**CHAPITRE 3**

**Dosimétrie**

**I. Principes de base :**

**1. Introduction**

Afin d’éviter les effets déterministes, capables de survenir notamment en cas d’accidents radiologiques, et de réduire autant que possible les risques d’apparition d’effets aléatoires, le système de radioprotection repose sur trois grands principes, inscrits dans le code de la santé publique :

**• la justification** des activités comportant un risque d’exposition à des rayonnements ionisants ;

**• l’optimisation** des expositions à ces rayonnements au niveau le plus faible possible ;

**• la limitation** des doses d’exposition individuelle à ces rayonnements.

Ces trois principes fondamentaux découlent d’un principe général de précaution: le principe « ALARA » (pour « As Low As Reasonably Achievable », aussi bas que raisonnablement possible). Les procédures techniques et organisationnelles mises en oeuvre pour respecter l’ensemble de ces principes font l’objet de contrôles de la part des autorités publiques dont l’Autorité de sûreté nucléaire. La réglementation de la radioprotection précise les dispositions particulières applicables à chacune des trois catégories de populations suivantes : public, patients et travailleurs.

Pour évaluer l’importance de l’impact biologique d’une exposition aux rayonnements ionisants et comparer les expositions entre elles, la radioprotection utilise notamment la dose efficace ; c’est une grandeur calculée, exprimée en millisieverts (mSv), qui prend en compte non seulement la quantité d’énergie absorbée par le corps, mesurée en grays (Gy : énergie cédée par unité de masse), mais aussi la nature des rayonnements émis et la sensibilité biologique aux rayonnements des tissus et organes exposés [25]. **PRINCIPES DE LA**

**RADIOPROTECTION**

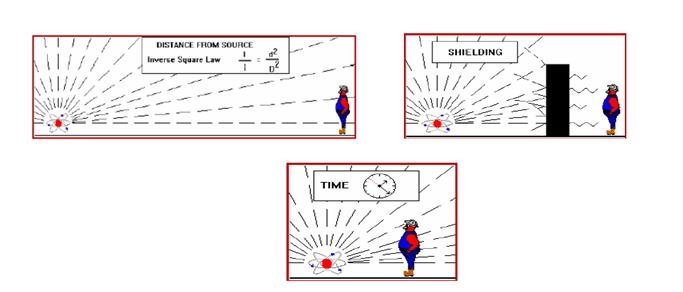
**2. Protection contre l’irradiation**

Pour se protéger contre l’irradiation il faut ;

a. Réduire le temps d’exposition

b. Augmenter la distance à la source de radiations

c. le blindage atténue fortement le flux de radiations



*Figure 20. Protection contre l’irradiation.*

**II. Limitation de doses :**

**1. Le principe de justification**

*« Une activité nucléaire ou une intervention ne peut être entreprise ou exercée que si elle est justifiée par les avantages qu'elle procure, notamment en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique, rapportés aux risques inhérents à l'exposition aux rayonnements ionisants auxquels elle est susceptible de soumettre les personnes »*

Le respect de ce principe s’avère en pratique être une balance complexe de type « avantages / détriments » mêlant des arguments très variés dans leur nature.

Il faut retenir que le respect de ce principe n’est pas uniquement fonction du niveau de dose auquel peut conduire la pratique. Ainsi, des doses très importantes (et bien supérieures aux niveaux de référence) peuvent être administrées à un patient dans l’objectif de guérir une maladie grave. A contrario, le recours à certaines pratiques peut être refusé (ex. des paratonnerres contenant du Ra-

226 ou de l’Am-241 désormais interdits) quand bien même les niveaux d’exposition susceptibles d’être engendrés sont particulièrement faibles, dans la mesure où des appareils n’ayant pas recours aux rayonnements ionisants et rendant les mêmes services sont devenus disponibles sur le marché (ex. des détecteurs incendie).

Le principe de justification s’apprécie à partir des balances en avantages et en inconvénients, soit entre deux techniques mettant en jeu des rayonnements ionisants, soit entre techniques avec et sans rayonnements ionisants. Les écarts sont à considérer sur un large domaine (impact sanitaire, efficacité du dispositif, facilité de mise en œuvre, éléments de coûts, etc.). Compte tenu de la nature des éléments pris en compte (sanitaires, techniques, sociaux, économiques),et en l’absence de processus supranational d’harmonisation en la matière, il importe de signaler que pour une même pratique, des pays distincts peuvent adopter des postures différentes au regard de la justification. A titre d’exemple, la France a interdit tout ajout de radioactivité dans les biens de consommation (sauf régime dérogatoire) alors que d’autres pays d’Europe en ont autorisé certains.

