(a) Dessiner schématiquement une chambre d'ionisation à plaques parallèles et une chambre d'ionisation cylindrique, en identifiant clairement leurs composants.
(b) Décrire les applications appropriées pour une chambre d'ionisation à plaques parallèles et une chambre d'ionisation cylindrique

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

20.
(a) Décrire brièvement comment la dosimétrie absolue est réalisée avec une chambre d'ionisation à air libre.
(b) Décrire brièvement comment la dosimétrie absolue est réalisée avec un calorimètre.

21. Définir ou expliquer brièvement
(a) Kerma
(b) Dose absorbée
(c) Exposition
(d) Équilibre électronique
(e) Terma
(f) Rayonnement de freinage(*bremsstrahlung*)
(g) Électrons de conversion
(h) Numéro atomique effectif
(i) Rayons delta.
(j) Fluence

22.

(a) Écrire le kerma et la dose absorbée en termes de fluence d'énergie photonique et des coefficients d'atténuation massique pour un faisceau de photons homogène d'énergie $h\nu$ et pour un spectre de photons hétérogène d'énergie maximale $h\nu_{max}$.
(b) Décrire brièvement la théorie de la cavité de Bragg-Gray et définir clairement les paramètres impliqués.

23.

(a) À l'aide de schémas annotés, comparer un tube à rayons X utilisé à des fins de traitement (orthovoltage) à un tube à rayons X utilisé à des fins de diagnostic, en indiquant clairement les principales différences.
(b) Décrire brièvement les protocoles de contrôle de la qualité pour les appareils d'orthovoltage.

24.

(a) Esquisser le schéma d'un détecteur à diamant et décrire son fonctionnement.
(b) Discuter dans quelles circonstances un détecteur à diamant devrait être utilisé pour des mesures cliniques.
(c) Quels sont les avantages d'un détecteur à diamant par rapport à une chambre d'ionisation cylindrique conventionnelle dans ces conditions ?
(d) Comment un détecteur à diamant se compare-t-il à une diode dans ces conditions ?

25.

(a) Estimer la puissance délivrée à la cible d'un tube à rayons X fonctionnant à 100 kVp, 50 mA, connecté à un redresseur triphasé à 12 impulsions (*3-phase 12-pulse rectified*).
(b) Comparer cette puissance à celle délivrée à la cible d'un linac de 20 MV fonctionnant à 50 pps avec une impulsion de courant électronique d'une durée de 7 μs et une amplitude de 50 mA.
(c) Expliquer les différences dans la puissance délivrée et quelles en sont les conséquences.

26.

(a) Décrire 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 linéaire moderne.
(b) Décrire le processus de collimation de ces faisceaux d'électrons.

27.
(a) Décrire le rôle et les propriétés typiques des filtres égalisateurs utilisés dans les accélérateurs linéaires.
(b) Discuter de quelle manière la conception du filtre égalisateur affecte la qualité (c.-à-d. rendement en profondeur) du faisceau de rayons X pour une énergie des électrons incidents donnée.
(c) Quel est l'impact de la conception du filtre égalisateur sur le débit de dose?

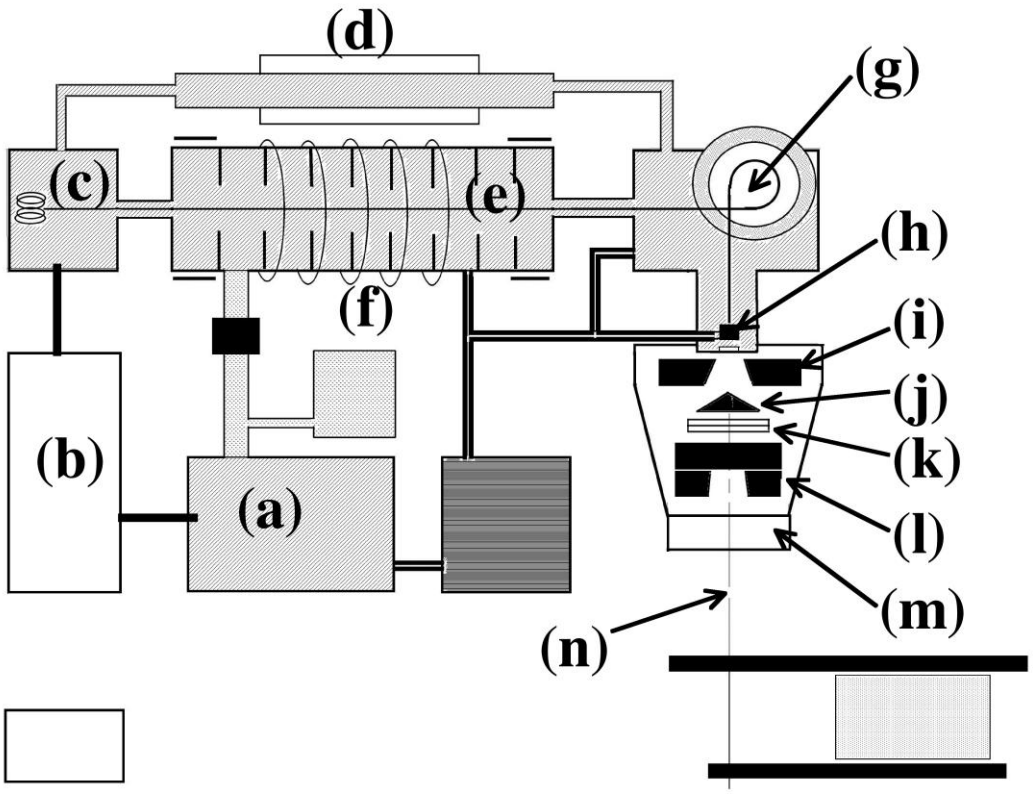
28.
(a) Décrire de quelle manière un électron est accéléré à des énergies de l'ordre du mégaélectronvolt (MeV) dans un accélérateur linéaire moderne.
(b) Décrire de quelle manière un proton est accéléré à des énergies de l'ordre du mégaélectronvolt (MeV) dans un cyclotron moderne.

