

## EXPOSITION MÉDICALE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

### RÉSUMÉ

Depuis plus d'un siècle, la médecine fait appel, tant pour le **diagnostic** que pour la **thérapie**, à des rayonnements ionisants produits soit par des générateurs électriques soit par des radionucléides en sources scellées ou non scellées. Si leur intérêt et leur utilité ont été établis au plan médical de longue date, ces techniques contribuent cependant à l'exposition des patients aux rayonnements ionisants et doivent obéir de ce fait à des contrôles stricts.

#### ► Radiodiagnostic médical

Le **radiodiagnostic médical** est fondé sur le principe de l'atténuation différentielle des rayons X dans les organes et tissus du corps humain. Les informations sont recueillies le plus souvent sur des supports numériques permettant le traitement informatique des images obtenues, leur transfert et leur archivage. Le radiodiagnostic est une des plus anciennes applications médicales des rayonnements ionisants ; il regroupe toutes les techniques d'exploration morphologique du corps humain utilisant les rayons X produits par des générateurs électriques.

Il comprend diverses spécialités (radiologie conventionnelle, radiologie interventionnelle, scanographie, angiographie et mammographie) et une grande variété d'examens (radiographie du thorax, scanner thoraco-abdomino-pelvien...). La demande d'examen radiologique par le médecin doit s'inscrire dans une stratégie diagnostique tenant compte du bénéfice attendu pour le patient, du niveau d'exposition et des possibilités offertes par d'autres techniques d'investigation non irradiantes.

❖ **La radiologie conventionnelle** peut se décliner en deux grandes familles :

- le radiodiagnostic réalisé dans des installations fixes réservées à cette discipline
- le radiodiagnostic mis en œuvre ponctuellement à l'aide d'appareils mobiles.

❖ **La radiologie interventionnelle** vise l'ensemble des actes médicaux invasifs diagnostiques et/ou thérapeutiques ainsi que les actes chirurgicaux utilisant des rayonnements ionisants. Elles peuvent nécessiter des expositions de longue durée des patients qui reçoivent des doses importantes pouvant être à l'origine, dans certains cas, d'effets tissulaires dus aux rayonnements ionisants (lésions cutanées...).

❖ **La scanographie** : Les appareils de scanographie, appelés aussi tomodensitométries (TDM), utilisent un faisceau de rayons X émis par un tube tournant autour du patient et s'appuient sur un système informatique d'acquisition et de traitement d'images. La reconstitution en trois dimensions des organes avec une qualité d'image supérieure à celle des appareils de radiologie conventionnelle. Cette technique peut, comme l'imagerie par résonance magnétique (IRM), être associée avec l'imagerie fonctionnelle fournie par la médecine nucléaire.

#### ► Radiothérapie externe et curiethérapie

La radiothérapie est, avec la chirurgie et la chimiothérapie, l'une des techniques majeures employées pour le traitement des tumeurs cancéreuses. Les rayonnements ionisants nécessaires pour la réalisation des traitements sont produits par un générateur électrique ou émis par des radionucléides sous forme scellée.

On distingue :

- la **radiothérapie externe** où la source de rayonnement produite par un accélérateur de particules ou des sources est extérieure au patient,
- et la **curiethérapie** où la source est positionnée au contact direct du patient, dans ou au plus près de la zone à traiter.

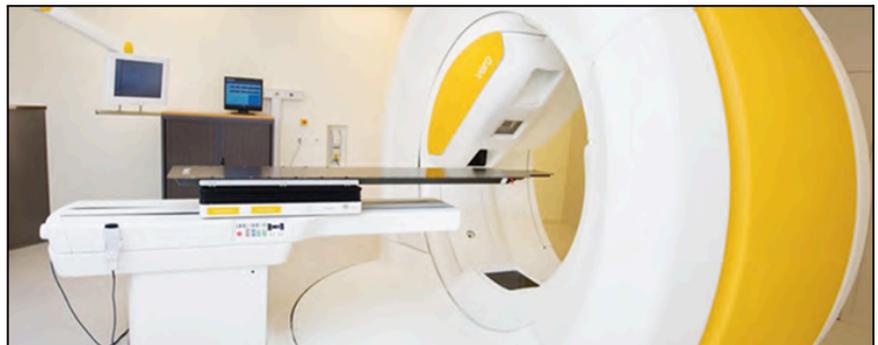


Figure 1 : Appareil de radiothérapie

## 1. PRÉAMBULE

L'exposition médicale aux rayonnements ionisants est pratiquée dans un but diagnostique et thérapeutique.

Dans le premier cas, il s'agit du **radiodiagnostic**<sup>1</sup> où l'on recherche un bon compromis entre l'acquisition d'une image radiologique par pénétration du rayonnement dans les tissus de l'organisme et les conséquences de l'arrachage d'électrons (ionisation) aux structures moléculaires des cellules et tissus.

On y parvient en maintenant le transfert d'énergie à un niveau tel que les doses délivrées restent dans l'ordre de grandeur de l'irradiation naturelle pour les examens courants.

Dans le second cas, celui de la **radiothérapie**<sup>2</sup>, on utilise le pouvoir ionisant du rayonnement pour provoquer un déséquilibre physico-chimique capable d'interrompre la prolifération des cellules pathologiques et d'entraîner leur destruction dans un processus de mort différée.

## 2. CLASSIFICATION DES TECHNIQUES

### ► Premier usage : L'aide au diagnostic, **via une imagerie médicale**

L'imagerie médicale se subdivise en deux catégories : **La radiologie** et **la médecine nucléaire**.

#### ● **Radiologie**

Dans cette technologie, les images diagnostiques sont obtenues au moyen de rayons X, d'ondes sonores ou de champs magnétiques. La radiologie comprend trois types d'imagerie médicale :

- la radiographie
- la radioscopie
- la tomographie par ordinateur (scanner)
- l'échographie
- la résonance magnétique (IRM)

#### ● **Médecine nucléaire**

La médecine nucléaire est un domaine de l'imagerie médicale qui a recours à des substances radioactives pour produire des clichés diagnostiques ou traiter des tumeurs.

La médecine nucléaire utilise trois techniques d'imagerie médicale :

- la scintigraphie planaire
- la tomographie d'émission monophotonique (TEMP ou SPECT)
- la tomographie par émission de positons (TEP ou PET-scan)

### ► Deuxième usage : **Irradier pour détruire les cellules malades dans un but curatif**. On parle alors de **radiothérapie ou de curiethérapie**, utilisée à des fins de traitement du cancer.

La radiothérapie se décline en deux catégories :

- la **radiothérapie externe** où le rayonnement ionisant est focalisé au maximum sur la partie du corps à traiter. Les rayonnements ionisants nécessaires à la réalisation du traitement sont produits par un générateur électrique ou émis par des radionucléides sous forme scellée. En curiethérapie, la source est positionnée au contact direct du patient, au plus près de la zone à traiter.
- la **radiothérapie interne** ou **curiethérapie** qui consiste à injecter des sources radioactives dans le corps via une injection de médicaments radiopharmaceutiques spécifiques. Cette technique est également appelée **médecine nucléaire thérapeutique** ou **radiothérapie métabolique**.

