

BIOPHYSIQUE

Intitulé du cours : Radiothérapie (Le comeback du Z)

Rédacteur : Le Fif'

Ronéo n° : 5

Corporation des Carabins Niçois

UFR Médecine

28, av. de Valombrese

06107 Nice Cedex 2

<http://carabinsnicois.fr/>

roneo.c2n@gmail.com

Partenaires



Voici Calin, alias l'ours roumain



Coucou ! C'est à nouveau moi, on se retrouve pour le cours de radiothérapie, ce cours est légèrement bateau et présenté par le docteur Humbert. On va pas trop attendre avant de débiter et je vous souhaite bon courage ! <3

Abréviations : RT = radiothérapie ; RI = rayonnements ionisants ; ttt = traitement ; kc = cancer

La Radiothérapie

Nous abordons dans ce cours l'application des rayonnements ionisants dans le cadre thérapeutique qui est l'utilisation de la RT en médecine.

Plan :

- I) Définition et indications de la RT
- II) Bases radio-biologiques
- III) Techniques
- IV) Irradiation ciblée et préservation des tissus sains
- V) Dosimétrie

I) Définition et indications de la radiothérapie

Définition :

Radiothérapie ➤ Utilisation des RI avec objectif thérapeutique.

Elle est utilisée en particulier dans le cancer (oncologie), dans la douleur (antalgique) ou dans un cadre inflammatoire (action anti-inflammatoire). En effet, dans le cancer 60% des patients recevront un ttt de RT.

1 homme sur 2 et 1 femme sur 3 aura un cancer dans sa vie. Ce traitement (RT) concerne donc beaucoup de monde !

Indications :

Les cellules tumorales (du cancer) présentent des aberrations génétiques et qui possèdent des caractéristiques spécifiques comme : l'immortalité (coucou la biocell Yamina <3), prolifération infinie & la possibilité de créer des métastases (envahissement d'un cancer localisé dans une autre partie du corps). On possède alors 3 armes :

- La chirurgie (*cancer à un stade peu avancé typiquement dans l'adénocarcinome pulmonaire, pas la peine de retenir, je vous donne des exemples qu'on voit en p2*)
- La chimiothérapie (pour les cancers métastasés ou avancés) c'est un traitement systémique (per os ou IV) *dans le cadre du cancer pulmonaire à petites cellules.*
- La RT ciblée sur un seul site, remplaçant ou accompagnant la chirurgie, utilisée également en cas de récurrence ou de métastase UNIQUE, on peut parfois l'utiliser sur les sites les plus douloureux lorsqu'il y a plusieurs métastases.

II) Bases radio-biologiques.

Rappels sur les RI : Bases physiques de la RT ➤ Les RI arrachent les e⁻ (ionisations) des atomes des molécules du milieu sous une durée d'action très brève ~ 10⁻¹⁶ s. Ces RI peuvent être électromagnétiques (γ ou X) ou corpusculaires (é⁻, neutrons, protons) capables de produire des ions indirectement ou directement lors du passage à travers les atomes & molécules.

On peut prendre en exemple la particule alpha qui est lourde, très peu pénétrante, et très ionisante. Les e- sont moins lourds mais restent chargés et moyennement pénétrants.

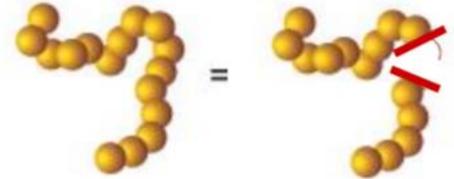
On va étudier plusieurs niveaux d'effets biologiques :

- Moléculaire
- Cellulaire
- Tissulaire

- **Effets moléculaires (cf radiobiologie) :**

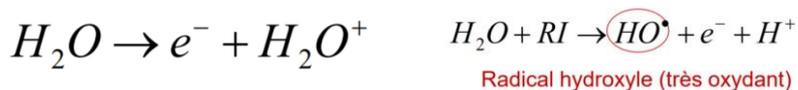
Mécanisme direct :

Le rayon arrive **directement** à arracher un e- à une molécule et la transforme en ion moléculaire, chargée positivement. Ce RI peut également transférer son énergie à un atome de la molécule, la molécule se désexcite et casse la liaison covalente concernée, la molécule initiale est alors scindée en deux qu'on appelle radicaux libres (avec un e- non apparié). On a alors une perte de fonction de la molécule et aussi la création de 2 radicaux libres qui sont des ions moléculaires avec une très haute réactivité en raison de leurs e- non appariés, altérant ainsi d'autres molécules.