**Le principe de justification, quand il est établi, est entériné par une autorisation administrative.**

**2. Le principe d’optimisation**

Parfois dénommé ALARA, son acronyme anglais (« as low as reasonably achieveable »), le principe d’optimisation est à mettre en oeuvre une fois la justification établie. Il est ainsi rédigé dans le Code de la Santé Publique : « L'exposition des personnes aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ou interventions doit être maintenue au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de l'état des techniques, des facteurs économiques et sociaux et, le cas échéant, de l'objectif médical recherché »

Comme pour la justification, le principe d’optimisation nécessite une évaluation et une mise en balance de différentes options, tenant compte d’aspects sanitaires (dosimétriques), techniques et économiques. Sur le plan technique et organisationnel, les principales mesures d’optimisation sont de trois ordres :

1. Minimisation de l’intensité de la source d’exposition ;

2. Diminution de la fréquence et/ou de la durée des expositions ;

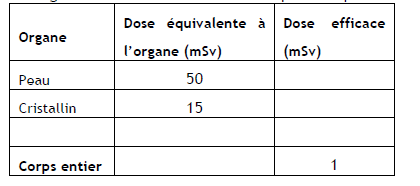
3. Augmentation des protections individuelles ou collectives.

**3. Le principe de limitation**

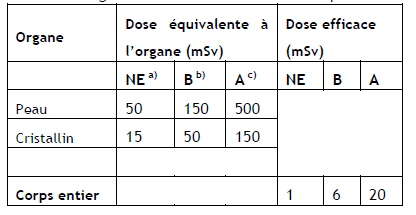
Ce principe est rédigé dans le Code de la Santé Publique comme suit :

« L'exposition d'une personne aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ne peut porter la somme des doses reçues au-delà des limites fixées par voie réglementaire, sauf lorsque cette personne est l'objet d'une exposition à des fins médicales ou de recherche biomédicale. » Ces limites ne sont pas les mêmes en fonction des catégories de population (travailleurs, public). Elles sont exprimées en termes de valeurs limites annuelles de dose efficace (corps entier), et de dose équivalente pour un organe donné.

Les valeurs réglementaires fixées par le code de la santé publique pour les membres du public et les travailleurs sont rappelées dans les tableaux IV et V.

****

*Tableau 8 : Limites réglementaires annuelles de dose pour les personnes du public.*

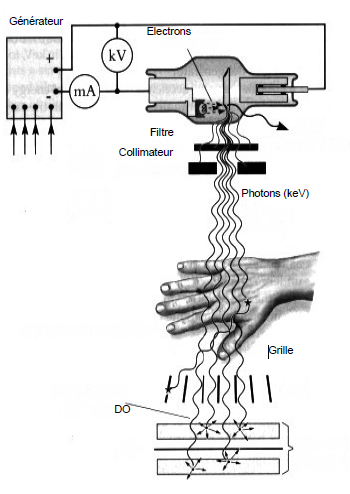


*Tableau 9 : Limites réglementaires annuelles de dose pour les travailleurs*

a) NE : Catégorie des travailleurs considérés comme non exposés (NE), donc avec les limites du public

b) A : Travailleurs de catégorie A, susceptibles de recevoir plus de 3/10èmes de l’une des limites réglementaires

c) B : Travailleurs de catégorie B, susceptibles de recevoir une dose supérieure à l’une des limites du public



*Figure 20. Réduction de doses.*

**III. Réduction de doses,**

1. Limitation du nombre d’expositions

2. Respects des critères d’incidence

3. Augmentation de la tension

4. Diminution de la charge

5. Utilisation des exposeurs automatiques

6. Augmentation de la filtration additionnelle

7. Augmentation de la distance Foyer Détecteur

8. Utilisation des diaphragmes

9. Compression

10. Limitation de l’usage des grilles antidiffusantes

11. Utilisation des détecteurs les plus sensibles

12. Contrôle du matériel

13. Formation des opérateurs[26]

**VI. Blindage des salles de radiothérapie :**

**1. Salle d'irradiation:**

Avant de fixer le choix d'une installation, de l'utilisation et de l'entretien ultérieurs, consultez préalablement, tous les groupes et personnes pouvant être affectés, ou impliqués en pratique:

a. Ingénieurs de structures, de ventilation, d'électricité, d'hydraulique,...