Le personnel de santé utilise souvent des termes différents pour désigner la même technique. C'est pourquoi les rédacteurs de la présente fiche ont jugé utile de donner un **glossaire normalisé des termes en vigueur en médecine nucléaire**. Voir [annexe 1](#).

La présente fiche a pour objet de détailler les différentes techniques énumérées ci-dessus. Certaines d'entre elles sont également décrites dans la [fiche argumentaire GAENA " Plateforme expérimentale DOSEO"](#).

<sup>1</sup> Radiodiagnostic : Techniques d'examen d'images radiologiques en vue d'un diagnostic médical

<sup>2</sup> Radiothérapie : Traitement d'une maladie cancéreuse par l'application de rayons

### 3. TECHNIQUES D'IMAGERIE RADIOLOGIQUE UTILISANT DES RAYONNEMENTS IONISANTS

#### 3.1. RADIOGRAPHIE

##### 3.1.1 Généralités

La radiologie utilisée à des fins de radiodiagnostic médical est fondée sur le principe de l'atténuation différentielle des rayons X dans les organes et tissus du corps humain. Les informations sont recueillies le plus souvent sur des supports numériques permettant le traitement informatique des images obtenues, leur transfert et leur archivage.

Le radiodiagnostic est une des plus anciennes applications médicales des rayonnements ionisants ; il regroupe toutes les techniques d'exploration morphologique du corps humain utilisant les rayons X produits par des générateurs électriques. L'annexe 2 présente une synthèse des différentes techniques d'imagerie médicale disponibles et leurs applications.

Occupant une grande place dans le domaine de l'imagerie médicale, il comprend diverses spécialités (radiologie conventionnelle, radiologie interventionnelle, scanographie, angiographie et mammographie) et une grande variété d'examen (radiographie du thorax, scanner thoraco-abdomino-pelvien...).

##### 3.1.2 Type de rayonnements et appareillages

Le radiodiagnostic s'appuie sur l'utilisation de sources d'irradiation externes et rassemble les techniques d'imagerie du corps humain obtenues par un appareillage émetteur d'un type de rayonnement ionisant, les rayons X, associé à un système de détection.

**Les appareils utilisés** sont des générateurs électriques de rayonnement tels que les tubes à rayons X (voir annexe 2) ou des **techniques dérivées** :

- le **scanner** ou **scanographe** ou **tomographe à plan focal** : il permet d'obtenir une image des plans de coupe d'un organe
- le **tomodensitomètre** : couplé à un détecteur à scintillation qui est provoqué par les rayons X, il traite des profils et reconstitue les volumes et leurs structures par ordinateur
- **la radiologie d'intervention**, on peut citer par exemple :
  - le placement sous contrôle radiologique d'une sonde vasculaire pour dilatation d'une sténose artérielle et pose d'un stent.
  - le placement d'une sonde endocavitaire cardiaque pour repérage anatomique et électrique d'une zone génératrice d'arythmie et sa destruction au moyen d'un courant de radiofréquence se fait également sous contrôle radiologique.

##### 3.1.3 Dosimétrie

Les doses délivrées sont, pour une radiologie statique telle qu'une radio pulmonaire à mi épaisseur : 1 mSv, pour une radiologie dynamique d'un transit gastroduodénal : 16 mSv et pour une scanographie ou une radiologie d'intervention : 8 à 20 mSv. L'annexe 3 détaille les doses délivrées pour différents types d'examen médicaux.

#### 3.2. RADIOSCOPIE

La radioscopie (ou fluoroscopie) utilise des rayons X pour produire sur un écran une image mobile de l'intérieur du corps en temps réel. Par comparaison, la radiographie est à la photo ce que la radioscopie est à la vidéo. La radioscopie est essentielle pour certains examens, comme celui de l'appareil digestif, par exemple.

La radioscopie est également utilisée lors de nombreuses opérations de radiologie interventionnelle. Ces actes, réalisés sous guidage et contrôle d'un moyen d'imagerie, consistent à insérer des instruments dans le corps du patient en procédant à une petite incision. Dans de nombreux cas, le moyen d'imagerie utilisé est la radioscopie, qui permet d'éviter des opérations chirurgicales invasives. Le placement d'un stent est un exemple connu de cette technique.

#### 3.3. TOMOGRAPHIE PAR ORDINATEUR (CT)

Tout comme la radiographie, la tomographie par ordinateur (en abrégé CT, pour Computed Tomography) utilise des rayons X, mais elle permet de réaliser un nombre plus important d'images. Il s'agit de coupes transversales du corps qui, ensemble, couvrent tout un volume. Le patient est donc "scanné" lors de la tomographie par ordinateur. Un grand nombre d'informations sont recueillies très rapidement. La dose de radiation reçue par le patient est plus élevée que lors d'une radiographie conventionnelle.

Cette technique d'imagerie possède une résolution spatiale détaillée avec une très haute résolution temporelle. Elle peut être utilisée pour décrire les maladies cardiaques et vasculaires, définir la taille et l'emplacement des tumeurs, caractériser les tumeurs et surveiller la réponse au traitement. La tomographie CT est utilisée dans les situations d'urgence ou pour guider les biopsies ou les techniques interventionnelles. Les CTs peuvent être acquis avec ou sans agent de contraste. L'angiographie coronaire par CT est actuellement utilisée pour exclure une maladie coronarienne. La tomographie à faible dose permet également le dépistage du cancer du poumon.

## 4. TECHNIQUES D'IMAGERIE RADIOLOGIQUES CLASSIQUES

### 4.1. ÉCHOGRAPHIE

L'échographie n'utilise pas le rayonnement ionisant mais utilise des ultrasons (sons à la fréquence tellement élevée que l'être humain ne peut les entendre). Des images sont formées à partir des réflexions de ces ultrasons ou "échos". Elle n'a pas d'effet connu sur la santé.

### 4.2. IMAGERIE PAR RÉSONNANCE MAGNÉTIQUE (IRM)

L'imagerie par résonance magnétique (en abrégé IRM) utilise un champ magnétique puissant et des ondes radio pour fournir des images de l'intérieur du corps. Tout comme l'échographie, l'IRM n'utilise pas de rayonnements ionisants. Elle constitue donc une alternative au CT (scanner) pour certaines indications.

## 5. MÉDECINE NUCLÉAIRE

### 5.1. GÉNÉRALITÉS

La médecine nucléaire est un domaine de l'imagerie médicale qui a recours à des substances radioactives pour produire des clichés diagnostiques ou **traiter des tumeurs**.