Mécanisme indirect :

Cette fois on passe par la radiolyse de l'eau. C'est un effet majeur car 70% du corps humain est composé d'eau. Quand on a un RI qui arrive sur la molécule d'eau, on appelle ça la **radiolyse** de l'eau, aboutissant à une ionisation de la molécule d'eau donnant un e- et une molécule d'eau chargée positivement. L'autre possibilité est la rupture covalente de la molécule d'eau, le RI arrive ainsi sur la molécule d'eau, lui transfère son énergie aboutissant à la création d'un radical libre hydroxyle HO extrêmement réactif possédant une ½ vie très courte.



Les conséquences :

Effets directs (30%) ➤ RI qui rentrent direct en contact avec l'ADN.

Effets indirects (70%) ➤ Formation de radicaux libres et radiolyse de l'eau.

☞ En RT on utilise essentiellement l'action **indirecte**.

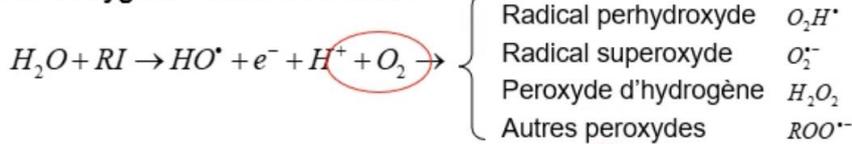
! **Attention** ! Il ne faut pas confondre le radical hydroxyle, OH avec un électron libre qui est très réactif et l'anion hydroxyde HO- qui a gagné un électron et qui est moins réactif.

L'ADN est ciblé par ces RI rompant ainsi les liaisons hydrogènes entre les bases nucléiques. On peut avoir des ruptures simple ou double brin, et également des altérations des bases. De manière spontanée, les ruptures simple brin sont **fréquentes** et sont liés aux radicaux oxygénés entraînant des lésions simple brin. On a également des enzymes de réparation permettant de s'adapter et de réparer les lésions. Lorsque beaucoup de lésions double brin sont présentes, les enzymes de réparation sont alors beaucoup moins performantes. A ce moment là on a des effets cellulaires dûs aux RI.

Lésions	1 Gy 1s	Spontanées/h
Bases	2000	3000
ADN simple brin	1000	5000
ADN double brin	50	<1

Effet oxygène : La radiolyse de l'eau donne un radical ... hydroxyle, un e- libre et un proton, si l'on rajoute un oxygène, ces 3 produits vont réagir avec l'oxygène, produisant ainsi de nouveaux radicaux très puissants appelés peroxydes possédant une longue durée de vie, ayant ainsi le temps d'altérer des molécules et tissus.

▪ **Effets Oxygène** = radiosensibilisant +++



En radiothérapie : On cherche à créer le plus de dégâts possibles afin de détruire la tumeur, on aura donc tendance à privilégier cet effet oxygène qui crée ces radicaux très puissants (on se répète). A chaque séance on a une destruction partielle des cellules tumorales, la tumeur réduit en taille et donc son oxygénation est **meilleure**, augmentant la radiosensibilité du tissu pour la prochaine irradiation.

• **Effets cellulaires :**

Plusieurs possibilités sont à penser, 3 d'entre elles sont recherchés dans le cadre de la RT :

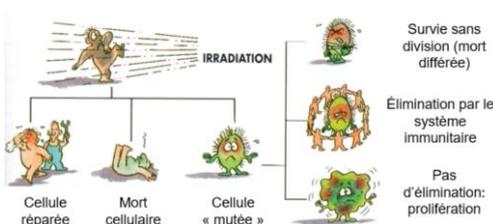
- Cellule réparée (grâce aux enzymes) et reprend son fonctionnement normal.
- Mort cellulaire : par apoptose → ou accidentelle par nécrose → **Objectif RT**
- Cellule mutée ➤

Plusieurs possibilités :

Survie sans division et mort différée → **Objectif RT**

Élimination par l'immunité → **Objectif RT**

Pas d'élimination et prolifération → Echec !



Ce qu'il faut retenir : La RT a pour objectif la mort cellulaire, directe ou différée. On crée une inflammation pour stimuler le système immunitaire des cellules ayant échappé à l'irradiation. (ronéo de l'an dernier)

• **Effets tissulaires :**

Sur la tumeur l'irradiation va entraîner une mort cellulaire (ce qu'on vise), le tissu va être remplacé par un tissu cicatriciel que l'on appelle **fibrose**, on aura une irradiation des tissus sains, c'est un effet **secondaire** qui va être différent selon le temps de renouvellement de ce tissu (tissu spécifique quoi) :

Tissus au temps de renouvellement court ➤ peau, muqueuses, tissu hématopoïétique. Ils auront des réactions précoces au cours et au décours de la RT avec récupération **complète**.