29. Donner une plage des valeurs et les unités pour les paramètres suivants d'un accélérateur linéaire typique :
(a) Courant de pointe du faisceau
(b) Courant moyen du faisceau
(c) Largeur d'impulsion du modulateur
(d) Courant de pointe du modulateur
(e) Radiofréquence de fonctionnement
(f) Largeur d'impulsion du courant du faisceau
(g) Tension du canon à électron (*electron gun*)
(h) Longueur du guide d'ondes d'accélération
(i) Matériau et épaisseur de la cible dans un accélérateur linéaire de 6 MV
(j) Énergie cinétique de l'électron dans le guide d'ondes

Voir page suivante pour (k)

(k) Considérer le schéma d'un accélérateur linéaire ci-dessous. Faire correspondre les étiquettes vides des principaux composants à la liste suivante :

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



30.
(a) Expliquer pourquoi le débit de dose (cGy/MU) d'un accélérateur linéaire change en fonction de la dimension du champ dans l'air et dans un fantôme.
(b) En négligeant les électrons de contamination, tracer un graphique du facteur de débit relatif dans l'air (S_c) en fonction de la dimension du champ pour des faisceaux de photons typiques de 6 MV et 18 MV.
(c) En négligeant les électrons de contamination, tracer un graphique du facteur de débit relatif dans un fantôme ($S_{c,p}$) en fonction de la taille de champ pour les faisceaux de photons typiques de 6 MV et 18 MV.
(d) Quel est l'effet de l'augmentation de l'énergie des photons sur la relation entre ces facteurs et la taille de champ?
(e) Quel est le défi à relever lors de la mesure du facteur de débit relatif dans l'air pour un faisceau de haute énergie?

31. Définir ou expliquer brièvement les éléments suivants :
(a) Analyse gamma
(b) DTA
(c) Planéité
(d) Symétrie
(e) Seuil de tolérance
(f) Seuil d'intervention
(g) « Picketfence »
(h) Test de Winston-Lutz
(i) Test « Star shot »
(j) Acceptation vs mise en service (acquisition)

32. Les tests d'acceptation d'un accélérateur linéaire avec collimateur multi-lames et imagerie embarquée peuvent être classés en plusieurs catégories. Cinq de ces catégories de tests sont sûreté, mécanique, dosimétrie, imagerie et collimateur multi-lames.
(a) Pour chacune de ces catégories, donner deux exemples de mesure ou de test, de même que la spécification de tolérance associée.
(b) Discuter de la raison d'être de l'utilisation des seuils de tolérance et d'intervention.

33.
(a) Quels sont les paramètres de modèle utilisés par un système de planification de traitement de radiothérapie qui utilise un algorithme de calcul de dose au patient basé sur un modèle ?
(b) Décrire les mesures et l'étendue des données requises pour générer un nouveau modèle de faisceau dans un système de planification de traitement.
(c) De quelle manière sont utilisés les paramètres du modèle de faisceau dans le calcul tridimensionnel de la dose au patient et le calcul des unités moniteurs?

34.
(a) Décrire un formalisme typique pour effectuer une vérification manuelle des unités moniteurs pour un plan de traitement 3D généré par un système de planification de traitement. Considérer un traitement photon avec installation DSA et utiliser des tables de ratio tissus-fantôme (*TPR*). Expliquer tous les paramètres utilisés.
(b) Expliquer les concepts de « taille de champ équivalente » et « distance radiologique effective » dans le contexte des calculs manuels d'unités moniteurs.
(c) Décrire brièvement les points à considérer afin de modifier la méthode de calcul manuelle pour qu'elle s'applique aux champs modulés utilisés en RTMI (*IMRT*).

35.
(a) Décrire en détail un protocole de dosimétrie clinique de référence pour un faisceau de 18 MV d'un accélérateur linéaire médical utilisant une chambre d'ionisation étalonnée au cobalt-60. Inclure une description détaillée de l'équipement nécessaire, de la géométrie et des conditions de mesure, ainsi que du milieu dans lequel la mesure est effectuée.
(b) Donner l'équation utilisée et définir chaque paramètre en détail.
(c) Définir comment la qualité du faisceau est déterminée, y compris une description de l'équipement nécessaire, de la géométrie et des conditions de mesure.

36. Définir les fonctions suivantes utilisées dans le calcul manuel de la dose en radio-oncologie; dessiner la géométrie pertinente et énoncer clairement quels paramètres de faisceau influencent ces fonctions :
(a) Rendement en profondeur (*PDD*)
(b) Rapport tissu-maximum (*TMR*) et Rapport tissu-fantôme (*TPR*)
(c) Facteur hors-axe (*OAR*)
(d) Facteur filtre (*WF*)
(e) Rendement en profondeur d'un faisceau à surface nulle.

37.
(a) Tracer la courbe de rendement en profondeur (*PDD*) pour un faisceau de photons de 6 MV avec filtre égalisateur ayant une grandeur de champ de 10x10 cm^2 à une DSP de 100 cm.
(b) Expliquer pourquoi la courbe de rendement en profondeur change avec la profondeur (pour les profondeurs plus grandes que d_{max}).
(c) Expliquer la dépendance du rendement en profondeur en fonction de l'énergie.
(d) Expliquer la dépendance du rendement en profondeur en fonction de la grandeur du champ.
(e) Expliquer la dépendance du rendement en profondeur en fonction de la distance source-surface (*DSP*).

38.
(a) Pour un grand champ d'un faisceau de 6MV avec filtre égalisateur, expliquer comment et pourquoi le profil du faisceau varie 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. Décrire le comportement de cette dose due aux électrons de contamination en fonction de la profondeur.

39. Décrire les méthodes suivantes de correction d'hétérogénéités dans le calcul de dose pour des faisceaux de photons et donner les avantages et les inconvénients de chacune :
(a) un simple calcul manuel;
(b) un algorithme de calcul de dose basé sur la superposition de *pencil-beam kernel* ;
(c) un algorithme de calcul de dose basé sur la superposition de noyaux de dose ponctuelle (*point-dose kernels*).

40. Des outils de simulation Monte-Carlo (MC) sont disponibles pour le calcul de la dose dans plusieurs systèmes de planification de traitement.
(a) Discuter des avantages d'utiliser la simulation MC pour le calcul de la dose, comparativement à d'autres méthodes.
(b) Expliquer brièvement comment l'historique (ou la trajectoire) d'une particule est calculée à partir d'un ensemble de nombres pseudo-aléatoires.
(c) Expliquer brièvement de quelle manière on obtient une distribution de dose à partir d'un ensemble 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 :

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

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) Décrire la manière dont cette équation peut être utilisée dans un logiciel de simulation Monte-Carlo afin de modéliser une interaction Compton dans un milieu. Discuter du rôle du générateur de nombres aléatoires et du processus d'échantillonnage dans votre description.
(b) Décrire de quelle manière le logiciel déciderait de la trajectoire et de l'énergie d'un électron produit lors de l'interaction.

42. Les distributions de dose calculées à l'aide d'une méthode de simulation Monte-Carlo (MC) sont assujetties au bruit statistique.
    (a) Pourquoi y-a-t-il un bruit statistique dans une distribution de dose calculée par simulation MC?
    (b) Écrire les équations montrant de quelle manière le bruit relatif dépend :
        (i) du nombre d'historiques de particules;
        (ii) de la taille du voxel de la matrice de dose;
        (iii)de la dose comme pourcentage de la dose prescrite; et
        (iv)de la durée de la simulation MC.
    (c) Tracer un histogramme dose-volume cumulatif 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, tracer le DVH qui serait obtenu par une méthode de simulation MC avec un bruit statistique relatif de 10 %.

