

Figure I-6 : Représentation des principaux volumes définis dans le rapport ICRU n°50

### Acquisition des données patient et simulation

#### Principales fonctions des TPS en radiothérapie :

L'AAPM (1998) définit la planification des traitements en radiothérapie externe comme étant la procédure mise en œuvre pour déterminer le nombre, l'orientation, le type et les caractéristiques des faisceaux utilisés pour délivrer une dose de rayonnement à un patient présentant une tumeur cancéreuse. Les étapes de cette procédure sont présentées comme suit.

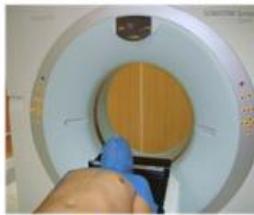
**Positionnement du patient et du système de contention :** Dans cette étape il faut rechercher la position du patient la plus adaptée au traitement (confort, reproductibilité, dégagement des tissus sains). Ainsi que d'avoir un système de contention le plus performant pour maintenir le patient dans la position de traitement.



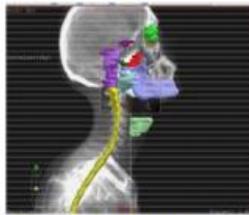
#### Acquisition des images diagnostiques (scanner, IRM, PET) :

Avant l'acquisition de scanner il faut configurer les données de scanner avec le TPS (Nombre de Hounsfield—densité électronique). Après l'acquisition de scanner les images sont transférées vers le TPS ou un système de contournage automatique.

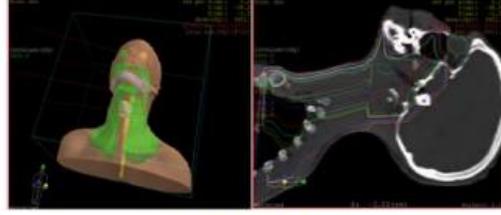
### Traitement:



Scanner



Simulation Virtuel



Dosimétrie:

Positionnement et traitement :

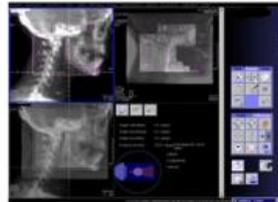
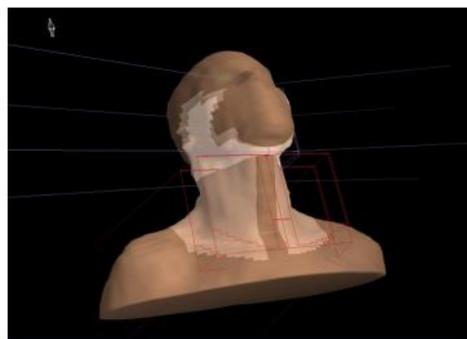


Figure II.2 : Acquisition des images anatomiques

### Définition des faisceaux (optimisation géométrique) :

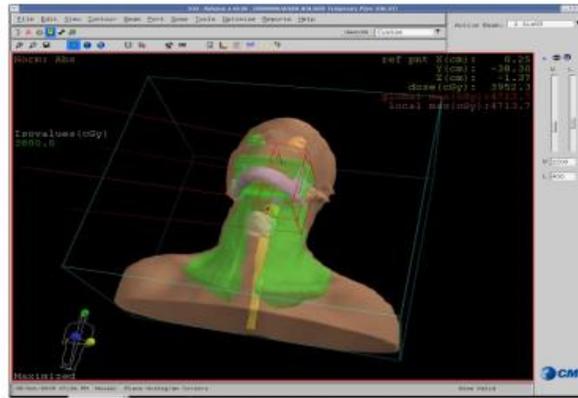
Les physiciens interviennent dans la détermination des faisceaux (énergie, nombre, incidence) pour chaque balistique de traitement. Avec le développement des appareils de traitement les physiciens peuvent conformer les champs aux structures à irradier au moyen des caches et collimateurs mutilâmes, utilisent des modificateurs de faisceaux et déterminent la pondération de chaque faisceau.