Tissus au renouvellement long ➤ radios résistants mais l'on voit des effets secondaires, plus tardifs, plusieurs mois ou années après irradiation. Les effets sont typiquement une perte du potentiel mitotique, lésions tardives irréversibles (fibrose ou nécrose)

⇒ Il est très difficile d'obtenir 100% de mort cellulaire, on a toujours des cellules résistantes. Elles seront supprimées par le système immunitaire.

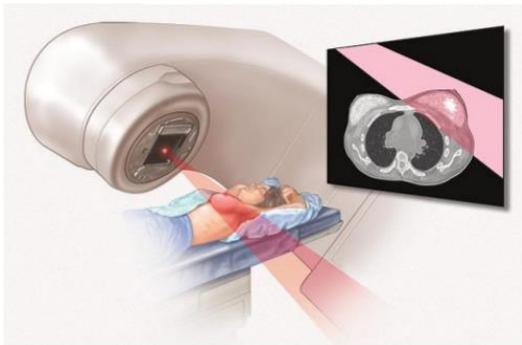
III) Techniques

On va parler de 2 grandes techniques :

- La radiothérapie externe ou transcutanée, la source est externe au patient et émet un faisceau de RI ciblé sur la tumeur (pour le sein ou pour la prostate, poumon ou autre organe). Le RI est produit par un accélérateur linéaire de particules ou par un cyclotron. Les REM sont des ondes n'ayant pas de masse ni de charge, transportant une énergie $E = h\nu$. Lorsque le RI qu'il soit particulaire ou électromagnétique va déposer son énergie dans le tissu traversé. L'importance de ce transfert dépend du RI, du type de milieu traversé et de l'énergie. Ces RI peuvent être produits par des accélérateurs ou des réacteurs nucléaires ou cyclotron.

Non-dit mais cool à savoir :

Protons ➤ cyclotron ; Neutrons ➤ Réacteurs nucléaires



L'accélérateur linéaire est un dispositif permettant d'accélérer des e- pour générer des faisceaux d'e- pour l'électronthérapie soit des faisceaux de RX de haute énergie, ces rayons sont dirigés vers la tumeur. Il fonctionne comme ceci :

- Des e- sont émis par le chauffage d'un filament dans le canon à électrons puis les e- sont arrachés du filament et injectés dans une succession de cavités dans lesquelles règne un champ magnétique accélérant ainsi les e- à une énergie cinétique de 25 MeV.
- Ensuite, les e- sont guidés par un autre champ magnétique pour en faire un faisceau projeté vers la tumeur
- Ces faisceaux accélérés peuvent être utilisés soit directement pour les lésions superficielles (électronthérapie) soit frappé une cible en tungstène générant des RX utilisés en faisceau, pour les tumeurs plus profondes (*je vous ai mis l'image en grand de peur que vous puissiez pas bien voir*)

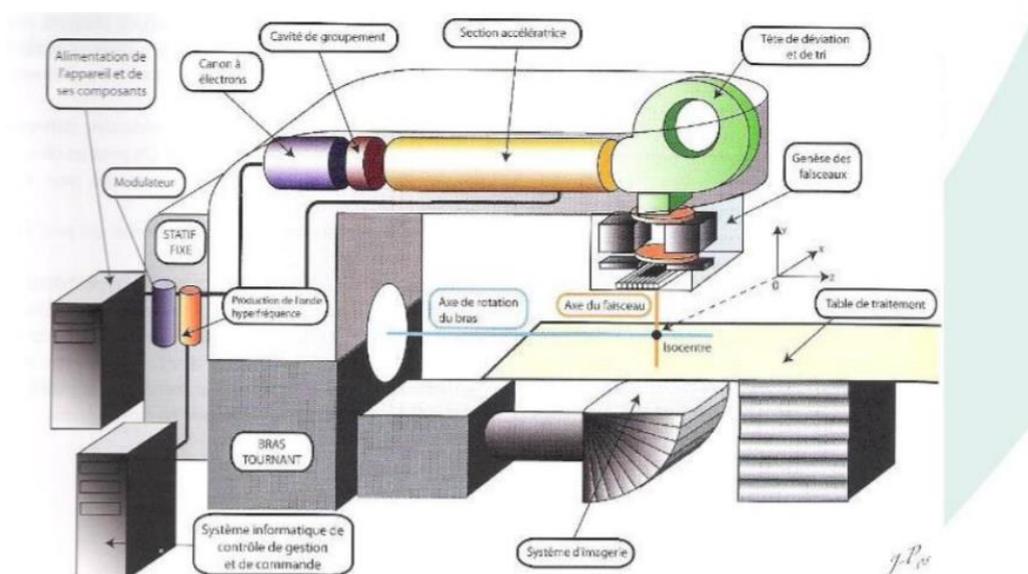
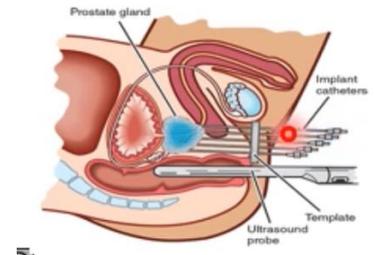


Figure 8.1. Principaux constituants d'un Linac.