43. Définir ou expliquer brièvement :
    (a) Énergie cinétique des électrons
    (b) Électrons de contamination
    (c) R_{50} d'un faisceau d'électrons
    (d) Portée pratique des électrons
    (e) Rapport de pouvoir d'arrêt
    (f) Rayonnement de Čerenkov
    (g) Dosimétrie de Fricke
    (h) Rendement radiochimique
    (i) Défaut de chaleur
    (j) Capacité thermique.

44.
    (a) Tracer les rendements en profondeur d'un faisceau typique d'électrons de 10×10 cm^2, avec une DSP de 100 cm pour des énergies cinétiques initiales de 6, 12 et 18 MeV.
    (b) Décrire avec un croquis la forme des distributions d'isodoses pour un faisceau d'électrons de 12 MeV.

45.
    (a) Tracer les rendements en profondeur d'un faisceau d'électrons de 15 MeV pour des tailles de champ de 3x3 cm^2,10x10 cm^2 et 20x20 cm^2. Expliquer les différences ou similitudes de ces trois courbes.
    (b) Décrire brièvement ce qui doit être pris en considération lorsque l'on réduit substantiellement la taille des champs d'électrons.

46.

(a) Décrire le protocole de mesure de la dose absorbée pour un faisceau d'électrons de 18 MeV avec une chambre d'ionisation étalonnée pour la dose.
(b) Donner l'équation utilisée et définir chaque paramètre en détail.
(c) Inclure une description de la géométrie de mesures et du matériau de fantôme approprié.
(d) De quelle manière la qualité du faisceau est-elle spécifiée?

47.

(a) Décrire les principes physiques de base du processus de luminescence stimulée optiquement (*OSL*).
(b) Faire un schéma d'un appareil typique servant aux mesures de OSL. Identifier clairement les composantes.

48. Définir ou expliquer brièvement :

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

49.

(a) Comparer les dosimètres thermoluminescents avec les dosimètres à luminescence stimulée optiquement et mentionner un avantage et un inconvénient pour chacun d'eux.
(b) Décrire l'utilisation de la dosimétrie par thermoluminescence ou de la dosimétrie par luminescence stimulée optiquement pour déterminer de la dose aux patients en radiothérapie externe.
(c) Décrire la méthode d'étalonnage et les manipulations propres à une de ces techniques. Inclure une description de la pertinence des valeurs mesurées lors de la tentative de validation des doses calculées pour un plan de traitement.
(d) Expliquer la pertinence d'utiliser l'imagerie embarquée pour la surveillance de la dose au patient.

50.

(a) Nommer quatre techniques de dosimétrie relative, autres que la dosimétrie par thermoluminescence ou par luminescence stimulée optiquement.
(b) Décrire brièvement leurs principales caractéristiques et applications
(c) Décrire leurs avantages et inconvénients.

51. Différentes approches sont utilisées en curiethérapie interstitielle et intracavitaire.
    (a) Décrire les méthodes de curiethérapie à haut débit de dose (HDR) et de curiethérapie par implant permanent. Pour chaque méthode, expliquer le mécanisme d'administration de la dose et nommer les radio-isotopes couramment utilisés.
    (b) Décrire une application clinique (anatomie et dose typique) pour chaque méthode.
    (c) Expliquer les avantages offerts : par la technique à chargement différé utilisant un projecteur de source lorsque comparée à la technique à chargement différé manuelle; et par la technique à chargement différé manuelle lorsque comparée à la technique d'insertion d'aiguilles radioactives.

52.
    (a) Quelles sont les propriétés d'un radio-isotope idéal pour la curiethérapie?
    (b) Décrire deux sources de curiethérapie dont une fréquemment utilisée dans les projecteurs de sources et une utilisée pour les techniques à chargement manuel. Inclure les paramètres physiques de construction et les paramètres de rayonnement tels que la demi-vie, l'activité typique, l'énergie et la constante de débit du kerma dans l'air.
    (c) Décrire une utilisation clinique typique pour chaque source. Spécifier l'anatomie traitée, la méthode de planification et les considérations de sécurité pour chacune.

53.
    (a) Décrire une méthode pratique d'étalonnage d'une source de curiethérapie à haut débit de dose (HDR) après qu'elle ait été installée dans un projecteur de source. Spécifier l'équipement requis.
    (b) Expliquer comment est déterminée une distribution de dose absorbée pour une source de curiethérapie typique.

54.
    (a) Quelles modalités d'imagerie sont recommandées pour la planification en curiethérapie, et laquelle est considérée comme la référence (*gold standard*)?
    (b) Quels sont les schémas typiques de fractionnement de dose pour la radiothérapie externe et la curiethérapie dans le traitement du col de l'utérus? Discuter d'un formalisme permettant de combiner et d'évaluer la dosimétrie globale.
    (c) Discuter de l'impact du temps total de traitement (*overall treatment time* – OTT) sur le contrôle local du cancer du col de l'utérus traité par radiothérapie externe + curiethérapie et formuler des recommandations générales pour optimiser ce temps.

55. Dans le cadre du traitement d'un cancer précoce de la prostate par implant permanent :
    (a) Décrire brièvement les étapes nécessaires au traitement du patient depuis l'évaluation initiale jusqu'à l'évaluation du traitement après l'implantation.
    (b) Décrire les étapes et outils nécessaires aux procédures d'assurance de la qualité des grains radioactifs avant l'implantation.
    (c) Décrire les étapes et outils nécessaires aux procédures d'assurance de la qualité du système d'ultrasons transrectal utilisé pour guider l'implantation.

56. Dans le contexte du calcul de la dose en curiethérapie :
    (a) Décrire le formalisme du calcul de la dose couramment utilisé en fournissant des définitions et des explications pour toutes les quantités.
    (b) Décrire les conditions sous lesquelles ce formalisme peut échouer à produire un calcul de dose précis.

57. Dans le contexte de la curiethérapie HDR de la prostate
    (a) Décrire la planification du traitement.
    (b) Décrire de quelle manière le traitement est administré.
    (c) Décrire quatre différences dans les considérations de radioprotection pour le traitement de la prostate à haut débit de dose par rapport au traitement par implant permanent.
    (d) Décrire les différences dans les critères d'admissibilité et de sélection pour les patients traités par curiethérapie à haut débit de dose par rapport aux patients traités par implant permanent.

58.
    (a) Décrire en détail un traitement standard de radiothérapie du sein ou de la paroi thoracique standard incluant les ganglions lymphatiques régionaux. Inclure 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.
    (b) Donner deux fractionnements couramment utilisés

59. Dans le contexte du traitement du cancer de la prostate par radiothérapie externe :
    (a) Définir les volumes tumoraux et les volumes cibles en utilisant la terminologie de l'ICRU-50 et de l'ICRU-62 et définir spécifiquement ce à quoi ils font référence pour la prostate.
    (b) Donner deux fractionnements couramment utilisés.
    (c) Décrire une technique de traitement moderne typique en incluant la simulation, la planification de traitement et l'administration du traitement.
    (d) Décrire trois méthodes possibles d'évaluation de la position du patient au traitement et décrire spécifiquement l'utilisation faite de ces méthodes lors du traitement de la prostate.
    (e) Nommer deux organes à risque. Pour chacun d'eux, indiquer les doses de tolérance et la toxicité associée (indiquer les sources (institutionnelles, essais cliniques, littérature) utilisées pour obtenir ces valeurs).