b. Fabricants d'équipements et d'accessoires, et caractéristiques vs attentes

c. Professionnels de la santé (en radiologie médicale, médecine nucléaire, radioprotection,...) et autres individus

d. Institution et départements ou services

e. Personnel technique entraîné qui aura à vivre le quotidien, et radioprotectionniste

f. Autres individus et groupes pertinents

2. Justification du choix de la salle, des hypothèses, spécifications,...

3. Emplacement géographique de la salle d'irradiation dans le bâtiment, structures, caractéristiques physiques de la salle et du voisinage (autour, au-dessus, au-dessous)

4. Consultation de la documentation appropriée, les intervenants sur l'installation prévue et

visiter si nécessaire d'autres installations du même genre pour optimiser et pour inclure tous les aspects à considérer avant, pendant et après la construction et l'utilisation de l'installation

5. Suggestion d'un minimum d'intermédiaires et convenir une entente sur l'installation des structures, de l'appareillage, de l'électricité, de l'hydraulique, de la mécanique et de l'irradiation primaire et secondaire, et de l'utilisation à venir.

6. Consultation en vue de soumettre et discuter les alternatives avant de faire le rapport final

7. Obtention de toutes les données pertinentes des divers intervenants avant de commencer le travail;

8. Inclusion des aspects pratiques avec l'administration, le syndicat et les employés, etc.

9. Utilisation d'une salle artisanale peut souvent convenir. En questionnant les employés, on voit qu'ils ont souvent d'excellentes idées pratiques, sécuritaires, sociales et économiques.

10. Connaissance et application des exigences légales en cours, certains choix pertinents, etc.

11. Nature de l'occupation immédiate et plus éloignée, autour, au-dessus, au-dessous, ex. chambre noire, salle d'irradiation, de détection, autres salles de rayons X, médecine nucléaire, anthroporadiamétrie, autres travailleurs et public. On ne doit pas imposer des contraintes de présence et d'activités sur les gens, les films et le voisinage 24h/jour, 7 jours/semaine

12. Ingénierie: structures, matériaux, poids, électricité, ventilation, hydraulique, ancrage de l'appareil, construction et fonctionnement en général, éclairage, entrées et prises électriques, accessoires de travail, d'entreposage, et d'entretien appropriés. Faire passer les conduits entre deux feuilles de Pb se chevauchant beaucoup au plafond est souvent une solution pratique et économique

13. Structure de l'édifice, alimentation électrique et en circulation d'eau et des liquides de refroidissement du tube

14. Nature, propriétés et exigences des équipements voulus (homologués selon qui et quoi?) et accessoires à venir, ex. consulter les fabricants, le vendeur et l'acheteur 2

15. Pertinence ou non d'une installation sans plafond (effet de ciel) et du blindage du plafond, habituellement requis de la porte; pertinence ou non d'un labyrinthe approprié

16. Choix d'un bon endroit, d'un bon type de salle avec les services et facilités prévus, des matériaux, étendue intérieure et extérieure et hauteur, pour la salle, toute cabine, écran et fenêtre de verre plombé ou système de TV lorsque praticable et voulu. En radiologie médicale, y ajouter un système de communication verbale et visuelle réciproque pour rester en communication avec le patient

17. L'espace et la disposition dans la salle doivent répondre adéquatement aux besoins prévus. Avant de construire, consulter sérieusement la direction, le personnel visé, les diverses législations gouvernementales et autres personnes et organismes concernés, et surtout les utilisateurs

18. Assurance de l'absence de fuites au niveau des joints, perforations, entrées et sorties, cadres de portes et de fenêtres, tuyaux, conduits de circulation d'air, de fils électriques, persiennes.

19. Aspects pratiques d'entrée, et de sortie des appareils et des accessoires, des personnes et des pièces à irradier, accessoires, ainsi que leur circulation et l'intimité des personnes (ex. médical)

20. Accessibilité des services reliés

21. Pertinence ou non d'un facteur d'occupation (fraction appropriée) pour le voisinage, immédiat ou non, ex. ascenseurs, passages, espace extérieur à soi-même ou à son institution

22. Charge de travail globale réaliste, tout en considérant le maximum possible à court, moyen et à long terme et incluant les facteurs d'utilisation primaire, d'occupation du voisinage et de sécurité dans les doses périodiques (annuelles habituellement)

23. Possibilité ou non de déménager un jour, ex. si la salle blindée est dans un local loué; facilité de montage et de démontage.

