

## Dosimétrie clinique en radiothérapie

**La radiothérapie externe :** En radiothérapie, une certaine partie du corps est exposée à des radiations. Le rayonnement ionisant est utilisé : rayons X et électrons produits par des accélérateurs linéaires, rayons gamma produits par des « pompes de cobalt ». La radiothérapie occupe une des toutes premières places au côté de la chirurgie, à laquelle elle est très parfois associée, et de la chimiothérapie dans le traitement contre le cancer.

### Appareils

#### RADIOTHÉRAPIE DE CONTACT

La radiothérapie de contact est une technique d'irradiation des photons basse tension. Il est réalisé au moyen d'un dispositif qui fournit des photons avec une énergie maximale de 50-60 kV.

#### Les appareils de radiothérapie de contact vous permettent d'effectuer selon le modèle

- Des irradiations de lésions accessibles superficielles
- Des irradiations endocavitaire
- Des irradiations per opératoires.

#### Les tumeurs concernées sont :

- Radiothérapie, des lésions cutanées : tumeurs épithéliales, tumeurs Hématopoïétiques à tropisme cutané
- Radiothérapie endocavitaire : cancers touche les hommes ;
- Radiothérapie pero-pératoire : cancer/tumeur du sein, tumeurs/cancers cérébrales, cancers/tumeurs homme.

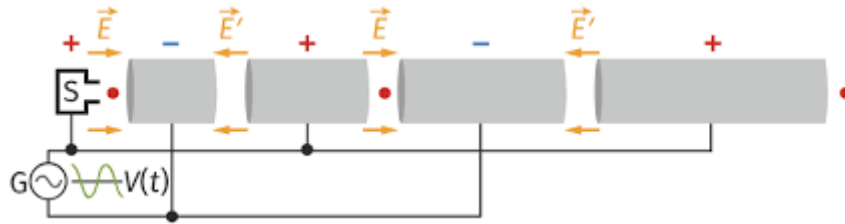
Générateurs de rayons X de basse et moyenne énergie

#### Les appareils actuellement utilisés sont classés en trois catégories :

- Les appareils de contact-thérapie : les tensions utilisées varient de 15 à 50KV, l'intensité du courant est de l'ordre de 2mA. La distance de traitement est faible de 2 à 10 cm et les champs d'irradiation de petites dimensions
- Les appareils de radiothérapie superficiels : tension de 50 à 100 KV et intensité de 8 à 10 mA. Pour une courte distance de traitement (10 à 15 cm), les champs ont une surface de quelques cm<sup>2</sup>. Pour une grande distance de traitement environ 30cm. Les champs d'irradiation de 20\*20 cm<sup>2</sup>.
  - Les appareils de radiothérapie conventionnels : tension supérieur à 200KV intensité 20Ma. La distance de traitement varie de 40 à 50 cm, les champs d'irradiation maximum sont de l'ordre de 20\*20 cm<sup>2</sup> à 40cm du foyer. Appareils de télé cobalthérapie : la source radioactive : le cobalt 60 est un radio élément artificiel produit dans un flux neutronique à partir du cobalt 59 naturel..

La période radioactive T est de 5,27 ans pour le cobalt 60 ce qui implique un changement environ tous les 5 ans.

**Accélérateur linéaire LINAC:** Un appareil qui utilise des ondes électromagnétiques à haute fréquence pour accélérer des particules chargées, telles que des électrons, jusqu'à des énergies élevées à travers un tube linéaire. Le faisceau d'électrons à haute énergie qui en résulte peut être utilisé directement pour traiter les tumeurs superficielles, et il peut également être utilisé pour la collimation afin de produire des rayons X pour traiter des tumeurs plus profondes.



les accélérateurs linéaires sont constitués d'une succession de tubes sous vide, disposés en ligne droite et mis à des potentiels alternativement positifs ou négatifs de sorte que deux tubes successifs soient toujours à des potentiels de signe opposé ; à l'intérieur du tube le champ électrique est nul

Les polarités des tubes sont inversées (inversion symbolisée par les flèches) à l'aide du générateur de haute tension, non représenté sur la figure.

Une particule chargée en passant d'un tube au suivant sera ainsi systématiquement soumise à un champ accélérateur.

La condition est bien évidemment que le potentiel des tubes soit inversé avec une fréquence synchrone avec le passage des particules.

C'est la tâche du générateur de radiofréquences de fournir ce mode synchrone. La fréquence fournie par le générateur étant fixe, il est nécessaire, en plus, d'ajuster la longueur des tubes à la vitesse de la particule :

$L_i = v_i \frac{\pi}{\omega}$  où  $L_i$  et  $v_i$  sont la longueur du tube  $i$  et la vitesse de la particule dans ce tube, et  $\omega$  la fréquence du générateur.