60. Selon l'ICRU, le volume cible de planification (PTV) est un concept géométrique qui assure que la dose prescrite soit correctement administrée au volume cible clinique (CTV). Différentes approches ont été proposées pour définir la marge entre le CTV et le PTV. Une approche basée sur les distributions de probabilités est de distinguer les erreurs aléatoires et systématiques qui contribuent aux déviations géométriques. Lorsque cette approche est utilisée, l'équation couramment utilisée pour définir la marge du PTV est :

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

où Σ est l'écart-type des erreurs systématiques et σ représente l'écart-type des erreurs aléatoires. Cette équation assure une dose minimale au CTV de 95% de la dose de prescription chez 90% des patients en assumant que la largeur de la pénombre est de 3.2 mm.

    (a) Un certain nombre de simplifications sont utilisées dans l'élaboration de ce modèle. Discuter brièvement de quatre d'entre elles.
    (b) Décrire comment une distribution de dose est affectée par des erreurs aléatoires et systématiques.
    (c) Pour les traitements de tumeurs intracrâniennes (ex. cerveau), énumérer trois sources de déviations géométriques et discuter brièvement de leur contribution à Σ et à σ.
    (d) Expliquer brièvement pourquoi cette équation ne s'applique pas à la détermination d'une marge prévisionnelle des organes à risque (PRV).

61.

(a) Donner la justification pour procéder à une irradiation corporelle totale (ICT, *TBI*) avant une transplantation de moelle osseuse dans un cas de leucémie.
(b) Décrire deux différentes techniques d'ICT qui utilisent un accélérateur linéaire.
(c) Quel est le fractionnement habituellement donné et quelles sont deux contraintes dosimétriques pour les organes à risque?
(d) Décrire les problèmes médicaux rencontrés durant ou après une ICT,
(e) Décrire les avantages et les inconvénients théoriques à l'administration de la dose en une seule fraction comparée à l'administration en fractions multiples.
(f) Décrire brièvement les mesures qui doivent être effectuées sur un accélérateur linéaire conventionnel pour pouvoir l'utiliser lors de traitements d'ICT.

62.

(a) Décrire le fondement de la radiothérapie adaptative.
(b) Identifier deux types de cancers qui peuvent bénéficier de la radiothérapie adaptative et expliquer les raisons justifiant son utilisation
(c) Décrire deux différentes méthodes de radiothérapie adaptative.
(d) Discuter brièvement de deux désavantages d'utiliser la radiothérapie adaptative.

63.

(a) Indiquer deux types de cancers qui peuvent bénéficier de l'utilisation de la gestion du mouvement respiratoire et expliquer ensuite les raisons justifiant son utilisation.
(b) Décrire deux méthodes de traitement qui utilisent la gestion du mouvement respiratoire.
(c) Expliquer l'impact de ces méthodes sur la préparation du patient, le protocole de tomodensitométrie et la planification du traitement

64.

(a) Décrire 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 (TSEI).
(b) Décrire une technique de traitement actuellement employée pour l'irradiation cutanée totale par électrons.
(c) Donner les doses et le fractionnement habituellement utilisés.

65.
(a) Énumérer trois sites de maladies crâniennes ou indications pour lesquelles la radiochirurgie stéréotaxique (SRS) est le traitement de choix. Quels sont la dose totale et le fractionnement typiques pour chacune d'elles?
(b) Énumérer trois sites de maladies extra-crâniennes ou indications pour lesquelles la radiochirurgie corporelle stéréotaxique (SBRT/SABR) est le traitement de choix. Quels sont la dose totale et le fractionnement typiques pour chacune d'elles?
(c) Décrire les avantages et les inconvénients d'utiliser une technique stéréotaxique (SRS/SBRT) versus un traitement conventionnel.
(d) Comparer les marges requises lors d'un traitement stéréotaxique versus un traitement conventionnel et décrire les techniques employées afin de réduire les marges en stéréotaxie (SRS/SBRT).

66.
(a) Décrire brièvement trois plateformes majeures pour réaliser des traitements de radiochirurgie stéréotaxique et/ou de radiochirurgie corporelle stéréotaxique (SBRT/SABR).
(b) Comment les exigences de mise en service et d'assurance qualité d'un accélérateur linéaire utilisé pour la radiochirurgie stéréotaxique varient par rapport à un linac utilisé pour des traitements conventionnels?

67. Décrire brièvement le fondement de la radiothérapie hélicoïdale (Radixact [Tomotherapy], Halcyon) et expliquer de quelle manière la modulation de l'intensité est obtenue dans l'ensemble du volume cible.
(a) Faire un croquis et décrire les principales composantes d'un appareil de radiothérapie hélicoïdale.
(b) Décrire deux problèmes liés à la dosimétrie d'un faisceau pouvant être plus difficiles à résoudre avec un appareil de radiothérapie hélicoïdale qu'avec un accélérateur linéaire conventionnel.
(c) Discuter d'un site de traitement pour lequel la radiothérapie hélicoïdale présente un avantage certain par rapport à un accélérateur linéaire conventionnel.

68.
(a) Justifier l'utilisation des protons pour le traitement du cancer.
(b) Tracer la courbe de rendement en profondeur d'un faisceau de protons de 120 MeV. Montrer de quelle manière on peut combiner des faisceaux modulés multiples pour produire une distribution de dose en profondeur cliniquement plus utile.
(c) Décrire la plage d'énergies appropriée pour un traitement aux protons.
(d) Décrire 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.
(a) Discuter de la raison d'être de l'utilisation de la chimiothérapie dans le traitement du cancer.
(b) Donner deux exemples de types de cancers qui reçoivent de la chimio et de la radiothérapie et discuter de la façon dont ces protocoles de traitement ont été adoptés en mentionnant les études pertinentes.
(c) Quelles sont les considérations à prendre en compte lors de la mise en œuvre d'un protocole de traitement par chimio radiothérapie ?

70. Définir ou expliquer ce qui suit à l'aide de croquis, s'il y a lieu :
(a) 4DCT
(b) Tomodensitomètre à faisceau conique (*CBCT*)
(c) Nombre CT vs densité électronique
(d) Radiographie reconstruite numériquement (*DRR*)
(e) Beam's-eye-view (*BEV*)
(f) Radiothérapie guidée par la surface (*SGRT*)

71. Fusion, recalage et déformation de modalités d'imagerie
(a) Décrire trois utilisations de la fusion d'images en radiothérapie.
(b) Discuter brièvement comment la fusion d'images peut avoir un impact sur la qualité des traitements
(c) Discuter brièvement les fondements de la fusion déformable comparativement à la fusion rigide.