En médecine nucléaire, un patient se voit administrer une substance radioactive qui est absorbée par une partie de son corps (le squelette ou une tumeur, par exemple). En raison de cette accumulation locale de substances radioactives, la partie du corps en question présentera temporairement un taux de radioactivité plus élevé que le reste du corps. Selon le type de rayonnements ionisants émis par la substance radioactive, l'accumulation locale de cette substance servira soit à visualiser cette partie spécifique du corps (le squelette ou une tumeur, par exemple), soit à irradier très localement (tumeur).

La **dose reçue** par un patient lors d'un examen de ce type est comparable à la dose reçue lors d'un scanner CT. Dans le cadre de l'application thérapeutique, la dose administrée localement est sensiblement plus élevée afin de provoquer l'effet thérapeutique désiré.

### 5.2. TECHNIQUES DE MÉDECINE NUCLÉAIRE À USAGE DIAGNOSTIC

Les utilisations diagnostiques se décomposent en techniques *in vivo*, fondées sur l'administration de radionucléides au patient, et en applications exclusivement *in vitro* (biologie médicale)

La médecine nucléaire permet de réaliser une imagerie fonctionnelle. Elle est donc complémentaire de l'imagerie purement morphologique obtenue par les autres techniques d'imagerie : radiologie conventionnelle, scanner à rayons X, échographie ou IRM. Afin de faciliter la fusion des images fonctionnelles et morphologiques, des appareils hybrides ont été développés : les tomographes à émission de positons (TEP ou PET-scan) sont désormais systématiquement couplés à un scanner (TEP-TDM) et les gamma-caméras sont équipées d'un scanner (TEMP-TDM).

Les caractéristiques détaillées des différentes techniques disponibles (voir liste au chapitre 2) sont décrites ci-dessous.

#### 5.2.1. La scintigraphie

La scintigraphie permet la production d'imageries médicales par l'administration d'isotopes radioactifs et la détection des rayonnements émis (bêta ou gamma) après captation par les organes à examiner (os, cœur, poumons, thyroïde etc...). Il s'agit donc d'imagerie par émission et non par transmission au contraire de la radiographie X).

Ces radioéléments sont choisis pour leur période radioactive courte. Ces isotopes font partie d'une molécule organique adaptée pour un type cellulaire donné. Il s'agit souvent d'un dérivé du glucose marqué ou d'une molécule se comportant comme le potassium.

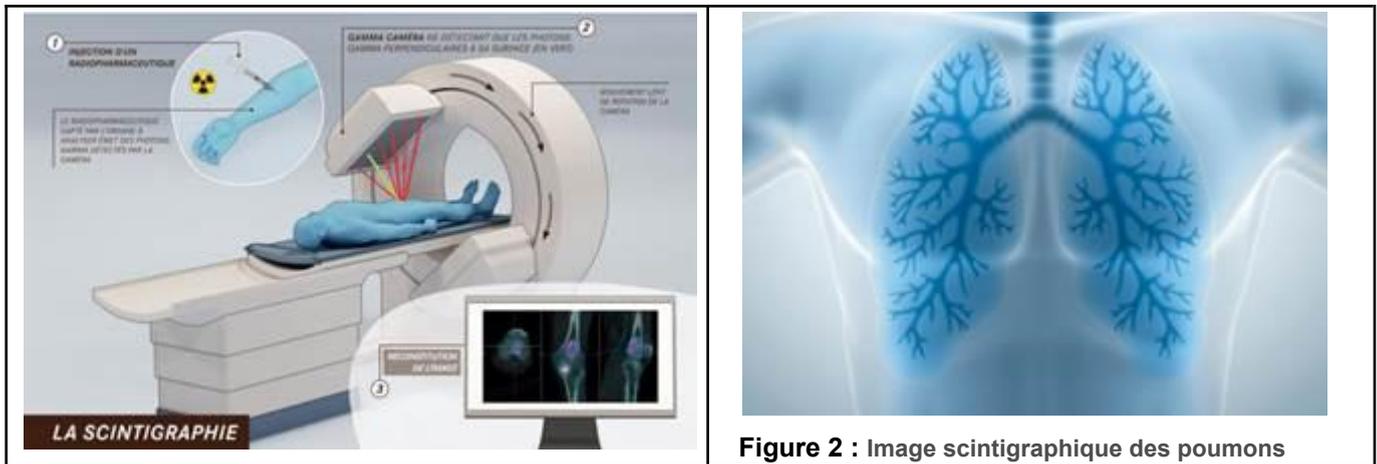


Figure 2 : Image scintigraphique des poumons

L'injection est effectuée par voie intraveineuse ou à l'aide d'un cathéter par voie fémorale ou par voie radiale. Les isotopes sont éliminés par les urines selon une vitesse dépendant, non seulement de la période radioactive du radio élément mais aussi de la période biologique, qui est la durée au bout de laquelle l'organisme a évacué la moitié de la quantité du constituant chimique introduite. L'irradiation du patient est d'autant plus réduite que la période radioactive et la période biologique sont de courtes durées.

La détection comprend un collimateur, un scintillateur (matériau fluorescent) de cristal d'iodure de sodium NaI dopé par du thallium et des photomultiplicateurs recueillant les impulsions électriques.

### ► Le diagnostic *in vivo*

Cette technique consiste à étudier un organe ou une fonction de l'organisme grâce à une substance radioactive spécifique – un médicament radiopharmaceutique – administrée à un patient. La nature du médicament radiopharmaceutique dépend de l'organe ou de la fonction étudiés. Le radionucléide peut être utilisé directement ou fixé sur un vecteur (molécule, hormone, anticorps...). À titre d'exemple, le tableau 1 présente quelques-uns des principaux radionucléides utilisés dans diverses explorations.

La localisation dans l'organisme, par les techniques de scintigraphie, de la substance radioactive administrée, le plus souvent du technétium 99m, se fait par un détecteur spécifique. Ce détecteur, appelé caméra à scintillation ou gamma-caméra, est constitué d'un cristal d'iodure de sodium (pour la majorité des caméras) couplé à un système d'acquisition et d'analyse par ordinateur. Cet équipement permet d'obtenir des images du fonctionnement des tissus ou organes explorés. Une quantification des processus physiologiques ou physiopathologiques peut être réalisée. La plupart des gamma-caméras sont maintenant tomographiques et permettent une imagerie en coupe ainsi qu'une reconstruction tridimensionnelle des organes (tomographie d'émission mono-photonique ou TEMP).

TYPE D'EXPLORATION	RADIONUCLÉIDES UTILISÉS
Métabolisme thyroïdien	Iode 132, Technétium 99m
Perfusion du myocarde	Thallium 201, Technétium 99m, Rubidium 82
Perfusion pulmonaire	Technétium 99m
Ventilation pulmonaire	Krypton 81m, Technétium 99m
Processus ostéo-articulaire	Technétium 99m
Oncologie – Recherche de métastases	Fluor 18, Gallium 68

Tableau 1 : Principaux radionucléides utilisé dans les diverses explorations en médecine nucléaire *in vivo*

Le fluor 18, radionucléide émetteur de positons, est aujourd'hui couramment utilisé, notamment sous la forme d'un sucre marqué, le fludésoxyglucose (18F), en particulier en cancérologie. Son emploi nécessite l'utilisation d'une caméra adaptée. Le principe de ces caméras TEP est la détection en coïncidence des deux photons émis lors de l'annihilation du positon dans la matière près de son lieu d'émission.