L'énergie acquise par les particules est égale à :

$$E = nZeU.$$

$n$  le nombre des tubes.

Le déroulement d'une radiothérapie repose sur un travail d'équipe entre :

1. Le repérage
2. La dosimétrie
3. Le traitement
4. Le suivi

Avant le traitement proprement dit, une radiothérapie comporte une étape de repérage de la zone à traiter et une étape de calcul de la distribution de la dose (dosimétrie). C'est pourquoi il existe toujours un temps d'attente entre la prise de décision de la radiothérapie et le début effectif du traitement.

1. Le repérage	2. La dosimétrie	3. Le traitement	4. Le suivi
<p>L'oncologue radiothérapeute repère précisément la cible sur laquelle les rayons vont être dirigés et les organes à protéger (cœur et poumons). Pour cela, un scanner centré sur la zone à traiter est réalisé afin d'obtenir une image en trois dimensions de la zone à traiter et des organes voisins.</p> <p>Pendant ce repérage, votre position est soigneusement définie. Vous devrez la reprendre lors de chaque séance. Pour cela, un marquage sur la peau et des contentions spécialement adaptées à votre morphologie .</p>	<p>Outre la dimension et l'orientation des faisceaux, l'étape de dosimétrie consiste à déterminer, par une étude informatisée, la distribution (autrement dit la répartition) de la dose de rayons à appliquer à la zone à traiter. Avec l'oncologue radiothérapeute, le physicien et le dosimétriste optimisent ainsi l'irradiation de façon à traiter au mieux la zone concernée tout en épargnant les tissus sains voisins. Le plan de traitement définitif établit notamment la dose et ses modalités de délivrance (dose par séance, nombre et fréquence des séances...).</p>	<p>En cas de radiothérapie complémentaire d'une chirurgie conservatrice, le traitement en lui-même dure en moyenne 5 semaines, à raison d'une séance par jour, 5 jours par semaine. Cela permet de délivrer une dose de 50 Gy en 25 fractions de 2 Gy.</p> <p>Dans certaines situations précises, la radiothérapie peut être administrée sur une plus courte période, pendant 3 semaines par exemple. C'est ce que l'on appelle un schéma dit hypofractionné. Dans certains cas, une dose supplémentaire de 16 Gy peut être délivrée au niveau du lit tumoral en 1 à 2 semaines. Ce complément de dose est parfois délivré par curiethérapie.</p>	<p>Durant toute la durée du traitement, des consultations avec l'oncologue radiothérapeute sont programmées régulièrement (environ une fois par semaine). L'objectif est de s'assurer que le traitement se déroule dans les meilleures conditions.</p> <p>Des visites de contrôle sont également planifiées à l'issue du traitement.</p>

## **CHAINE DE LA RADIOTHERAPIE**

**Un service de radiothérapie est constitué :**

- 1. Unité de Traitement**
- 2. Unité de Radiophysique**
- 3. Unité de Curiothérapie**
- 4. Unité d'Hospitalisation**  
Il est principalement basé sur un plateau technique qui continent :
- 5. Simulateur**
- 6. Station de simulation virtuelle**
- 7. Station de contourage**
- 8. Station de planification de traitement**
- 9. Système de record (R et V)**
- 10. Accélérateur linéaire**
- 11. Projecteur de source**
- 12. Atelier de moulage**
- 13. Serveur**
- 14. Dispositifs de contrôle de qualité.**

### **Simulateur**

Un scanner n'est pas utilisé dans un but diagnostique, mais uniquement pour acquérir les données anatomiques du patient nécessaires à la mise en œuvre de son traitement

### **Station de simulation virtuelle**

Les coupes scanner produites sont transférés sur la console de simulation virtuelle où le médecin radiothérapeute peut alors dessiner le contour externe, déterminer son faisceau ainsi que l'isocentre.

Les coordonnées de l'isocentre sont envoyées sur le patient via des lasers mobiles, dot par la suite sera tatoué.

### **Station de contourage :**

Le contourage permet de définir les organes à irradier (volume cible) ainsi quelques organes à risques (OAR)

Selon les normes ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements), on peut définir un certain nombre de volumes à irradier :

**GTV** : ou volume tumoral macroscopique (Gross Tumor Volum), il correspond au volume apparent de la tumeur.

**CTV** : ou volume cible anatomo-clinique (Clinical Target Volum) ; il fait référence aux extensions habituelles observées sur les pièces d'exérèse chirurgicale (notion d'envahissement local de la tumeur cancéreuse).