72.
(a) Expliquer le principe et les avantages de la synchronisation respiratoire (*gating*) en radiothérapie externe.
(b) Décrire les techniques de suivi tumoral (*tumor tracking*) et expliquer en quoi elles diffèrent de la synchronisation respiratoire.
(c) Donner une limitation pour chacune de ces techniques.

73. Comparer 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 à 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) Décrire un système d'imagerie TEP/TDM typique:
(b) Décrire le principal radiotraceur utilisé, son comportement biologique de base associé à l'imagerie TEP et son applicabilité à l'imagerie oncologique.
(c) Décrire 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. Considérer la planification inverse pour atteindre le faisceau avec une fluence optimale lors de la radiothérapie de conformation avec modulation de dose (RCMI/ « IMRT » ou «VMAT»), expliquer :
(a) Fonctions de coût ("objective functions")
(b) objectifs de dose
(c) contraintes de dose
(d) méthodes d'optimisation non-stochastique typiques
(e) méthodes d'optimisation stochastique typiques

76. Décrire 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. Comparer les avantages et les inconvénients :
(a) du collimateur multi-lames statique ou segmenté (*SMLC* ou « *step and shoot* »),
(b) du collimateur multi-lames dynamique (*DMLC* ou « *sliding window* »)
(c) de la radiothérapie de conformation avec modulation d'intensité de dose rotationnelle (aussi nommée « arc thérapie dynamique avec modulation d'intensité (*VMAT*) »).

77. Décrire les techniques suivantes pour l'assurance de la qualité des plans de traitement de patient en tenant compte des avantages et des inconvénients
(a) mesures sur fantôme (avec système de chambre(s) d'ionisation/film(s)),
(b) chambres d'ionisation bidimensionnelles ou matrices de diode,
(c) système d'imagerie portale électronique (EPID)
(d) validations indépendantes des unités moniteurs (« *MU check* »).

78. Comment fonctionne un système informatique en oncologie (OIS) en tant qu'élément central du fonctionnement d'une clinique de radio-oncologie ?

    Expliquer la raison d'être et l'utilisation des éléments suivants:
    (a) Pare-feu
    (b) Checksum
    (c) DICOM
    (d) PACS

79.
    (a) Justifier l'utilisation de l'orthovoltage plutôt que des électrons pour certains traitements de radiothérapie.
    (b) Tracer les courbes de rendement en profondeur pour 100 kVp et 270 kVp en supposant DFP = 30 cm et une filtration appropriée pour chaque faisceau.
    (c) Décrire les principaux sites de traitement où les faisceaux d'orthovoltage sont habituellement considérés.
    (d) Décrire brièvement le protocole de mesure des doses absolues dans un faisceau de photons orthovoltage à l'aide d'une chambre à ionisation calibrée. Présenter les équations appropriées et définir les termes.

80. Il y a plusieurs systèmes basés sur des TDM volumétriques utilisés pour les traitements de radiothérapie guidés par l'imagerie (IGRT). Ceux-ci incluent les tomodensitomètres à faisceau conique kV, à faisceau en éventail kV et à faisceau en éventail MV.
    (a) Pour un scan abdominal standard, fournir des valeurs de doses approximatives pour chaque modalité en précisant la mesure dosimétrique utilisée. Expliquer brièvement la raison pour laquelle on observe des différences entre les modalités
    (b) Expliquer brièvement pourquoi on retrouve des différences en résolution spatiale et en contraste entre les différentes modalités. La réponse doit inclure au moins trois raisons pour les différences de résolution spatiale et trois raisons pour les différences de contraste.
    (c) Discuter brièvement des différences dans la susceptibilité au mouvement et l'effet d'artefact de mouvement entre les différentes modalités.

81.
    (a) Expliquer les différentes phases d'un essai clinique.
    (b) Quel est le rôle du physicien médical dans un essai clinique en radiothérapie?
    (c) Nommer deux essais cliniques pour le cancer du poumon.

PARTIE IV RADIO-ONCOLOGIE

1. Définir ou expliquer brièvement :
   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
   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) Décrire le concept de transfert linéique d'énergie (TLE, *LET*) et indiquer ses unités.
   (b) Comment le TLE est-il lié à l'efficacité biologique ?
   (c) Comment le TLE varie-t-il en fonction du type et de l'énergie des particules chargées ? Donner quelques exemples.
   (d) Comment le TLE varie-t-il avec la profondeur dans un milieu dans lequel des particules sont ralenties ?

3.
   (a) En considérant le modèle linéaire quadratique, décrire l'effet du transfert linéaire d'énergie (TLE) sur la courbe de survie cellulaire.
   (b) Par rapport à la courbe de survie cellulaire, décrire la relation entre le TLE et l'efficacité biologique relative (EBR).

4.
   (a) Définir l'« *oxygen enhancement ratio* » (*OER*) et expliquer 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) Tracer l'OER en fonction du TLE (*LET*).

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

6. Considérant la détection de la radiation, définir ou expliquer brièvement :
   (a) Pic photoélectrique
   (b) Dynode
   (c) Signal de saturation
   (d) Front Compton
   (e) Avalanche électronique
   (f) Charge d'espace
   (g) Extinction (*quenching*)
   (h) Perte de coïncidence
   (i) Système paralysable
   (j) Système non paralysable

7. Les chambres d'ionisation, les compteurs proportionnels et les compteurs Geiger-Müller sont tous des détecteurs de rayonnement à gaz.
   (a) Tracer un graphique illustrant le fonctionnement d'un détecteur à gaz représentant l'amplitude de l'impulsion en fonction de la tension utilisée. Indiquer sur ce graphique les régions qui définissent les différents types de détecteur.
   (b) Discuter les avantages et inconvénients de ces détecteurs dans le domaine de la radioprotection
   (c) Donner un exemple d'utilisation pour chaque détecteur (i.e Les chambres d'ionisation, les compteurs proportionnels et les compteurs Geiger-Müller)

8. Considérant la radioprotection, :
   (a) Dessiner un schéma montrant la conception d'une chambre d'ionisation et les circuits qui y sont associés lorsqu'elle est utilisée avec un électromètre. Identifier les composants principaux et décrire brièvement leur fonction.
   (b) Décrire l'utilisation d'une chambre d'ionisation portable lors de mesures de contrôle radiologique de radioprotection pour la vérification du blindage d'un accélérateur linéaire.

9. Décrire :
   (a) Un compteur proportionnel;
   (b) La capacité de discrimination de l'énergie d'un compteur proportionnel;
   (c) Comment calibrer un compteur proportionnel en tant que détecteur équivalent au tissu

10. Décrire :
    (a) Un compteur Geiger-Müller (G-M);
    (b) Comment faire la distinction entre un rayonnement bêta et un rayonnement gamma à l'aide d'un compteur G-M;
    (c) Comment déterminer l'intensité de la source d'un émetteur bêta avec un compteur G-M.