Source / Masson: Guide des technologies de l'imagerie médicale

- La radiothérapie interne dans laquelle la source est interne au patient. Soit il s'agit d'une source scellée placée dans l'organisme au contact de la tumeur, ce qu'on appelle curiethérapie. On place alors un cathéter dans la prostate par exemple, la source va alors pénétrer au fur et à mesure dans la glande prostatique. La seconde possibilité est la RT vectorisée, utilisée en médecine nucléaire, reposant sur l'administration d'un radiopharmaceutique marqué et un radio élément pour certaines pathologies et cancers. Donc dans la RT vectorisée est constituée d'un vecteur (lol) qui aura une affinité pour un organe sur lequel on a greffé une source radioactive (RI), le radiopharmaceutique diffuse dans l'organisme pour détruire la tumeur ciblée.



La curiethérapie (brachytherapy) qui est donc une branche de la RT interne utilise un élément radioactif (source scellée) placé à l'intérieur de l'organisme (au contact du cancer du col de l'utérus ou carrément à l'intérieur d'un KC prostatique). La source libère un RI détruisant les cellules KC, son avantage est une irradiation ciblée autour des sources radioactives et une précision bien meilleure, préservant les organes sains environnants. On utilisait auparavant du radium 226 mais aujourd'hui on utilise des émetteurs X (iode 125 dans la prostate) ou Y (iridium, le prof dit alpha je ne comprends pas, demandez à vos tuts !). Dans le KC du sein on utilise des fils d'iridium à l'intérieur de guides pour aller délivrer une irradiation sur quelques heures/jours dans la tumeur. Pour l'iode 125 ce sont des minuscules grains en titane renfermant l'iode, implantés dans la masse tumorale de manière permanente. Cet iode émet des rayons X et Y d'assez faibles énergies et auront une faible irradiation environnante (essentiellement ciblée) sur la tumeur.

IV) Préservation des tissus sains

On le rappelle, l'objectif de la RT est de délivrer un maximum de dose à la tumeur et un minimum au tissu qui l'entoure, l'irradiation de ces tissus entraîne les effets secondaires (cf supra)

➤ Recherche d'un effet différentiel optimal tissu cancéreux/sain.

Le thérapeute va pouvoir utiliser 3 facteurs :

- Spatial (= permettant de délivrer les RI la plus focale possible)
- Temporel (= fractionnement de l'irradiation dans le temps permettant de préserver les tissus sains)
- Association de la RT à d'autres thérapeutiques.

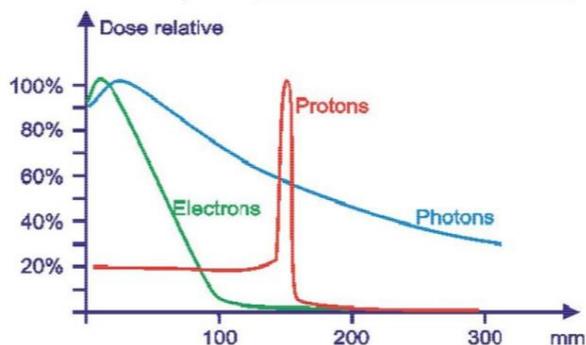
- Facteur spatial :

Ce facteur est déterminé par le type de radiation utilisé, par la géométrie du faisceau d'irradiation.

☞ Selon le type de radiation :

Les rayonnements non particuliers comme les RX ou RY (électromagnétiques de haute énergie) sont assez pénétrants, ne diffèrent non pas par leur nature mais par leur origine (noyau ou cortège), leur énergie plus importante pour les RY et leur mode de production. Les rayonnements particuliers sont chargés ou non, possèdent une masse, leur usage est moins fréquent.

On retrouve les e- et les protons, rapidement arrêtés dans le corps humain de manière proportionnelle à leur charge (assez peu pénétrants, très vite arrêtés), les neutrons quant à eux iront pénétrer très loin car non chargés, mais peu utilisés.