### ► Le diagnostic *in vitro*

Il s'agit d'une technique de biologie médicale, sans administration de radionucléides au patient, permettant de doser certains composés contenus dans les fluides biologiques préalablement prélevés sur le patient : hormones, médicaments, marqueurs tumoraux, etc. Cette technique met en œuvre des méthodes de dosage fondées sur les réactions immunologiques (réactions antigènes anticorps marqués à l'iode 125), d'où le nom de dosage par radio-immunologie ou **RIA** (Radio Immunology Assay).

Les activités présentes dans les kits d'analyse prévus pour une série de dosages ne dépassent pas quelques milliers de becquerels (kBq). La radio-immunologie est concurrencée par des techniques ne faisant pas appel à la radioactivité telles que l'immunoenzymologie ou la chimiluminescence. Quelques techniques utilisent d'autres radionucléides comme le tritium ou le carbone 14. Là encore les activités manipulées sont de l'ordre du kBq.

### 5.2.2. La tomographie d'émission monophotonique (TEMP)

Dans cette technique (TEMP ou SPECT – pour **Single Photon Emission Computed Tomography**) le rayonnement émis par le produit radioactif injecté est mesuré par des détecteurs qui tournent autour du patient. La transformation en images des mesures prises sous différents angles permet la réalisation d'une image tridimensionnelle de la répartition dans le corps du produit radioactif.

La TEMP exige un collimateur afin de sélectionner les photons perpendiculaires à l'organe ou la fonction ciblée. Ce collimateur doit être adapté à l'énergie des photons émis par le radionucléide (collimateur à haute énergie pour l'iode 131 par exemple). Ce procédé induit la perte d'une grande quantité de photons et explique la mauvaise qualité relative des images. Cependant la sensibilité du signal photonique est telle que ce type d'imagerie est très performant.

### 5.2.3. La tomographie par émission de positons (TEP) ou Positron Emission Tomography (PET-scan)

Il s'agit d'une technique de scintigraphie dite fonctionnelle par opposition à la scintigraphie évoquée ci dessus, qualifiée de structurelle. En effet, elle permet un rendu visuel de l'activité métabolique d'un tissu organique en trois dimensions et non de la simple structure, à l'aide de la consommation du glucose marqué. On utilise une forme particulière de glucose marquée par un traceur radioactif dont on suit la progression dans les cellules à examiner.

Dans cette technique le produit radioactif est principalement absorbé par les cellules très "actives". Un examen PET permet de visualiser les parties du corps présentant des activités cellulaires élevées (tumeurs, infections). Pour localiser ces zones très précisément, on réalise souvent un examen CT complémentaire. On parle alors d'un examen PET-CT.

Il s'agit d'un examen réalisé dans un service de médecine nucléaire, permettant d'étudier l'état fonctionnel des organes par une consommation excessive de glucose. L'examen se déroule en 2 phases :

- ❖ une phase d'injection de produits radioactifs, appelé radiopharmaceutique
- ❖ une seconde phase d'acquisition d'images. Ces images seront couplées à une acquisition scanner. L'isotope est du fluor (18F) couplé à une molécule vectrice, spécifique aux organes à étudier.

Cet examen est prescrit pour suivre des pathologies inflammatoires, infectieuses, neurologiques ou oncologiques. Il permet notamment de suivre l'efficacité du traitement.



Figure 3 : Dispositif PET-Scan

## 5.3. TECHNIQUES DE MÉDECINE NUCLÉAIRE À USAGE THÉRAPEUTIQUE

En médecine nucléaire, on peut utiliser des radiopharmaceutiques (MRP : Médicaments pharmaceutiques) pour traiter de manière ciblée certaines tumeurs, comme des tumeurs thyroïdiennes, des lymphomes ou des métastases osseuses, en exposant les lésions tumorales à des rayonnements, dans le cadre d'une stratégie thérapeutique visant à guérir, à atténuer ou à maîtriser la maladie. Cette thérapie, également dénommée **radiothérapie interne vectorisée (RIV)** peut être utilisée pour traiter des cibles précises ou l'ensemble du corps.

Cette technique représente une révolution dans le domaine de la médecine nucléaire et plus globalement de l'oncologie. Contrairement aux techniques traditionnelles de radiothérapie externe, la RIV permet de cibler les métastases à l'échelle microscopique en utilisant des vecteurs (des molécules spécialement conçues) qui acheminent par voie intraveineuse les doses de radiation directement dans les cellules tumorales, limitant la toxicité aux tissus sains.

Les critères de choix du radionucléide sont différents des critères retenus pour l'imagerie diagnostique : ici on utilise classiquement des émetteurs  $\beta^-$  dont la désintégration s'accompagne de l'émission d'un électron.

Contrairement aux photons  $\gamma$ , les électrons interagissent fortement avec les tissus biologiques et ne parcourent que quelques millimètres avant de céder leur énergie au tissu. Ce principe est couramment mis en œuvre pour le traitement des hyperthyroïdies ou des cancers différenciés de la thyroïde. Le MRP utilisé est alors l' $^{131}\text{I}$ . À noter que la désintégration de l' $^{131}\text{I}$  se traduit par une émission  $\beta^-$  et une émission  $\gamma$  associée, cette dernière étant mise à profit pour acquérir des images au détours du traitement des cancers thyroïdiens.

Les douleurs métastatiques osseuses peuvent être traitées par injection de samarium 153, de chlorure de strontium liquide marqué au strontium 89, ou de chlorure de radium 223. Ces éléments (samarium, strontium et radium) se fixent naturellement sur les os par analogie chimique avec le calcium, mais ces traitements ne constituent qu'un palliatif car ils ne sont pas assez ciblés.

## 6. AUTRES TECHNIQUES À USAGE THÉRAPEUTHIQUE

### 6.1. CONCEPTS GÉNÉRAUX

La **radiothérapie** est, avec la chirurgie et la **chimiothérapie**, l'une des techniques majeures employées pour le traitement des tumeurs cancéreuses qui sont plus sensibles que les cellules saines aux rayonnements ionisants. C'est une technique alternative ou associée à la chirurgie, la chimiothérapie, l'hormonothérapie, l'immunothérapie etc. La radiothérapie concerne environ 50 % des patients porteurs de cancer

La radiothérapie met en œuvre les rayonnements ionisants pour la destruction des cellules malignes et, dans un nombre de cas limités, non malignes. Les rayonnements ionisants nécessaires pour la réalisation des traitements sont produits par un générateur électrique ou émis par des radionucléides sous forme scellée.