11.
(a) Considérant les interactions des neutrons; définir ou expliquer brièvement :
(i) Les neutrons lents;
(ii) La collision élastique; et
(iii) Le proton de recul.
(b) Décrire deux façons de mesurer des neutrons en présence de rayons X ou de rayons gamma
(c) En ce qui concerne la mesure des neutrons à l'aide d'un détecteur BF_3, définir ou expliquer brièvement :
(i) Les interactions des neutrons thermiques avec le BF_3
(ii) Les caractéristiques physiques de conception d'un détecteur BF_3
(iii)Une méthode pour mesurer la composante neutronique rapide d'un champ de neutrons.
(iv)La façon de rapporter le débit de dose équivalent d'un champ de neutrons.

12. Dans le cadre des mesures de radioprotection :
(a) Définir ou expliquer brièvement :
(i) L'écart-type et l'erreur-type;
(ii) La précision et l'exactitude de la mesure;
(iii) L'incertitude relative et absolue.
(b) Décrire l'effet du rayonnement de fond sur la précision des mesures de rayonnement.

13. Donner la limite annuelle de dose efficace pour les effets stochastiques recommandée par la publication 103 de la CIPR pour les expositions professionnelles et publiques.
(a) Expliquer comment la dose efficace est déterminée lorsque le corps entier est irradié non-uniformément par une source de radiation mixte.
(b) Donner 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) Indiquer les limites de dose efficace pour les trois groupes et les comparer à la dose efficace d'origine naturelle. Indiquer les périodes durant lesquelles les limites s'appliquent.
(b) Expliquer comment les situations d'urgence ont une incidence sur les limites de dose.
(c) Quel a été le principal facteur d'augmentation de l'exposition du public au cours des 30 dernières années?
(d) Décrire trois principes qui peuvent être suivis pour réduire le risque pour la population, tant pour les TSN que pour le public.

15.
(a) La Commission canadienne de sûreté nucléaire précise les limites de dose équivalente de même que les limites de dose efficace. Énumérer les organes ou tissus pour lesquels une limite de dose équivalente existe, donner 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) Décrire brièvement les cinq étapes que la Commission canadienne de sûreté nucléaire requiert d'un détenteur de permis lorsque celui-ci apprend qu'un organe ou tissu peut avoir dépassé une limite de dose applicable.

16. Définir ou expliquer brièvement :
(a) Détriment dans une population
(b) Effets stochastiques
(c) Effet déterministe
(d) Transfert linéique d'énergie (TLE, *LET*)
(e) Efficacité biologique relative (*RBE*)
(f) *Oxygen enhancement ratio* (*OER*)
(g) Cellules souches cancéreuses
(h) Charge corporelle
(i) Index thérapeutique
(j) Radicaux libres

17. Les dispositifs cardiaques implantables (DCI) sont considérés avec précaution en radiothérapie.
(a) Quelles sont les caractéristiques d'un DCI ou les informations sur le patient qui sont pertinentes dans l'élaboration d'un plan de traitement?
(b) Comment la radiation affecte-t-elle ces dispositifs et quels sont les risques potentiels pour le patient?
(c) Quelle est la dose de tolérance typique pour un DCI?
(d) Quelles sont les stratégies que l'on peut utiliser pour traiter sécuritairement en présence d'un DCI?

18. Considérer la radioprotection dans une clinique de radiothérapie et définir ou expliquer 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 T
(h) Arrêt de faisceau (*beam stopper*)
(i) Couche d'atténuation au dixième (TVL_e) à l'équilibre
(j) Principe ALARA

19. Considérer une salle de traitement typique de radio-oncologie incluant un accélérateur linéaire isocentrique de 6 MV.
    (a) Donner les valeurs typiques de *W*, *T* et *U*, de même que les épaisseurs des barrières primaires et secondaires.
    (b) Expliquer de quelle manière l'épaisseur des barrières est calculée dans le NCRP-151.
    (c) Expliquer de quelle manière on a tenu compte du concept ALARA pour la conception de la pièce.

20. Décrire 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) Décrire les concepts de l'excès de risque absolu (« excess absolute risk, EAR ») et l'excès de risque relatif (« excess relative risk, ERR ») dans la publication 103 de la CIPR.
    (b) Décrire les étapes utilisées par la CIPR 103 pour passer des concepts de EAR et de ERR aux facteurs de pondération des tissus.

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

23.
    (a) Décrire l'utilité et les limites du modèle linéaire-quadratique en comparant différents fractionnements de dose dans le temps utilisé en radiothérapie :
    (b) Au moyen du modèle linéaire-quadratique, avec *d* = « *dose par fraction* » et *n* = « *nombre de fractions*», décrire l'équation de la dose biologique efficace :

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

24.

(a) En fonction du modèle linéaire-quadratique, décrire la gamme du rapport α/β pour les tissus à réponses précoce et tardive et donner deux exemples de tissus à réponse précoce et deux exemples de tissus à réponse tardive.

(b) En ce qui concerne le modèle linéaire-quadratique, définir et comparer le concept de dose en Gy, et $Gy_{\alpha/\beta}$.

(c) Comparer un fractionnement 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 en 2 fractions par jour, à 6 heures d'intervalle, 5 jours par semaine. Prendre pour hypothèse que $\alpha/\beta = 2$ pour les effets tardifs et que $\alpha/\beta = 10$ pour les effets précoces sur les tumeurs. Exprimer les résultats en Gy_2 et Gy_{10} et comparer les deux fractionnements en termes d'impact sur la réponse de la tumeur en fonction d'une réponse tardive normale des tissus.

25. Un centre de radiothérapie a décidé de fermer pendant 10 jours ouvrables pour des vacances d'été. Le radio-oncologue est inquiet des effets que cela pourrait avoir sur les résultats de la radiothérapie.

(a) Au moyen du modèle linéaire-quadratique, donner l'équation pouvant être utilisée pour mesurer les effets de cette fermeture, incluant une expression pour la prolifération des cellules souches tumorales.

(b) Prendre pour hypothèse qu'un lymphome hodgkinien a un T_{pot} de 5 jours et un gliome, un T_{pot} de 30 jours. Calculer le coefficient de réduction de la dose efficace pour chacune de ces tumeurs en termes de Gy_{10}. Prendre 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. Assumer également que α=0.3 Gy^{-1} pour ces deux cas.

(c) Expliquer si la fermeture de la clinique est à conseiller pour l'une ou l'autre de ces tumeurs.