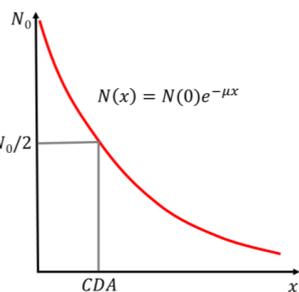


Concernant les protons, ils s'arrêtent à une distance particulière où ils forment le pic de Bragg, distance où l'irradiation en protons est maximale. On voit que les électrons sont arrêtés dans les premiers cms, et que les photons sont les seuls à aller réellement très loin dans le corps humain.

➤ Les photons X :

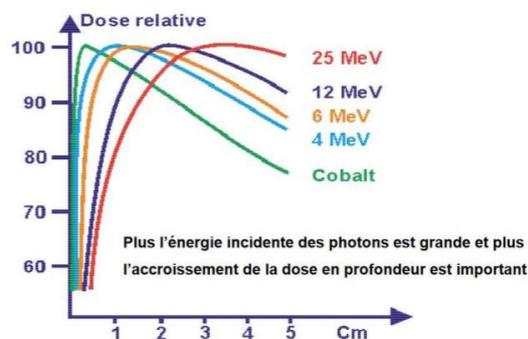
Produits par les accélérateurs linéaires, ils vont traverser les tissus en interagissant avec les e- de la matière, de manière probabiliste (=non obligatoire). Lorsque le photon x rencontre l'e- du cortège il y a différentes interactions possibles :

- Effet photoélectrique ➤ transmission totale de l'énergie du photon vers l'e- du cortège atomique qui sera expulsé
- Effet Compton ➤ Transmission partielle de l'énergie du photon à un e- du cortège
- Création de paires ➤ rare



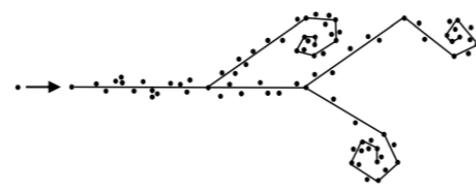
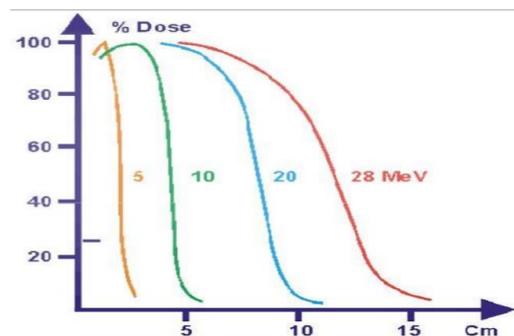
Ces photons x ont des interactions non obligatoires et le nombre de photons va diminuer en fonction de l'épaisseur de manière **EXPONENTIELLE** ! La plupart des photons x interagissent avec les e- des tissus superficiels, les photons x pourront échapper également à ces tissus et pourront potentiellement aller plus loin que ces tissus superficiels.

Ils auront un trajet rectiligne, et plus l'énergie incidente de ces photons x est élevée, plus ils iront déposer leur énergie en profondeur des tissus. Néanmoins on aura une grosse partie de l'énergie qui sera déposée dans les premiers centimètres de tissus rencontrés. A noter que la zone très superficielle (en termes de mm) est épargnée, et c'est expliqué par le fait que les e-secondaires arrachés par le photon X incident, sont projetés vers l'avant et déposent leur énergie cinétique un peu plus en profondeur (au niveau des pics).

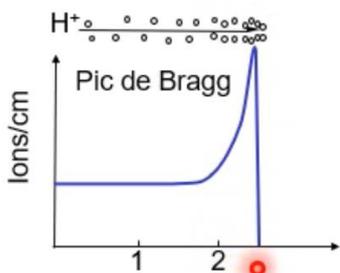


➤ **Les électrons :**

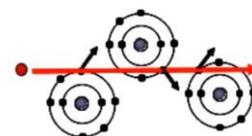
Ce sont des rayonnements particuliers, produits par des accélérateurs linéaires, cependant les interactions se feront par les forces coulombiennes entre les e- incidents et les e- du tissu (= du cortège du tissu). C'est différent des photons car le choc direct (choc frontal) est très rare, on a des interactions à distance par des mécanismes de répulsion ou d'attraction. De par ces forces coulombiennes on aura un transfert de l'énergie cinétique de l'e- incident aux e- du milieu traversé et donc une ionisation des atomes ou parfois la production de RX de freinage. Le pouvoir de ralentissement augmente en fin de parcours, car plus l'e- ralentit, plus les interactions coulombiennes seront nombreuses, et contrairement aux photons, les e- ne dépasseront pas une profondeur connue de tissu. Cette profondeur dépend de l'énergie cinétique des e- incidents. Le TLE (= transfert linéique d'énergie sera élevé càd qu'ils déposeront rapidement leur énergie) il y aura une épaisseur maximale de pénétration. A énergie égale, les e- sont beaucoup moins pénétrants que les photons, et du fait de leurs nombreuses interactions coulombiennes ils auront un trajet non rectiligne, de type sinueux (cf la photo à droite)