FigureII.4: détermination du faisceau

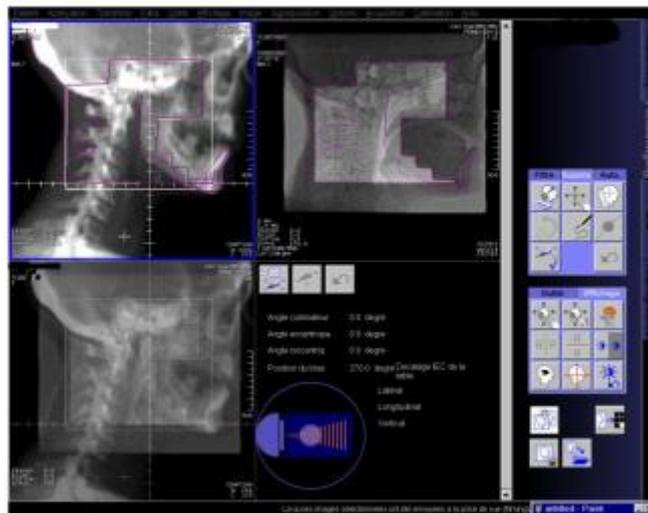
### Calcul de la dose (optimisation dosimétrique) :

Dans le TPS on sélectionne l'algorithme de calcul de dose et la méthodologie de calcul avec le choix de la grille de calcul dosimétrique



**Evaluation du plan de traitement (optimisation dosimétrique) :**

Les calculs dosimétriques s'affichent en 2-D et en 3-D pour l'analyse visuelle des distributions de dose. Avec les moyens d'histogrammes dose-volume (représentation graphique du pourcentage de volume irradié en fonction de la dose délivrée) on peut optimiser les doses délivrées pour répondre aux objectifs cliniques



**FigII.6 : validation du traitement**

**Mise en application du plan de traitement (optimisation dosimétrique) :**

Après les calculs dosimétriques les Unités Moniteur (temps de traitement par faisceau) sont déterminés. La Vérification et validation du plan de traitement se fait par un physicien Médical qualifiée d'une part et un médecin radiothérapeute d'une autre part. A l'aide d'un système d'enregistrement et de vérifications traitements, les plans sont transférés vers l'appareil de traitement.



FigII.7 : optimisation du traitement

## Dosimétrie des faisceaux de photons

### Caractéristiques physiques d'un faisceau de photons dans le vide :

Considérons un faisceau de photons issu d'une source **S** supposée ponctuelle et qui se propage dans le vide .

Un faisceau de photons issu d'une source sera caractérisé par trois types de grandeur : sa distribution spectrale, par ses paramètres énergétiques et par sa distribution spatiale.

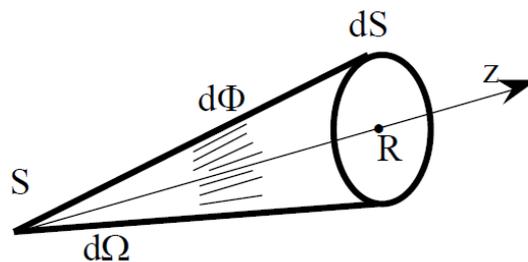


Figure 2.4. Caractéristiques physiques d'un faisceau de photons dans le vide

### II.7.1.1. La distribution spectrale :

C'est-à-dire les proportions relatives des énergies qui sont représentées dans le faisceau

Par exemple : Source radioactive → spectre de raies

Tube de Coolidge → spectre continu

#### Tube de Coolidge

Ce tube est constitué d'une ampoule de verre dans laquelle un filament de tungstène est chauffé par un courant basse tension. Le filament émet des électrons qui viennent bombarder l'anode et ainsi produire les rayons X.

### Les paramètres énergétiques :

#### 1. Flux énergétique ( $\Phi$ ) :

C'est énergie totale transportée par le faisceau par unité de temps. Ce qui nous intéresse plus particulièrement est le flux qui va entrer en interaction avec la matière dont la taille est finie, donc le flux transporté dans l'angle solide qui voit la matière à partir de la source.

#### 2. Intensité énergétique (**I**) : dans une direction donnée

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

Unité : Watt/stéradian

$d$  est pris suffisamment petit pour que  $d\Phi$  soit homogène dans cet angle solide.

3. **L'énergie totale (W)** : L'énergie totale transportée par le faisceau pendant un temps  $T$  est

$$W = \int_0^T \phi(t) dt$$

Unité : Joules

4. **Fluence énergétique ( $\Psi$ )** : Cette quantité de densité de puissance peut être cumulée dans le temps pour aboutir à l'énergie totale qui a traversé  $dS$  pendant le temps d'irradiation, on parle de fluence énergétique.

$$\psi = \frac{dW}{ds}$$

Unité : Joules/m<sup>2</sup>

#### La distribution spatiale :

On caractérise la distribution spatiale d'un rayonnement par l'indicatrice d'intensité énergétique ; si l'intensité énergétique  $I$  ne dépend pas de la direction d'observation, l'indicatrice d'intensité énergétique est une sphère et le faisceau est dit isotrope.

$$I = \frac{\phi}{4\pi}$$

C'est le cas d'une source radioactive de faibles dimensions.