**2. Matériaux de la salle blindée :**

Obtenir de bons matériaux (densité, uniformité, épaisseur, poids, encombrement, facilité de déplacer, d'installer et de rester en bon état, etc.):

a. plomb, acier ou fer, béton; éviter le plomb acoustique (poreux ou picoté)

b. verre et gypse, surtout aux basses énergies

c. verre plombé, vinyle plombé, cadre blindé

2. S'assurer que tout matériel, plomb,... ne s'affaisseront pas lors de la construction et subséquemment, sous son propre poids ou disposition, ex. mur de Pb mince, plafond blindé à supporter

3. S'assurer d'un bon service de livraison, de matériaux de qualité dans les délais prévus et à bon prix pour l'acheteur

4. Voir si la législation exige un revêtement particulier du plomb nu

5. Accorder autant d'importance de blindage aux fenêtres et aux portes, et à leurs cadres qu'aux parois immédiatement avoisinantes

6. Protéger le matériel de blindage contre les coups mécaniques; s'assurer de planchers propres en tout temps lors de la livraison, de l'entreposage et l'installation du plomb et d'autres matériaux afin d'éviter l'endommagement et l'encombrement et les risques mécaniques aux gens.

7. S'assurer de la bonne composition et de la densité prévue pour le blindage, ex. plomb 11,35

g/cm3, acier 7,8 g/cm3, béton 2,35 g/cm3, verre 2,6 g/cm3, panneaux de gypse 0,7 g/cm3

8. Considérer la possibilité du transport et du transfert des pièces de blindage, etc. On doit parfois fractionner l'épaisseur et l'étendue des morceaux de plomb, montés ou non

9. Étiqueter les équipements et accessoires (ex. filtres, cônes) de façon claire quant à leur homologation, spécifications techniques, performance, etc., afin d'éviter des erreurs

10. Ne pas accepter et ne transférer à d'autres que des installations démantelables, appareils et accessoires appropriés et approuvés pour les besoins convenus au niveau de leur conception et usage à moins de confirmation d'acceptabilité nouvelle

11. Ne pas recouvrir le blindage avant la vérification complète et une attestation écrite de conformité [27].

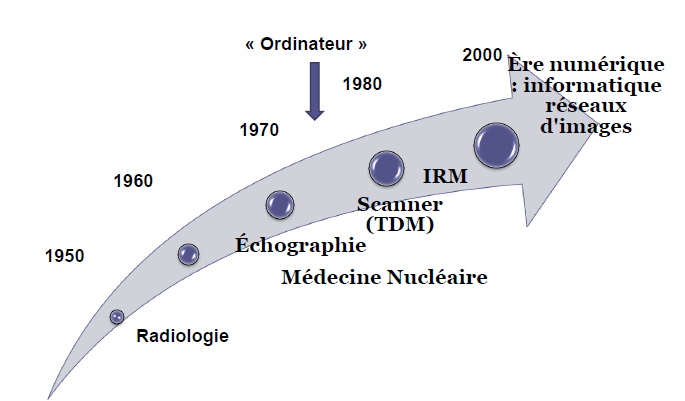
A. Préparation des plans des locaux

B. Considérations pour la conception et l’aménagement de la salle

C. Détermination des paramètres qui régissent les exigences en matière de blindage de protection [28].

**V. Radiodiagnostic et médecine nucléaire :**

**1. Évolutions techniques :**



*Figure 21. Évolutions techniques.*

**2. Découvertes scientifiques**

•1895: Rayons X, *W C RÖNTGEN*

•1896: Radioactivité, *H Becquerel, P et M CURIE*

•1934: Radioactivité artificielle, *I et F JOLIOT CURIE*

•1952: Ultrasons, *WILD et REID*

(1960-1970 : échographie)

•1953: Gamma caméra, *ANGER*

(1970 : Médecine nucléaire)

•1971: Premières applications médicales R.M.N. (1990 : IRM)

•1972: Scanner, *HOUNSFIELD* (1980 : TDM)

**3. Utilisation des rayonnements en médecine :**

•Imagerie Médicale

– Radiologie : générale, interventionnelle, scanner (TDM), écho, IRM

– Médecine Nucléaire : scintigraphies, TEP TDM, radiothérapie métabolique

•Radiothérapie : traitement des pathologies cancéreuses par irradiation externe et/ou interne

•Biologie et recherche

**Scanographie**

•Un **scanner (**tomodensitométrie) est un appareil **d'imagerie à rayons X** qui permet l'étude de structures anatomiques en 3D

•L’apport de l’**informatique** et du traitement numérisé des images a abouti à la mise au point de la tomodensitométrie (ou scanner) en 1972.

•Le scanner permet d’obtenir des images tridimensionnelles des organes ou des tissus (os, muscles ou vaisseaux) sous forme d’un ensemble de coupes.