➤ **Les protons :**



Ils sont produits à partir d'un cyclotron. Les protons sont des particules assez lourdes en comparaison aux e-, et aux photons (même s'ils n'ont pas de masse t'as compris) et sont chargés ... positivement. *Yepaaa (je vrille)*



Le trajet du proton en raison de sa masse est rectiligne et dans les premiers cm le dépôt de dose sera relativement constant, puis à une certaine distance on aura le pic de Bragg dépendant de l'énergie cinétique du proton. (Juste avant l'arrêt du proton)

On voit ici que le pic de Bragg est atteint à environ 2,5 cm. Or en connaissant l'anatomie de l'œil, la rétine est à cette même distance, ce qui permet d'utiliser les protons afin de soigner des lésions tumorales rétinienne sans toucher le nerf optique (nerf II) derrière la rétine. On peut alors mieux anticiper par rapport aux e- la distance d'irradiation. On aura une dose très importante de délivrance au niveau du pic de Bragg. On aura également des cassures double brin +++.

Le désavantage majeur de cette protonthérapie est la faible pénétration des protons, on doit donc augmenter la dose. Un exemple de cette utilisation des protons est le système proteus one qui permet d'avoir une énergie des protons assez élevée pouvant alors aller très en profondeur. On a alors un pic de Bragg qui peut aller à 32 cm de profondeur. On l'utilise beaucoup en pédiatrie car il faut protéger le tissu environnant des petits, il faut alors être précis.

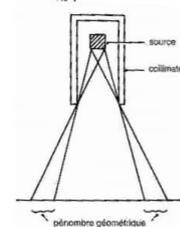
	Ry γ	Ry X	électrons	protons
<i>Nature</i>	Photons		Particules charge -	Particules charge +
<i>origine</i>	Élément naturel radioactif (Cobalt 60)	Accélérateurs linéaires		Cyclotron
<i>Energie</i>	1,25 MeV	4 à 25 MeV	6 à 30 MeV	>50 MeV
<i>Pénétration dans l'eau</i>	<10cm	Plusieurs dizaines de cm		<10-15cm
<i>Cibles</i>	Tête et cou, sein de - en - utilisé	Tumeurs profondes (abdo, thorax)	Cibles superficielles devant un organe critique	Tumeurs superficielles : cutané, œil, enfant...

Voici le tableau qui récapitule un peu tout ce que l'on a vu jusqu'à présent.

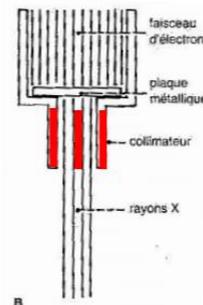
☞ Selon la géométrie (toujours dans le cadre spatial) :

Après avoir étudié l'impact du type de rayonnements utilisés, on va étudier les facteurs géométriques de cette irradiation et leurs conséquences.

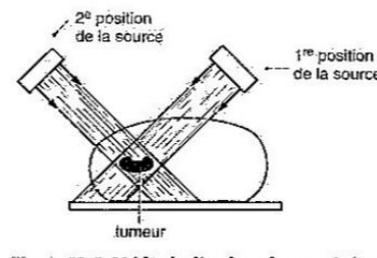
- Le premier type de rayonnement que l'on peut utiliser sont les faisceaux divergents. L'intensité du faisceau dépend de sa distance, elle est inversement proportionnelle au carré de la distance. Le problème est que plus on s'éloigne de la source, plus l'étalement augmente et donc sa précision est moins bonne pour viser la tumeur. Une zone de pénombre existe sur les bords où l'intensité est moins forte. On a donc une irradiation peu homogène.



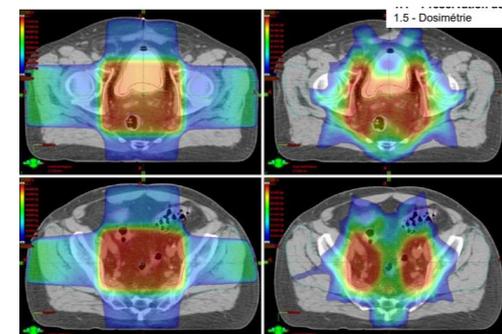
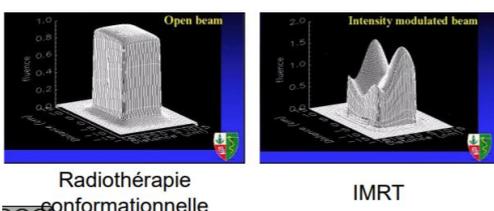
- Le second type de rayonnement sont les faisceaux parallèles. On obtient une bonne homogénéité car on utilise un collimateur qui est un assemblage de fines lames de plombs qui ne laissent passer que les faisceaux parfaitement parallèles. Le faisceau est alors plus précis.