On distingue la **radiothérapie externe** où la source de rayonnement produite par un accélérateur de particules ou des sources radioactives est extérieure au patient et la **radiothérapie interne** qui consiste, comme son nom l'indique, à administrer, par voie orale, une substance radioactive couplée à une molécule porteuse des sources radioactives. C'est ce médicament radiopharmaceutique qui va émettre des rayons (bêta ou alpha) sur les cellules cancéreuses sur lesquelles il se sera fixé. Cette technique, également appelée **médecine nucléaire thérapeutique ou curiethérapie**, est décrite au chapitre 7 ci-après.

Les principaux cancers traités par radiothérapie externe concernent les organes : le sein, les os, le cœur, la prostate, le larynx, la thyroïde, la moelle épinière, les poumons, la peau, la leucémie, le foie, le cerveau, les ganglions, l'utérus, le vagin etc. Voir plus de détails en annexe 4.

La première étape du traitement consiste à bien focaliser le rayonnement sur la zone à traiter et à calculer la distribution de la dose de façon à épargner les cellules saines. Les doses prescrites dépendent de la localisation et de la nature de la maladie. Elles sont généralement de 40 à 80 Gy par fraction d'environ 2 Gy par jour. Des effets secondaires indésirables apparaissent souvent comme la fatigue, les nausées, les vomissements et parfois l'inflammation de la zone traitée.

La radiothérapie se propose seule ou en association avec d'autres méthodes (chirurgie, chimiothérapie), de réaliser la destruction sélective d'une tumeur maligne en fonction de la radiosensibilité des tissus concernés.



Figure 3 : Appareil de radiothérapie

### 6.2. RADIOCHIRURGIE

La radiochirurgie est une modalité spécifique de radiothérapie externe dont les indications sont particulières. Ce mode de traitement nécessite des appareillages spécifiques utilisant des faisceaux ultra-focalisés. La technique de traitement de radiochirurgie est essentiellement utilisée en complément d'autres traitements ou non, afin de traiter diverses pathologies telles que les métastases cérébrales. La mise en place de ce type de traitement nécessite des durées d'irradiation plus longues mais sur un nombre de séances réduites.

Ces irradiations généralement sub-millimétriques ne peuvent se faire sans un système de vérification de positionnement du patient par une fluoroscopie conjointe au traitement en cours. Des systèmes tels qu'Exactrac ou bien le Cyberknife remplissent cette fonction. On peut faire de la radiochirurgie du crâne ou bien extra-crânienne sous diverses localisations.

Cette technique est particulièrement utile pour traiter des tumeurs profondes pour lesquelles il serait trop dangereux de réaliser une intervention chirurgicale. Contrairement aux radiothérapies classiques, la radiochirurgie nécessite très peu de séances, voire même une seule. La radiochirurgie n'est pas adaptée à tous les types de tumeurs. Elle est réservée aux tumeurs de petite taille, ne dépassant pas 3,5 centimètres de diamètre et aux contours bien délimités.

### 6.3. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES RAYONNEMENTS UTILISÉS EN RADIOTHÉRAPIE

#### 6.3.1. Radiosensibilité

Elle résulte de la combinaison de facteurs physiques et de facteurs cellulaires. Les facteurs physiques sont, en premier lieu, la nature du rayonnement : rayonnement à transfert d'énergie faible (X, gamma, électron) ou élevé (protons,  $\alpha$ , ions lourds), en second lieu, le débit de dose et la dose totale délivrés. Les facteurs cellulaires définissent la capacité d'une cellule humaine à survivre à l'irradiation. Cette capacité dépend du contenu en ADN, en enzymes réparatrices, de la situation de cellules au repos ou en division.

#### 6.3.2. Sélectivité de l'irradiation

Le dernier critère est la sélectivité de l'irradiation. L'objectif est de cibler l'effet destructeur des rayonnements en limitant le volume des tissus sains irradiés, les doses reçues et en faisant intervenir des phénomènes biologiques liés à la distribution de la dose dans le temps.

#### 6.2.3. Radiothérapie photonique : Rayons X ou rayons $\gamma$

L'origine de ces rayons est différente, mais leur nature est identique :

- les premiers sont obtenus par le freinage d'électrons accélérés dans un générateur électrique et entrant en collision avec les atomes d'une cible métallique.
- les seconds sont émis par une source radioactive scellée.

Dans les 2 cas, le rayonnement est émis sous forme de photons. La valeur énergétique des ces derniers est liée à la fréquence de l'onde porteuse ; plus cette fréquence est élevée plus l'énergie transportée est grande.



Un tube à rayons X de radiodiagnostic utilisant une tension électrique de l'ordre de la centaine de kilowatts fournit des photons d'énergie insuffisante pour un traitement radio thérapeutique de tumeurs profondes.

Pour obtenir des énergies élevées de l'ordre de 10 MeV on dope le tube à rayons X au moyen d'un accélérateur d'électrons.

Ces derniers peuvent atteindre plusieurs dizaines de MeV avec un rendement de conversion énergie cinétique et une énergie photonique de freinage allant jusqu'à 70 %. Ce dispositif a l'avantage de permettre aux énergies des électrons d'être modulées, conférant au rayonnement photonique un pouvoir de pénétration ajustable.

L'isotope mono énergétique est le  $\text{Cs}^{137}$ , un sous produit de la désintégration de l' $\text{U}^{235}$  et d'énergie 0,660 MeV. Cet isotope a une période de 30 ans et une activité spécifique faible. Du fait de sa faible énergie, il est peu efficace aux grandes distances de pénétration.

On lui préfère le  $\text{Co}^{60}$  produit par irradiation neutronique du  $\text{Co}^{59}$ . Pluri-énergétique, il émet deux photons  $\gamma$  de 1,17 et 1,33 MeV. Sa période est de 5 ans. Son activité spécifique élevée lui confère un débit de dose plus adapté à la radiothérapie.

### 6.3.4. Radiothérapie à particules

#### ► Les accélérateurs d'électrons

Ils délivrent des flux importants de particules et au lieu de les utiliser à produire des photons X ultra pénétrants on a été conduit à extraire le faisceau et à le focaliser directement sur la cible biologique.

Avec un faisceau de photons X ou  $\gamma$  d'énergie élevée, les électrons secondaires mis en mouvement s'accumulent dans les premières couches sous la surface d'entrée et perdent leur énergie en profondeur. L'accroissement initial de la dose protège et dans une certaine mesure la peau et les tissus superficiels.

Avec un faisceau d'électrons qui ont un parcours fini proportionnel à leur énergie cinétique, la dose absorbée diminue rapidement à la moitié du parcours.

Il en résulte une bonne protection des tissus situés au-delà de la profondeur atteinte par les électrons. L'énergie réglable de quelques MeV à plus de 10 MeV est facile à adapter à l'épaisseur des tissus visés par l'irradiation.