**Scanographie** Système de référence en anatomie



*Figure 22. Scanographie*

Plan médian ou plan sagittal

Plan axial ou transversal

Plan coronal ou frontal

**4. Applications :**

• Scanner thoracique, abdominal, pelvien

• Lésions osseuses, pathologies vasculaires

• Réalisé également **avec injection de produit de contraste**

**Avantages**

• Bonne résolution spatiale

• Examen rapide, non invasif

**Inconvénients**

• Examen irradiant (la dose efficace de radiation pour cette procédure est d’environ 10 mSv, ce qui correspond à ce qu’une personne reçoit en moyenne par le rayonnement naturel en trois ans)

• La multiplication d'examens peut-être néfaste

• Précaution pour la femme en âge de procrée [29].

**Résumé du chapitre 3 : Ce qu’il faut retenir**

*SE PROTÉGER CONTRE LES RISQUES LIÉS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS*

Le but de la radioprotection est d’empêcher ou de réduire les risques liés aux rayonnements ionisants. Afin d’éviter ou réduire ces risques, la radioprotection s’appuie sur trois grands principes : *justification, optimisation et limitation* *des doses de rayonnements.* Pour appliquer ces principes, la radioprotection met en œuvre des moyens réglementaires et techniques spécifiquement adaptés à trois catégories de population : *le public, les patients et les travailleurs*. L’Autorité de sûreté nucléaire élabore la réglementation et effectue en permanence, au nom de l’État, des contrôles de la bonne application du système de radioprotection.

La radioprotection est donc : - un ensemble de bases scientifiques qui décrivent le risque et les moyens matériels de s'en protéger - des principes généraux fixant les objectifs et les moyens d'y parvenir, - une organisation et une réglementation qui imposent le niveau de protection à atteindre et les dispositions nécessaires pour y parvenir. Les principes généraux de la radioprotection, servant de fondement aux réglementations nationales, sont édictés par la CIPR au terme d'une démarche sécuritaire qui s'appuie sur une évaluation à la fois objective et protectrice du risque radioinduit comprenant :

- Un consensus scientifique international fait de données consolidées et synthétisées,

- Une évaluation enveloppe du risque (aux faibles doses) en conclusion de ces hypothèses,

- La définition d'un risque résiduel acceptable compte tenu des personnes auxquelles on s'adresse.

En résumé, quand une exposition est justifiée, on doit rechercher des niveaux de dose les plus bas raisonnablement possible, au dessous de limites qu'il est interdit de dépasser.

**GLOSSAIRE**

**Radioactivité *(radioactivity)*:** phénomène physique naturel au cours duquel des noyaux instables – du fait d’un excès ou d’un défaut de neutrons – se désintègrent en dégageant de l’énergie sous forme de rayonnement, pour se transformer en noyaux atomiques plus stables.

**Radioélément** *(radioelement)*: élément chimique dont tous les isotopes sont radioactifs.

**Radionucléides** *(radionuclide)*: atomes d’éléments radioactifs naturels ou artificiels.

**Lithophile *(lithophile)*:** qui présente une affinité avec la phase minérale

**UNSCEAR** : Comité scientifique des nations Unies pour l’étude des effets des rayonnements ionisants (**U**nited **N**ations **S**cientific **C**ommittee on the **E**ffects of **A**tomic **R**adiation).

**Activité *(activity)*:** nombre de désintégration par unité de temps.

**DNEMT :** Division Nationale des Eaux Minérales et Thermales.

**CNSC ou CCSN :** Commission Canadienne de Sûreté Nucléaire (Canadian Nuclear Safety Commission)

**1nGy**=1Sv

**Adsorption** *(adsorption)*: processus à l’origine d’une accumulation nette d’une substance à l’interface entre deux phases contiguës, selon un arrangement en deux dimensions (Sposito, 1989).

**Demi-vie** *(half-life)*: durée nécessaire à la diminution de la moitié de l’activité d’un radionucléide.

**Equilibre séculaire** *(secular equilibrium)*: situation où la quantité d’un radio isotope reste constante du fait d’un taux de production égal au taux de désintégration.

**Filiation radioactive (ou chaine de désintégration)** *(radioactiv decay chain)*:suite de désintégrations issues de latransformation spontanée d’un radioisotopeinstable et permettant d’aboutir à unélément chimique de noyau atomiquestable. Le plomb est généralement le point stable auquel les chaînes de désintégration s’arrêtent.

**Isotopes** *(isotope)*: nucléides d’un élément partageant le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent.

**Elément trace** *(trace element)*: élément chimique dont la concentration dans la croûte terrestre est inférieure à 1‰.

**IRSN :** Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

**CIPR :** Commission Internationale de Protection Radiologique.