- On a encore d'autres types de faisceaux qui sont convergents sous différents angles, appelé technique RT conformationnelle classique (la plus utilisée). Dans ce type d'irradiation, les faisceaux sont toujours parallèles avec une rotation de la source autour du patient de la tumeur, avec des faisceaux parallèles selon 4 à 6 positions (angles) et on adapte la forme du champ d'irradiation via des caches. Cette technique permet de concentrer l'irradiation sur la tumeur et de limiter l'irradiation des tissus sains en l'étalant sur une grande zone de tissus sains afin de réduire la dose reçue.



- Il existe encore une technique permettant d'améliorer la distribution géométrique de l'irradiation. On a alors la technique IMRT (RT conformationnelle par modulation d'intensité). On utilise toujours une



convergence des faisceaux avec cette fois une modulation du débit de la dose délivré par chacun des faisceaux. Cette modulation est assurée par un collimateur multi-lames, dont les lames sont mises en mouvement au cours de la séance de traitement. On parle alors de modification de la fluence au cours de la séance. On doit alors bien connaître la taille de la tumeur, on effectue alors un TDM (scanner) du patient afin d'établir les contours de la tumeur. *Le prof passe une animation, allez la voir c'est dans la 3^{ème} vidéo aux alentours de 29 minutes 30.* On voit maintenant au niveau du pelvis (du bassin en gros) une tumeur de la prostate. La zone centrale est celle où est délivrée le maximum d'irradiation, avec la technique classique on étale assez l'irradiation sur les tissus sains, or avec la technique d'IMRT, la dose maximale reste vraiment sur la tumeur et non sur le rectum et la vessie qui sont sains.



- La Radiothérapie stéréotaxique robotisée est la dernière technique que nous allons voir. Il s'agit d'une technique de pointe mais différente de l'IMRT. Encore plus précise. On a une technique d'irradiation de haute précision (quasi chirurgicale) créée par un bras articulé. On l'utilise pour des lésions de petites volumes (<3cm) et souvent cérébrales car on veut une irradiation très précise. De plus, le patient est immobilisé par un masque pour que l'irradiation au fil des séances se fasse au même endroit.

Le bras robotisé est hypermobile : il possède 6 axes de rotations avec 1200 positions différentes. Les faisceaux convergents sont multiples ce qui permet une grande précision pour viser la tumeur (très petite on le rappelle) et donc une préservation des tissus sains environnants. Il y a un guidage par imagerie médicale permettant un contrôle des mouvements du patient et de la tumeur. *Le prof passe une animation à la fin de la 3^{ème} vidéo.*

- **Facteurs temporels :**

On le rappelle, le fractionnement de l'irradiation dans le temps permet de préserver au maximum les tissus sains environnants la tumeur !

- Paramètres de l'irradiation :

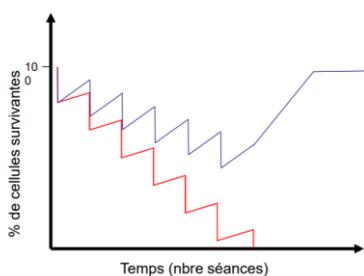
- La dose délivrée D en **gray** (attention en QCM)
- Nombre de séances N (très rare de faire une seule séance)
- La dose totale reçue = $D * N$
- L'intervalle de temps t
- Durée de traitement = $(N-1) * t$

En RT, l'irradiation est souvent quotidienne.

- Mécanisme :

3 mécanismes bénéfiques se présentent : la restauration cellulaire et tissulaire pour les tissus sains, et l'effet oxygène pour les cellules tumorales.

- La **restauration cellulaire** : Entre 2 séances d'irradiation, les cellules saines restaurent leurs lésions ADN plus efficacement que les cellules tumorales car les systèmes enzymatiques de réparation sont plus actifs dans celles-ci.
- La **restauration tissulaire** : L'irradiation entraîne une augmentation de l'activité mitotique des cellules survivantes pour repeupler le tissu : c'est la **repopulation**. Ce phénomène est bien sûr beaucoup plus important dans les tissus ... sains ! (En fait le tissu tumoral est déjà à son maximum mitotique et ne peut plus s'adapter, contrairement aux tissus sains).



L'inconvénient de ces restaurations cellulaire et tissulaire obligent à augmenter la dose délivrée à la tumeur pour la détruire totalement. La courbe haute (tissu sain) et la courbe descendante (tissu tumoral) prennent des directions différentes en raison de la meilleure récupération des cellules saines au fur et à mesure des séances. A la dernière séance il reste assez de cellules saines pour repeupler le tissu.