26. Définir ou expliquer brièvement les concepts suivants pour la radiobiologie en oncologie :

(a) Hypoxie radiobiologique
(b) Pourcentage de cellules en phase S
(c) Radioprotecteur
(d) Modèle sphéroide
(e) Hyperfractionnement
(f) Hypofractionnement
(g) Radiosensibilisateur anoxique
(h) Phase S du cycle cellulaire
(i) Phase M du cycle cellulaire
(j) LD_{50}.

27.
(a) Dessiner un modèle d'une tumeur solide à différentes étapes de sa croissance, montrant les capillaires et les zones d'hypoxie et de nécrose.
(b) Quelle est la concentration d'oxygène sous laquelle les cellules sont généralement considérées comme étant radiobiologiquement hypoxiques?
(c) Quel est la distance de diffusion de l'oxygène dans les tissus?
(d) Décrire et contraster l'hypoxie chronique et aigue.

28. Décrire les « 4 R » de la radiobiologie et expliquer leur rôle en radiothérapie fractionnée.

29. Les cataractes peuvent être classées comme des effets somatiques tardifs du rayonnement.
(a) Décrire comment les cataractes se développent dans le cristallin comme conséquence d'une exposition au rayonnement ionisant.
(b) Décrire la relation dose-temps pour la production d'une cataracte par des rayons X ou des rayons gamma.
(c) Décrire 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.
(d) Comparer 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) Décrire brièvement la structure moléculaire de l'ADN.
(b) Décrire brièvement l'effet direct et indirect de la radiation sur l'ADN.
(c) En vous référant à la CIPR 103, commenter 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? Présenter clairement toutes vos suppositions.

31.
(a) Décrire les effets génétiques du rayonnement chez l'être humain et expliquer l'utilisation du concept du doublement de la dose (*doubling dose*) comme unité de mesure de l'effet du rayonnement.
(b) Énumérer 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 le 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. Décrire l'effet du rayonnement ionisant sur l'embryon et le fœtus durant les différentes étapes de la grossesse.

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

34.
    (a) Décrire la courbe de survie cellulaire typique et définir clairement ses paramètres.
    (b) À l'aide d'un croquis, décrire et comparer 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.
    (a) Décrire quatre mesures de sécurité requises dans un programme de curiethérapie HDR utilisant l'Ir-192.
    (b) Une source HDR ne parvient pas à se rétracter à sa position blindée pendant un traitement. Décrire le protocole d'intervention d'urgence à suivre, incluant les actions du personnel, la prise en charge du patient et le rapport réglementaire à soumettre après l'incident.

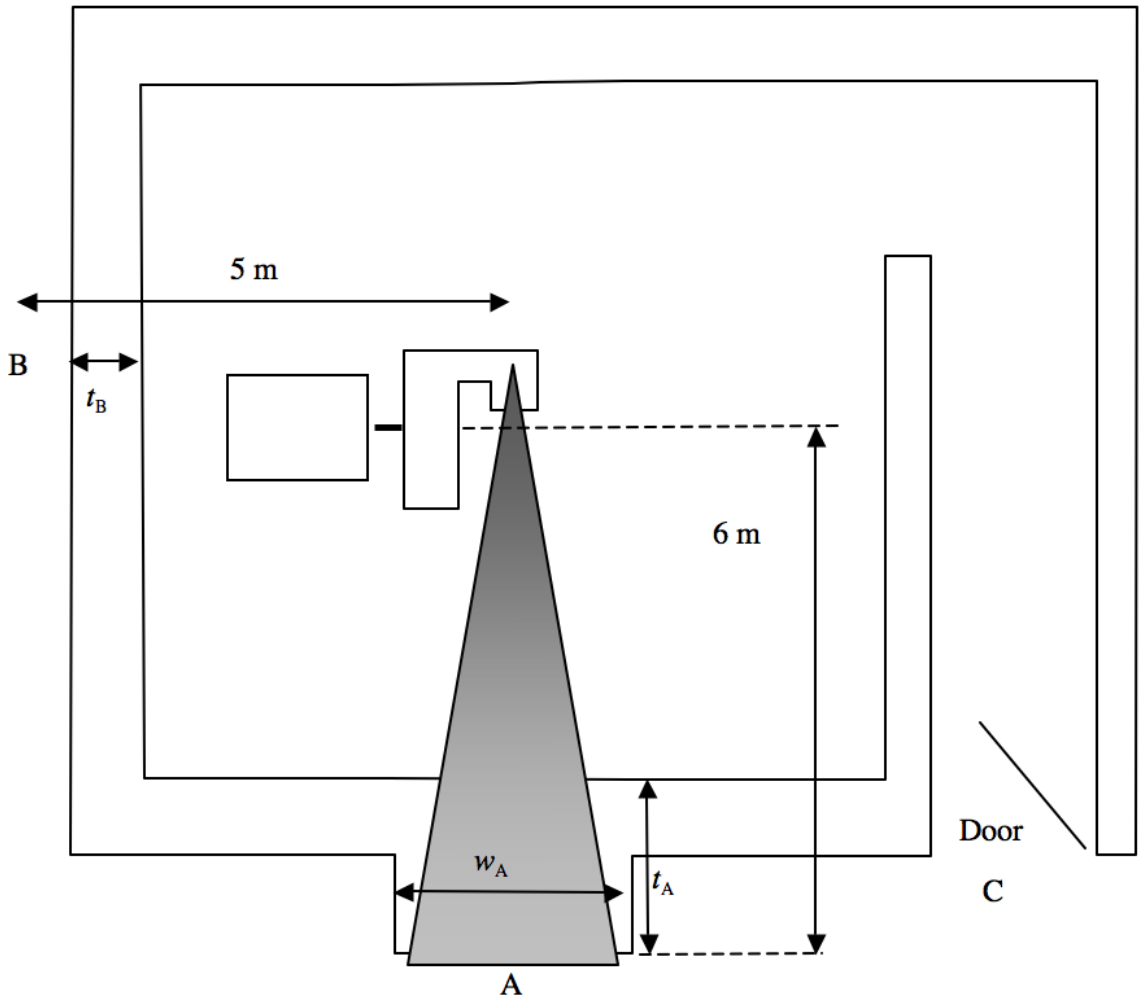
36.
    (a) Identifier les organismes réglementaires qui supervisent l'utilisation, la possession et le transport des sources de curiethérapie HDR au Canada. Décrire brièvement leurs principaux rôles.
    (b) Décrire les exigences en matière d'emballage et d'étiquetage pour le transport d'une source HDR d'Ir-192.
    (c) Discuter de la documentation et des mesures administratives requises pour l'expédition d'une source HDR.

37. La publication QUANTEC (Quantitative Analysis of Normal Tissue Effects in the Clinic) est un effort pour fournir des tolérances de doses standardisées basées sur des résultats pour une variété d'organes à risque :
    (a) Décrire la méthodologie générale utilisée par QUANTEC
    (b) Décrire les limites de QUANTEC.
    (c) Décrire les leçons apprises lors de l'effort de publication QUANTEC.