**PTV** : le volume cible prévisionnel (Planned Target volum) ; il tient compte des mouvements du malade, des imperfections des faisceaux (ces deux derniers facteurs sont : marge interne appelés IM , et SM pour marge de mise en place).

On notera que les organes critiques sont représentés en vert foncé.

### **Station de planification de traitement**

Le **TPS** (Treatment Planning System) est un logiciel permettant de préparer un plan de traitement par irradiation en radiothérapie.

Il définit une balistique de traitement grâce à l'acquisition préalable d'images scan d'un patient puis de simuler (calcul du transport de rayonnement dans la matière) la dose déposée aux différents tissus de ce dernier.

Le **TPS** permet de définir les champs de traitement (Angle, collimation forme et taille de champ).

Les Unités Moniteur UM (Linac), le temps de traitement (Cobaltothérapie, Curiethérapie) par champ nécessaire afin de délivrer la dose prescrite par le Radiothérapeute.

### **Système de record (R et V)**

Le système Record and Verify (R&V) est un logiciel informatique qui vérifie la position de la table, collimateur, bras et les modificateurs de faisceau avant que le traitement est donné.

Les composants de ce système sont :

Liens avec le système de planification de traitement (pour comparer les données avec le plan de traitement).

Liens avec le système de contrôle de l'accélérateur linéaire (souvent le système de R&V fait partie du système de commande).

Informations de positionnement du Linac ; y compris la table, le bras, le collimateur, les mâchoires (Jaws) , collimateur multilames (MLC)...

Comptes utilisateurs avec mot de passe pour l'accès et la signature numérique.

Limites de tolérance afin de permettre un traitement avec précision.

Informations sur les patients (nom, prénom, adresse, date et lieu de naissance, photo, médecin traitant, localisation,...).

### **Accélérateur linéaire**

Une fois le traitement approuvé, le plan sera envoyé à la machine pour traitement

### **Projecteur de source**

Un **projecteur de source** est un compartiment blindé contenant une source émettrice de **rayons gamma** de haute activité. Un dispositif permet de contrôler la sortie de cette source à distance, afin de ne pas être irradié. Cet appareil est utilisé dans certains traitements de **curiethérapie** ou lors de **contrôles non destructifs** pour réaliser des **gammagraphies**.

### **Atelier de moulage**

L'atelier sert à la préparation des caches, en Plomb ou en Cerrobend, pour moduler l'irradiation venant d'un faisceau photon ou électron. Ces caches sont remplacés par des MLC pour les faisceaux de photon. Un atelier de moulage contient des moules de différentes tailles en fonction des applicateurs (10x10, 15x15x 20x20x 25x25)

- Pot de Fusion
- Une découpeuse
- Polystyrène

### **Serveur de radiothérapie**

Un serveur est un système d'information de radiothérapie. Il intègre des données patients, des machines, des images et des plans de traitement.

Il assure le transfert de donnée et la communication entre les différents postes clients qui se trouvent sur son réseau sous format DICOM-RT (Digital Imaging and Communications in Medicine-RadioTherapy). Le DICOM-RT contient 7 objets : RT Image, RT Structure Set, RT Plan, RT Dose, RT Beams Treatment Record, RT Brachy Treatment Record, et RT Treatment Summary Record.

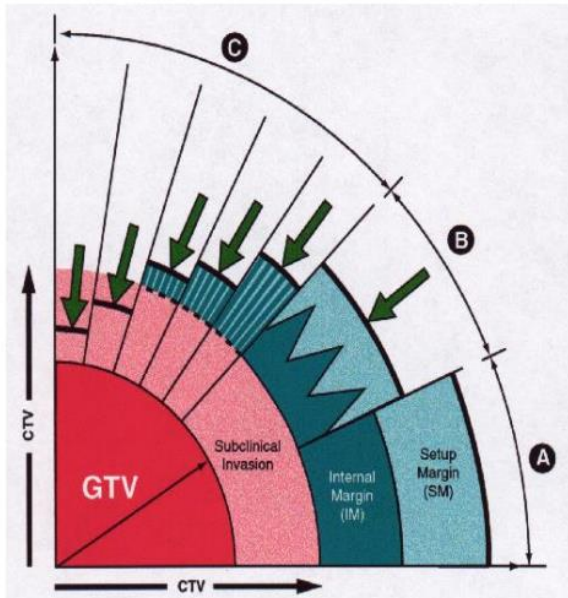
### **Dispositifs de contrôle de qualité**

Plusieurs dispositifs sont utilisés pour le contrôle des machines afin d'assurer le bon fonctionnement.