#### ► Les particules chargées lourdes

Ce sont des ions positifs : noyaux d'hydrogène ayant perdu leur électron (protonthérapie). Ils sont produits dans des cyclotrons ou synchrotrons où ils atteignent des vitesses de près de 70 % de la vitesse de la lumière et des énergies allant jusqu'au giga électron volt (par exemple le CPO : Centre de Protonthérapie d'Orsay)

Leur rapidité et leur masse élevée (près de 2 000 fois celle de l'électron pour le proton) fait qu'ils sont peu déviés et perdent peu d'énergie lors de leurs collisions avec les électrons. On sait calculer à quelle profondeur dans un tissu le faisceau d'ions transfère son maximum d'énergie. Après repérage d'une tumeur par une méthode d'imagerie on peut par l'informatique intervenir sur les paramètres de l'irradiation pour obtenir un maximum d'efficacité.

Ces techniques évoluées présentent l'avantage de protéger encore mieux qu'avec les électrons les tissus sains en deçà et au-delà de la zone tumorale. Elles sont adaptées à des indications particulières telles que les tumeurs cérébrales.

## 7. RADIOTHÉRAPIE INTERNE OU CURIETHÉRAPIE

On distingue plusieurs techniques de radiothérapie interne : **la curiethérapie, la radiothérapie métabolique.** Chacune d'elles possède ses indications selon le type de tumeur et sa localisation.

### 7.1. CURIETHÉRAPIE

La curiethérapie permet de traiter, de façon spécifique ou en complément d'une autre technique de traitement, des tumeurs cancéreuses, notamment de la sphère ORL, de la peau, du sein, des organes génitaux ou des bronches.

On distingue la **curiethérapie interstitielle** où la source radioactive est insérée dans les tissus à traiter et la **curiethérapie endocavitaire** où la source radioactive est projetée dans un tube souple inséré dans une cavité naturelle du corps humain, à proximité de la tumeur à traiter.

Dans les deux cas, les radionucléides se présentent exclusivement sous forme de sources scellées (à l'exclusion des fils d'Ir 192 considérés comme des sources non scellées). Les principaux radionucléides employés en curiethérapie sont le Cs 137, l'Ir 192 et l'I 125. La source radioactive est placée pendant une durée limitée (le plus souvent quelques heures) ou définitivement, à l'intérieur du patient.

Trois techniques principales sont utilisées, elles-mêmes se subdivisent en sous-techniques suivant leur débit de dose (bas débit et haut débit) et leur type de chargement (manuel ou différé). Trois types d'application sont généralement mises en œuvre :

- La curiethérapie à bas débit de dose continu (ou **Low Dose-Rate, LDR**). Les débits de doses sont compris entre 0,4 et 2 Gy/h. Les sources radioactives sont soit sous forme de fils sécables de Cs137, soit sous forme de grains d'I125.
- La curiethérapie à débit de dose pulsé (ou **Pulsed Dose-Rate, PDR**). Les débits de dose sont compris entre 2 et 12 Gy/h. Les sources radioactives sont sous forme de grains d'Ir 192 d'activité maximale 18,5 GBq.
- La curiethérapie à haut débit de dose (ou **High Dose-Rate, HDR**). Les débits de dose sont supérieurs à 12 Gy/h. Les sources radioactives consistent soit en de l'Ir192 d'activité maximale de 370 GBq, soit en du Co 60 de haute activité (91 GBq).

La curiethérapie à haut débit de dose est utilisée principalement pour le traitement des cancers gynécologiques. Cette technique se développe pour le traitement des cancers de la prostate, le plus souvent en association avec un traitement par radiothérapie externe.

## 7.2. RADIOTHÉRAPIE MÉTABOLIQUE

La radiothérapie métabolique – appelée aussi **radiothérapie interne vectorisée** – consiste à administrer les rayons via un médicament porteur d'un élément radioactif. Le traitement s'effectue le plus souvent par voie veineuse ou par voie orale. Elle est précédée par une épreuve de fixation et de localisation des nodules thyroïdiens cancéreux, réalisée par une scintigraphie à balayage ou par caméra à numérisation. C'est l'identique de la technique d'imagerie médicale à usage thérapeutique décrite au paragraphe 5.3.

## 8. RÈGLES DE RADIOPROTECTION APPLICABLES AUX INSTALLATIONS DE RADIOLOGIE ET DE RADIOTHÉRAPIE

### ► Les installations de radiologie

Une installation de radiologie comprend classiquement un générateur (bloc haute tension, tube radiogène) associé à un socle, appelé statif, assurant le déplacement du tube, un poste de commande et une table ou un fauteuil d'examen. Les installations mobiles mais utilisées couramment dans un même local, telles que les générateurs de rayons X utilisés dans les salles de blocs opératoires, sont à considérer comme des installations fixes.

Depuis 2013, les installations radiologiques doivent être aménagées conformément aux dispositions de la nouvelle décision technique de l'ASN n° 2013-DC 0349 du 4 juin 2013. Cette décision impose que l'aménagement et l'accès des installations soient conformes aux règles de radioprotection fixées par la norme NFC 15-160 dans sa version de mars 2011.

La norme NFC 15-160, commune à toutes les installations de radiologie médicale, y compris la scanographie, la radiologie dentaire, introduit une méthode de calcul permettant de définir l'épaisseur des écrans de protection dans toutes les installations où sont utilisés des générateurs de rayons X.

### ► Les installations de médecine nucléaire

Compte tenu des contraintes de radioprotection liées à la mise en œuvre de radionucléides en sources non scellées, les services de médecine nucléaire sont conçus et organisés pour recevoir, stocker, manipuler en vue de leur administration aux patients des sources radioactives non scellées ou les manipuler en laboratoire (cas de la radio-immunologie). Des dispositions sont également prévues pour la collecte, l'entreposage et l'élimination des déchets et effluents radioactifs produits dans l'installation, notamment pour les radionucléides contenus dans les urines des patients.

Sur le plan radiologique, le personnel est soumis à un risque d'exposition externe, en particulier au niveau des doigts, du fait notamment de la manipulation de certains radionucléides (cas du fluor 18, de l'iode 131 ou de l'yttrium 90), ainsi qu'à un risque d'exposition interne par incorporation accidentelle de substances radioactives.

### ► Les installations de radiothérapie externe

Les appareils doivent être implantés dans des salles spécifiquement conçues pour assurer la radioprotection des personnels ; ce sont en fait de véritables casemates (l'épaisseur des parois peut varier de 1 m à 2,5 m de béton ordinaire). Une installation de radiothérapie se compose d'une salle de traitement incluant une zone technique où se trouve l'appareillage, d'un poste de commande extérieur à la salle et, pour certains accélérateurs, de locaux techniques annexes.

La protection des locaux, en particulier de la salle de traitement, doit être déterminée de façon à respecter les doses limites des travailleurs et/ou du public. Une étude spécifique pour chaque installation doit être réalisée par le fournisseur de la machine, en liaison avec la PSRPM et la personne compétente en radioprotection (PCR).