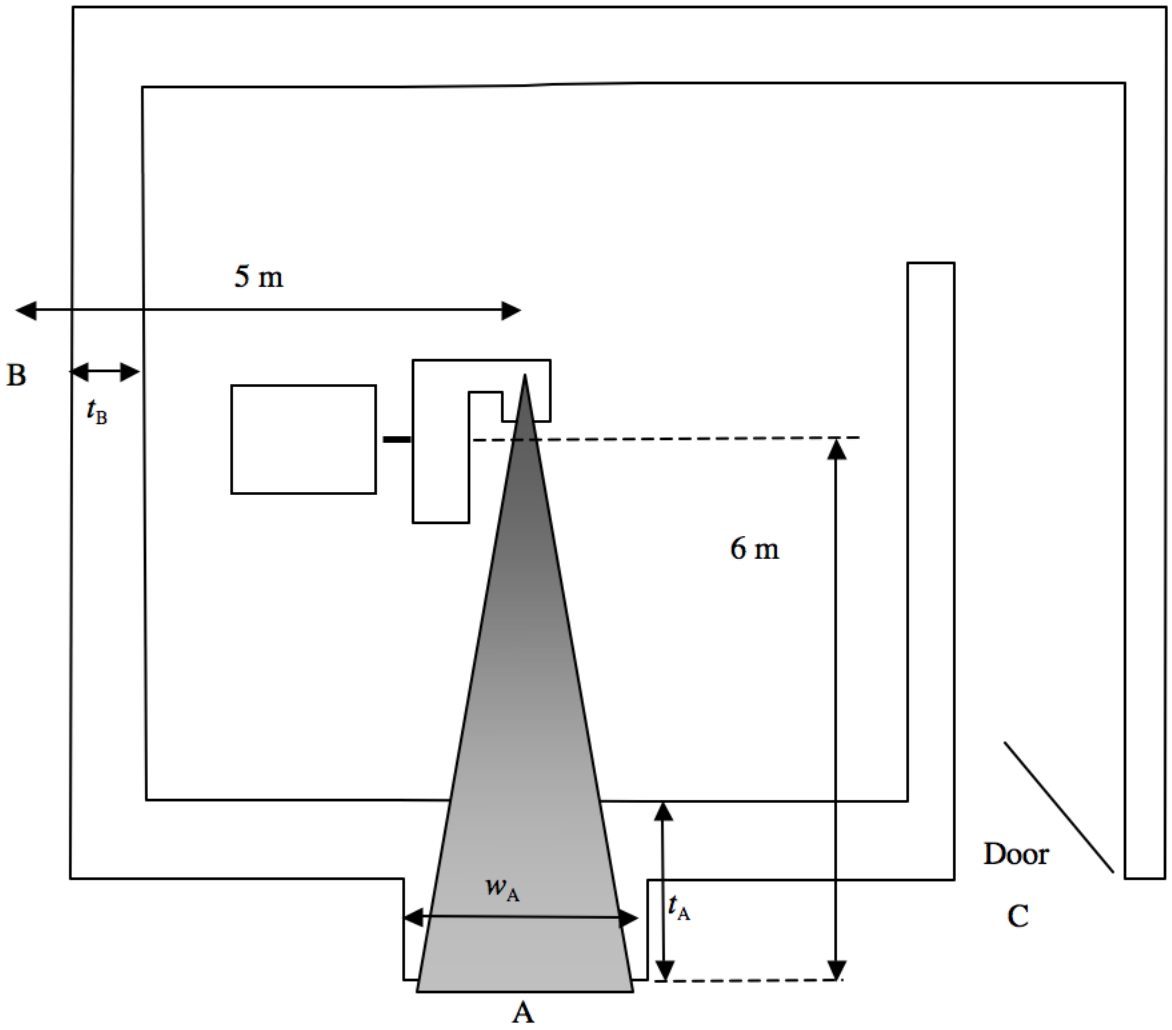
38. Pour chacun des évènements suivants décrits dans la publication 112 de la CIPR sur les expositions accidentelles causées par les nouvelles technologies en radiothérapie externe, décrire i) les causes principales qui ont mené à l'erreur, ii) l'impact clinique de l'erreur et iii) deux stratégies qui pourraient réduire les risques qu'un tel évènement se produise.
    (a) Cas Nº 1: Taille inappropriée de détecteur dans la mise en service d'un micro-MLC (Toulouse)
    (b) Cas Nº 4 : Calcul des unités moniteur pour le mauvais type de filtre en coin (Épinal).
    (c) Cas Nº 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).
    (d) Cas Nº 9 : Transfert manuel incorrect des paramètres de traitement (Glasgow).

39.
    (a) Décrire comment s'effectue une analyse des modes de défaillance et de leurs effets (FMEA) dans une clinique de radiothérapie.
    (b) Pour chacun des modes de défaillance suivants, identifier une cause possible et suggérer, avec vos raisons, les valeurs des paramètres de fréquence (F), de sévérité (S) et de détectabilité (D):
        (i.) Mauvaise vertèbre utilisée pour la localisation lors d'une procédure guidée par imagerie d'un traitement stéréotaxique de la moelle.
        (ii.) Ensemble d'objectifs et de contraintes incorrect utilisé pour l'optimisation du plan de traitement.
        (iii.) Bolus oublié une fraction sur vingt
    (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)?

40. 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).
    (a) Indiquer quelle(s) agence(s) de réglementation et quelle(s) règlementation(s) doivent être prises en compte et respectées.
    (b) Décrire les exigences de permis de la CCSN sur le cycle de vie d'un accélérateur linéaire.
    (c) Quelle est l'utilité d'un permis de cycle de vie intégral ?
    (d) Énumérer des considérations de conception qui peuvent être imposées par des techniques spécialisées telles que la radiothérapie intra-opératoire, l'irradiation cutanée totale par électron et l'irradiation corporelle totale par photon.



41. Un accélérateur linéaire de 18 MV (DSA de 100 cm, taille du champ maximal à l'isocentre de 40x40 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.
    (a) Discuter les critères de conception d'une porte de salle de traitement et indiquer clairement les matériaux typiques et l'épaisseur approximative utilisés.
    (b) Décrire et identifier clairement l'emplacement de tous les dispositifs de sécurité tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la pièce.
    (c) Discuter la zone d'inspection de radioprotection et énumérer les appareils à utiliser. Indiquer les valeurs typiques des mesures attendues aux points A, B et C (tant pour une porte ouverte qu'une porte fermée) et indiquer la nature et l'emplacement de tous les panneaux de mise en garde.



42. Un accélérateur linéaire biénergie (6 et 18 MV, DSA de 100 cm, taille du champ maximal l'isocentre de 40x40 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). 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. Prendre 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 :
    (a) Calculer l'épaisseur de la barrière primaire (t_A) au point A pour le béton ordinaire.
    (b) Calculer l'épaisseur de la barrière secondaire (t_B) au point B pour le béton ordinaire. Assumer 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).