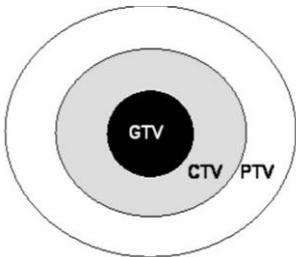
- **L'effet oxygène** : Lors d'une tumeur, le vaisseau qui se situe au centre de celle-ci va l'alimenter en oxygène étant et cette tumeur deviendra plus radiosensible. Cependant les cellules périphériques seront plutôt hypoxiques (sous-oxygénées) et donc radiorésistantes, cette zone pose problème car l'effet oxygène est moindre ici. D'abord ce seront les cellules tumorales radiosensibles qui seront détruites (au début de la thérapie). La mort de ces cellules va entraîner une diminution du volume tumoral, un rapprochement des cellules hypoxiques, une meilleure oxygénation des cellules hypoxiques que l'on va radiosensibiliser pour la prochaine séance.

V) **Dosimétrie en radiothérapie**

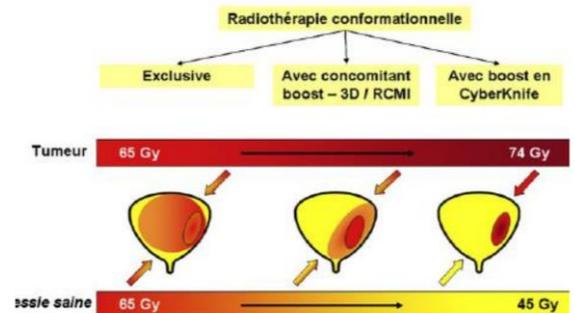
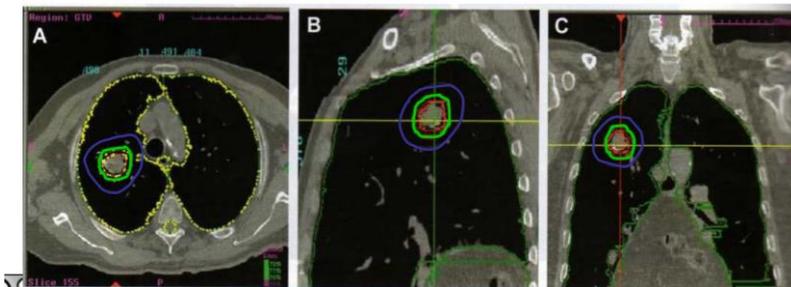
Elle définit et mesure les grandeurs liées à l'énergie déposée des RI pendant la traversée des tissus. Elle tient compte des caractéristiques du RI et du tissu cible.

La dosimétrie permet de contrôler l'exposition par des dosages (dose délivrée) et le centrage (détermination du volume de la cible à traiter via un scan dosimétrique).

On va maintenant illustrer comment on détermine le volume cible des irradiations.



On va devoir faire un contourage (le countouring ma chériiiiiie) de la tumeur par le scanner. Le premier contour qui sur l'image B est entouré au plus proche de la tumeur constitue le volume tumoral macroscopique (GTV) et recevra l'irradiation maximale. Ensuite on a un cercle intermédiaire tenant compte du GTV mais aussi d'une marge d'extension tumorale qu'on appelle CTV. En périphérie on a le volume prévisionnel d'irradiation (PTV) prenant en compte le CTV avec une marge de sécurité tenant compte des variations physiologiques comme les mouvements ventilatoires des poumons.



Place à mes dernières dédicaces !

Alors déjà, grosse dédi à ma fillote Lou qui m'a filé son compte pour que je puisse vous ronéiser l'UE4 (ça fait bizarre nous c'était Ue3A breffff), dédicace également à Emma courage c'est bientôt fini !

Dédicace again à Arthur, Bastouze <3, Brandon, Matilda, Caro, Natacha (coucou les sf). Dédicace à Laurene Piedbourg (allez l'embêter sur insta). Gros hommage à Fabien, et sa pote monkey. Dédis aux D2 que je connais, Syb, Emma, Chaps, Fassi <3 et les quelques-uns que j'oublie ptdrr

Redédi aux bronzés font du ski j'ai nommé : Le Z de l'ezpace, Grindatropbu, Pierrot, Gabite, Alex, Thomas VP fail, Calin l'ours roumain qui sort sans après skis (je sors en caleçon et je fais de la luge perso), can10, Maël c'est bon la neigee, Abite khalil, Ved'alatrik bien entendu mon comparse.

PS : Tom j'ai pissé sur ta caisse.