#### Traitements par les faisceaux d'électrons

Les électrons ont une portée bien plus courte que les photons. A titre d'illustration, la portée d'un électron de 1 MeV est d'environ 0.4 cm dans l'eau, tandis que le libre parcours moyen d'un photon de la même énergie est de 14 cm. Autrement dit, les électrons sont vite absorbés et déposent toute leur énergie dans le tissu sous forme d'ionisations; ceci permet d'atteindre des doses importantes nécessaires pour la stérilisation des tumeurs.

#### Temps de traitement et calcul des unités moniteur :

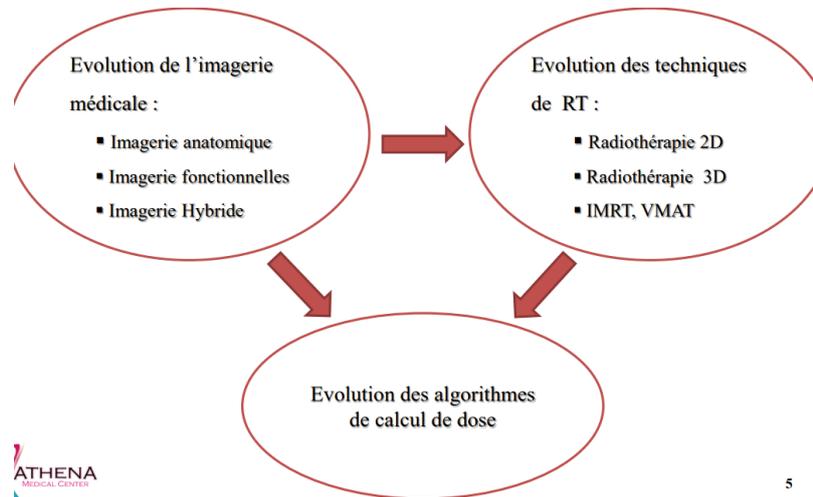
##### La chambre d'ionisation monitrice :

Le débit de dose, l'homogénéité et la symétrie du faisceau sont contrôlés en continu pendant toute l'irradiation du patient par une chambre d'ionisation à transmission constituant le moniteur. Celle-ci est placée dans le champ entre le cône égalisateur et le collimateur secondaire. Pour la sécurité du patient, deux chambres d'ionisations reliées à deux systèmes de lecture indépendants sont utilisées. Les deux chambres sont constituées par l'intérieur d'une cavité scellées afin de garantir une réponse des chambres indépendante la température et à la pression. La réponse des chambres au débit de dose s'exprime en unité moniteur(UM). L'unité moniteur est une unité machine qui fixe la durée de l'irradiation, donc la quantité e dose délivrée.

## Partie B : Systèmes de planning de traitement

Principaux composants matériels d'un système de planification de traitement :

- ✓ Unité centrale de traitement
- ✓ Affichage graphique
- ✓ Mémoire
- ✓ Dispositifs de numérisation
- ✓ Dispositifs de sortie
- ✓ Dispositifs d'archivage et de communication réseau



5

### Imagerie fonctionnelle

Examen qui permet d'obtenir des images du fonctionnement d'un organe ou de l'activité des cellules dans l'organisme. Ces images sont obtenues par scintigraphie ou par tomographie par émissions de positons (TEP), après l'injection, en très petite quantité, d'un produit radioactif repéré par les appareils.

### **L'imagerie hybride**

Améliore la détection préopératoire du ganglion sentinelle chez les patientes présentant un cancer du sein, en particulier chez les patientes obèses. Elle apporte une information facilement exploitable par le chirurgien.

IMRT (pour *Intensity-modulated radiotherapy*) et VMAT (pour Irradiation avec Modulation d'intensité Volumétrique par ArcThérapie) :

repérage avec une très grande précision des tumeurs à irradier et ajustement très fin de la projection des faisceaux de rayons X dans les zones à traiter ;  
reconstruction virtuelle des volumes et lésions pour que des doses optimales selon les organes soient délivrées tout en protégeant au maximum les tissus sains voisins ;  
pour chaque faisceau : irradiation plus ou moins fort selon la cible et intensité modulable en cours de séance (homogénéité de toutes les séances, sécurité).