Cette étude permet de définir les épaisseurs et la nature des différentes protections à prévoir, qui sont déterminées en tenant compte des conditions d'utilisation de l'appareil, des caractéristiques du faisceau de rayonnements ainsi que de la destination des locaux adjacents, y compris ceux situés à la verticale (locaux situés au-dessus ou en dessous de la salle de traitement).

Elle doit figurer dans le dossier présenté à l'appui de la demande d'autorisation d'utiliser une installation de radiothérapie qui est instruite par l'ASNR. En outre, un ensemble de systèmes de sécurité permet de renseigner sur l'état de fonctionnement de la machine (tir en cours ou non) et d'assurer l'arrêt de l'émission du faisceau en cas d'urgence ou d'ouverture de la porte de la salle d'irradiation.

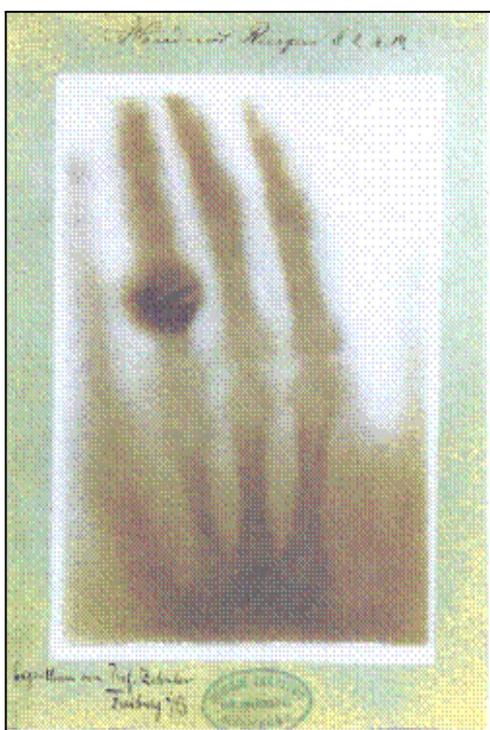
## 9. CONCLUSION

" Les rayonnements sont comme la lance d'Achille, ils blessent et guérissent à la fois " Antoine **BÉCLÈRE** (1866-1939). Plus d'un siècle après la découverte des rayons X et la radioactivité, l'utilisation des rayonnements ionisants a pris une place incontournable dans la médecine d'aujourd'hui, tant sur les plans diagnostiques que thérapeutiques.

Lorsque Wilhelm Conrad RÖNTGEN découvre les rayons X en novembre 1895, il pressent déjà les applications médicales futures de ces rayons mystérieux, surtout après avoir réalisé la première radiographie du monde : la main de son épouse Bertha RÖNTGEN, le 8 novembre 1895. La découverte de la radioactivité, par Henri BECQUEREL, a suivi de très près et son utilisation en médecine rapidement envisagée.

Très rapidement aussi, ces chercheurs ont constaté les conséquences biologiques des rayonnements ionisants sur les organismes vivants, pouvant être source d'effets bénéfiques ou pathologiques.

La renommée de ces découvertes a entraîné leur utilisation excessive et incontrôlée, aussi bien en médecine que dans l'industrie et le commerce pendant les premières années du vingtième siècle. Après la mise en évidence de nombreux cas de cancers chez les physiciens ou les médecins travaillant avec les rayonnements ionisants, les premières mesures de radioprotection sont élaborées.



**Première radiographie mondiale : la main de Me Bertha RÖNTGEN** (1895) (source NEO Editions)

Mais c'est seulement en 1928 qu'une Commission de protection contre les radiations est créée par la Société Internationale de Radiologie. Depuis cette date, la Commission émet régulièrement des recommandations pour limiter les doses reçues tant par les patients que par le personnel médical.

Grâce à ces limitations, la fréquence des cancers dans le personnel médical œuvrant en radio pathologie est identique à celle de la population.

L'utilisation contrôlée des rayonnements ionisants fournit donc à la médecine des moyens d'investigation et de thérapeutique sans risque pour les malades ou le personnel médical et sont complémentaires d'autres méthodes faisant appel ou non à un processus nucléaire (IRM, échographie).

Même si certains accidents récents ont été rencontrés, dus à des erreurs humaines ou une insuffisance de radio vigilance, car le risque zéro n'existe pas, il est nécessaire de poursuivre et de moderniser les installations de radiodiagnostic et de radiothérapie pour permettre leur utilisation le plus large possible.

L'apport de la radiologie à la médecine a aussi été immortalisé par **Marie Curie** qui créera la première « *voiture radiologique* » et installera deux cent salles de radiologie au cours de la première guerre mondiale. Ce sera le balbutiement du futur Service de radiologie des Armées (Voir **Article GAENA N° 40**).

## 10. RÉFÉRENCES

- [1] **ASN** : Les expositions médicales aux rayonnements ionisants <https://www.asn.fr>
- [2] **Bundesamt für Gesundheit** : Applications médicales des rayonnements ionisants. <https://www.bag.admin.ch>
- [3] **AFCN** : Utilisation des rayonnements ionisants dans le domaine médical à **des fins diagnostiques et/ou curatives**. <https://afcn.fgov.be>
- [4] **ANDRA** : Médecine et radioactivité – Tout ce qu'il faut savoir. 21 avril 2022. <https://www.andra.fr>
- [5] **SantéSécu** : Techniques d'imagerie médicales utilisant les rayonnements ionisants. 2022. <https://sante.public.lu>
- [6] **CNP-MN** (Conseil National Professionnel de Médecine Nucléaire) – Les fondamentaux de médecine nucléaire. <https://cnp-mn.fr>
- [7] Wikipédia – La radiothérapie
- [8] Wikipédia – Imagerie médicale
- [9] Wikipédia – Radiologie médicale

[10] Revue Contrôle n° 192 de l'ASN – Imagerie médicale : Maîtriser les expositions aux rayonnements ionisants <https://www.asn.fr>

[11] Institut national du cancer – Qu'est que la radiothérapie ? Traitements. <https://www.e.cancer.fr>

[12] [Fiche argumentaire GAENA " Plateforme DOSEO"](#)

## ANNEXE 1 : GLOSSAIRE RELATIF AUX TERMES UTILISÉS EN MÉDECINE NUCLÉAIRE

La **médecine nucléaire** regroupe toutes les utilisations des rayonnements sur les atomes constituant le corps à des fins de diagnostic ou de thérapie.

### Termes utilisés pour le diagnostic

**To scan** (verbe anglais) : scruter en balayant (comme le radar qui balaye l'horizon). Mais « balayer » est mal connoté en français ; on préfère « scanner ».

**Graphie** : du grec *graphein*, « écrire » ; par extension : représentation imagée (Cf. photographie : photo > lumière) ; on utilise aussi le terme « imagerie ».

**RAYONS X** (de fréquence de  $10^{16}$  Hz à  $10^{20}$  Hz) : obtenus par le freinage d'électrons accélérés dans un générateur électrique et entrant en collision avec les atomes d'une cible métallique.