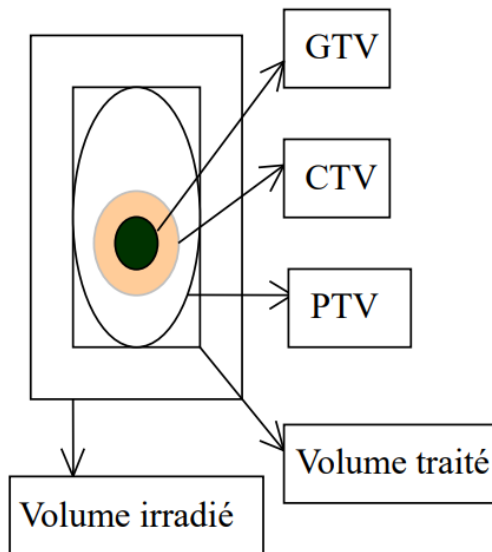
## Déterminer le volume traité pour le patient:

Il est impératif de définir clairement les volumes à irradier pour recevoir les doses

prescrites suivant un concept international décrit par les trois rapports de l'ICRU 50, le supplément 62 et 83 (IMRT).



- Gross Tumor Volume: GTV
- Clinical Target Volume: CTV
- Internal Target Volume: ITV
- Planning Target Volume: PTV
- Organ at Risk: OAR
- Planning Organ at Risk Volume: PRV



## Volume tumoral macroscopique GTV

qui représente l'ensemble des lésions tumorales mesurables, palpables ou visibles sur l'imagerie (scanner, IRM ou TEP). Il recevra logiquement la dose la plus forte.

Le TEP-TDM (Tomographie par Emission de Positons) est un examen combinant 2 images (scintigraphie et scanner), Il consiste à injecter, par voie intraveineuse, un médicament radioactif qui va se fixer sur les tissus cancéreux et inflammatoires.

**Volume cible anatomo-clinique CTV:** qui représente l'ensemble du volume anatomique dans lequel on veut éradiquer la maladie cancéreuse macroscopique et/ou microscopique. Il comprend donc le GTV, ainsi que les extensions infracliniques, non visibles sur l'imagerie, mais connues à partir de l'histoire naturelle de la maladie ;

**Le volume cible interne (ITV : Internal Target Volume) :** qui représente le CTV plus des marges de mouvements internes (physiologique). Ces dernières peuvent être déterminées à partir d'une acquisition 4D synchronisée avec la respiration (scanner 4D ou TEP 4D). La détermination de ce volume permet de prendre des marges de mouvements internes personnalisées au patient ;

**le volume cible prévisionnel (PTV : Planning Target Volume) :** qui comprend le CTV et une marge de sécurité qui permet de prendre en compte :

- le mouvement physiologique des organes (ITV) ;
- les écarts de repositionnement du patient (marge externe) ;
- les erreurs liées à l'équipement (marge externe).

Il prend en compte les incertitudes mécaniques de l'appareil (et non dosimétrique). Le GTV, le CTV et l'ITV représentent donc des volumes cliniques alors que le PTV représente un volume géométrique.

L'ICRU définit l'organe à risque (OAR) comme étant un tissu normal dont la sensibilité aux rayonnements ionisants peut influencer significativement le choix du plan de traitement ou de la dose prescrite. On distingue deux types d'organes à risques :

- les OAR de type parallèle. Ces organes sont sensibles lorsqu'un certain volume de l'organe a reçu une certaine dose. Plus le volume irradié est important, plus la fonctionnalité de l'organe est atteinte (exemple : rein) ;
- les OAR de type série. Ces organes sont sensibles à une dose importante reçue en un point. Si une partie de l'organe atteint cette dose limite, l'intégralité de l'organe ne fonctionne plus (exemple : moelle).

Dans son rapport 62, l'ICRU ajoute la notion de PRV (Planning organ at Risk Volume) qui comprend l'organe à risque et une marge de sécurité comprenant les marges internes et externes.

Enfin, il est défini :

- le volume traité, qui est le volume compris à l'intérieur d'une surface isodose dont la valeur est la dose minimale acceptée dans le volume cible. Cette isodose représente 95 % de la dose de prescription. Ce volume devrait donc être aussi proche que possible du PTV ;
- le volume irradié, qui est le volume de tissus recevant une dose considérée comme significative pour la tolérance des tissus sains. Il est le plus souvent défini par la surface de l'isodose 50 % de la dose de prescription.

La figure I-6 schématise l'ensemble de ces volumes