### **Quels bénéfices ?**

Des effets secondaires moins importants

Un risque de récurrence de la tumeur réduit

Un temps de traitement plus court, donc un positionnement plus facile à tenir et un confort supplémentaire

### **Pour quels types de cancer ?**

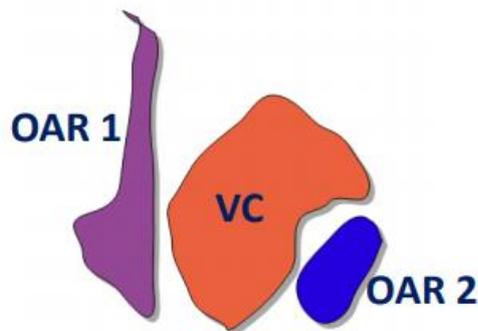
IMRT et VMAT sont utilisées pour traiter les tumeurs de forme complexe : cancers de la prostate, de la tête et du cou et atteignant le système nerveux, et possiblement pour le sein, la thyroïde, le poumon, en viscéral et en gynécologie et pour certains types de sarcomes.

### Le TPS Eclips

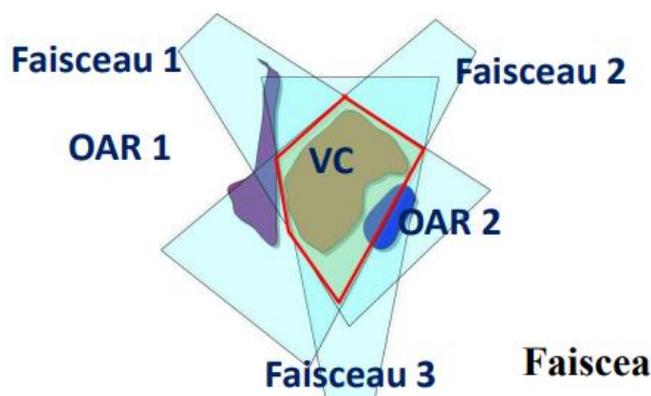
- ✓ La visualisation d'image 3D, la définition de la tumeur et des autres structures anatomiques.
- ✓ La configuration des champs, la simulation virtuelle, le calcul de doses et l'évaluation des plans

### Les principales fonctions d'un TPS :

- Le contourage des volumes cibles et des organes à risque



- La mise en place des faisceaux (photons / électrons)



Le calcul dosimétrique

1. Algorithmes basés sur la correction des données de base (1950)
2. Algorithmes semi-empiriques basés sur la séparation primairediffusé (1970)
3. Algorithmes basés sur la modélisation

## Calcul de dose en radiothérapie externe

La dosimétrie clinique représente un ensemble d'opérations (métrologie et modélisation) qui consistent à calculer et mesurer les doses reçues par le patient exposé aux rayonnements ionisants en tout point d'un volume défini (tumeur ou organe sain) avant de valider le traitement. Elle consiste à déterminer les caractéristiques des faisceaux de rayonnements à l'aide d'algorithmes de calcul. Cet ensemble d'opérations permet de connaître la dose de rayonnement et sa répartition dans le corps, les différents tissus et sur la tumeur. La dosimétrie commence par le contrôle physique des appareils de traitement en radiothérapie externe.

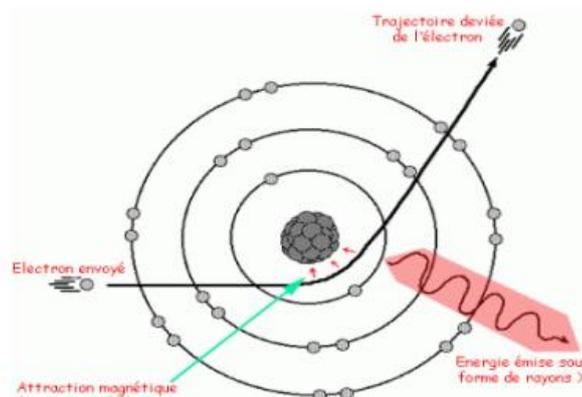
## **Grandeurs physiques et dosimétriques**

L'énergie déposée par des faisceaux dans la matière, est mesurée soit en absolu dans un volume donné soit rapportée à des surfaces ou à des temps

### **1. Principe de la physique des rayons X**

Lorsqu'un électron accéléré passe au voisinage d'un noyau, il est attiré par ce dernier, et subit ainsi une déviation importante en perdant son énergie sous forme de rayonnement X

$$E_{RX} = h.v = h.c/\lambda \quad 1.1$$



## **Fluence et fluence énergétique**

Lorsqu'un faisceau traverse une surface  $dS$  [ $cm^2$ ], supposée petite, qui lui est perpendiculaire, la fluence radiative  $\Phi$  de ce faisceau est le nombre de particules incidentes  $dN$  divisé par unité de surface (Figure 1.5)