**RAYONS gamma** (de fréquence supérieure à  $3 \cdot 10^{19}$  Hz) : émis par une source radioactive scellée (cobalt-60) ; les rayons X et gamma sont des photons.

**Scanner** (nom) = **scanographe** = **tomographe** : Appareil de radiodiagnostic composé d'un système de **tomographie** à plan focal par rayons X. Il permet d'obtenir une image des plans de coupe (du grec *tomé*, coupe) d'un organe.

La **stratigraphie** est une tomographie dans laquelle la source de rayons X reste fixe, alors que la **tomodensitométrie (TDM)** utilise un faisceau de rayons X émis par un tube tournant autour du patient. Le tomodensitomètre traite des profils et reconstitue les volumes et leurs structures. La présentation visuelle est réalisée par un système informatique d'acquisition et de traitement d'images.

**L'imagerie par résonance magnétique (IRM)** met en œuvre de gros aimants qui provoquent la vibration du noyau de l'atome d'hydrogène (on disait autrefois RMN : résonance magnétique nucléaire). Elle permet une imagerie fonctionnelle des organes.

**TEP : tomographie par émission de positons.** Un analogue du glucose, le fluorodéoxyglucose (FDG) marqué au  $^{18}\text{F}$ , émetteur de positons, est utilisé comme traceur de la consommation tissulaire de glucose (les cellules tumorales ont une grande affinité pour le glucose)

**RIA** (Radio Immunology Assay) : dosage *in vitro* par radio-immunologie des réactions antigènes - anticorps marqués à l'iode-125.

**Scintigraphie** : localisation dans l'organisme de la substance radioactive administrée (**médicament radiopharmaceutique (MRP)** – le plus souvent du technétium-99m) au moyen d'une **caméra à scintillation** ou **gamma-caméra** ; on utilise aussi le terme **TEMP : tomographie d'émission mono-photonique**.

### Termes utilisés pour la thérapie

La **radiothérapie** est le traitement par rayons X ou gamma. Le rayonnement casse les liaisons chimiques des grosses molécules des cellules cancéreuses et conduit à leur destruction.

La **radiothérapie externe** consiste à délivrer au patient un faisceau (externe) issu d'un **accélérateur linéaire** (ou « **linac** ») médical (qui remplacent désormais les sources gamma de cobalt-60).

**L'arcthérapie**, consiste à faire tourner la tête de l'accélérateur continûment autour du patient

**La flashthérapie**, consiste à délivrer au patient la totalité de la dose prescrite en un temps très rapide.

La **radiothérapie interne**, ou **curiethérapie**, consiste à insérer une source radioactive dans la tumeur ou dans son environnement proche.

- La **curiethérapie interstitielle** : la source radioactive est insérée dans les tissus
- La **curiethérapie endocavitaire** : la source radioactive est projetée dans un tube souple inséré dans une cavité naturelle du corps humain

## ANNEXE 2 : DIFFÉRENTS TYPES D'IMAGERIE MÉDICALE

Type d'imagerie médicale	Echographie	Imagerie par rayons X	IRM	Imagerie par radio-isotopes
Principe	Un faisceau d'ultrasons est émis par une sonde vers une partie du corps, il peut être transmis, absorbé ou réfléchi selon le tissu qu'il rencontre. L'analyse des modifications du faisceau permet de former une image.	Un faisceau de rayons X est envoyé à travers le corps. Plus la partie traversée est dense, plus les rayons sont absorbés. Les rayons transmis sont captés par un film.	Un champ magnétique puissant et stable crée une magnétisation des tissus, des champs magnétiques oscillants plus faibles produisent un phénomène de précession qui donne lieu à un signal électromagnétique mesurable.	
Application	Structure de l'abdomen, des organes génitaux, des muscles, fonctionnement du cœur.	Structure des os, des poumons.	Cardiologie, neurologie, structure de l'abdomen.	Toute exploration fonctionnelle
Durée de l'examen (min)	5 à 15	5 à 15	20 à 60	Dépend de l'examen. Il y a souvent un temps d'attente entre l'administration du radionucléide et la réalisation des images.
Sensibilité	La sensibilité décroît avec la profondeur. Imagerie 3D.	Sensibles sauf pour les tissus mous. Imagerie 2D (3D pour un scanner).	Sensibles pour les tissus mous. Imagerie 3D.	Ciblé et précis. Imagerie 3D.
Risques	Échauffement des tissus.	Faible exposition aux rayonnements ionisants en radiologie conventionnelle. L'exposition est un peu plus importante en scanner. Elle est à balancer avec le bénéfice diagnostic très important de la méthode.	Échauffement des tissus.	Faible exposition aux rayonnements ionisants. Lors des examens couplés il faut ajouter l'exposition liée au scanner réalisé

**ANNEXE 3 – DIFFÉRENTS NIVEAUX D'EXPOSITION D'EXAMENS MÉDICAUX UTILISANT DES RAYONNEMENTS IONISANTS**

Type d'examen	Valeur d'exposition Adulte (dose efficace en mSv)
<b>Radiologie conventionnelle</b>	
Thorax de face	0,02
Bassin de face	0,7
Mammographie	0,6
<b>Tomodensitométrie (Scanner)</b>	
Tête	1,3
Thorax	9
Abdomen - Pelvien	10
Cœur (angiographie par scanner)	8 à 30
<b>Scintigraphie (médecine nucléaire diagnostique)</b>	
Squelette	4
Thyroïde ( <sup>99m</sup> Tc)	0,5
Poumon (ventilation et perfusion)	0,6 + 1,1 soit 1,7
Cérébrale (HMPAD)	3,6
Myocarde avec molécules marquée au <sup>99m</sup> Tc	8
Myocarde avec <sup>201</sup> Tl	23
TEP-Scan	10 à 20

## ANNEXE 4 : SYNTHÈSE DES TECHNIQUES DE CURIETHÉRAPIE

Débit de dose	Sources radioactives utilisées	Exemples d'organes traités	Type d'hospitalisation
Curiethérapie à <u>bas débit de dose</u>	Iode 125 Implants permanents	Prostate	Le plus souvent un à deux jours pour la mise en place des implants. Chambre protégée non nécessaire
	Césium 137 Implants temporaires	Col de l'utérus Utérus Vagin	En chambre protégée quelques jours
	Iridium 192 Implants temporaires	Sein ORL Anus Utérus Vagin	En chambre protégée quelques jours
Curiethérapie à <u>bas débit pulsé</u>	Iridium 192 Implants temporaires	Col de l'utérus Utérus Vagin Prostate Sein ORL Anus	En chambre protégée quelques jours
Curiethérapie à <u>haut débit pulsé</u>	Iridium 192 Implants temporaires	Vagin	Traitement ambulatoire
		Œsophage Bronches Prostate	Hospitalisation de courte durée pour séances de quelques minutes réalisées dans une salle de traitement protégée