

Radiographie

Introduction :

- 1. Définition de la radiographie**
 - 1.1. Informations sur la radiographie**
 - 1.2. Fonctionnement de l'examen radiographique**
 - 1.3. Risques et dangers de la radiographie**
- 2. Production de Rayons X**
- 3. Formation de l'image.**
- 4. Enregistrement de l'image : Radiographie standard - Radiographie digitale.**
- 5. Liste des techniques utilisées en radiologie utilisant des rayons X**
- 6. Technique**
 - 6.1. Le facteur d'agrandissement**
 - 6.2. Radiographie en expirium**
 - 6.3. Radiographie de profil**
 - 6.4. Radiographie du thorax au lit**
 - 6.5. Radiographie de l'abdomen: indications, limitations et technique**
 - 6.5.1. Indications et limitations**
 - 6.5.2. Technique**
 - 6.5.3. Abdomen sans préparation debout**
 - 6.5.4. Abdomen sans préparation couché**
 - 6.5.5. Abdomen: décubitus latéral gauche**
 - 6.6. Radiographie du rachis cervical: indications et limites**
 - 6.6.1. Indications**
 - 6.6.2. Limitations**
 - 6.6.3. Technique**
 - 6.6.4. Cliché de profil**
 - 6.6.5. Cliché bouche ouverte**
 - 6.6.6. Clichés obliques**
 - 6.7. Radiographie du rachis lombaire: indications et limites**
 - 6.7.1. Indications**
 - 6.7.2. Limitations**
 - 6.7.3. Technique**
 - 6.8. Radiographie du rachis lombaire de profil**
 - 6.9. Radiographie du rachis lombaire oblique**
 - 6.10. Téléradiographie**
- 7. Qu'est ce que la radiographie cérébrale**
- 8. Avant de commencer le traitement**
- 9. Les séances de radiothérapie**

10. Les traitements du cancer du cerveau : la radiothérapie et la chimiothérapie

10.1. En pratique

10.2. Effets secondaires

11. Radiothérapie des tumeurs cérébrales chez l'adulte

11.1. Introduction

11.2. Approche radio biologique :

11.3. Approche balistique

11.4. Indications et résultats

11.5. Conclusions

12. Radiothérapie stéréotaxique

12.1. Applications

12.2. Radiothérapie : quels effets indésirables ?

12.3. Les effets secondaires immédiats généraux

13. Le bruit dans l'image

Introduction :

- **Quelques mots sur l'histoire de la radiographie**

1895 Découverte des rayons X par Röntgen

Les rayons X étaient produits par le tube de Crookes et les images étaient enregistrées sur des plaques photographiques. Les premières applications cliniques ou médico-légales apparaissent dans l'année qui suit.

1910 Suite à de nombreux décès de médecins, le danger des rayons X vient d'être compris et les premières mesures de radioprotection sont mises en places.

1913 Tube de Coolidge. Les premiers tubes à rayons X contenaient du gaz. Les électrons produits par la cathode interagissaient avec ces molécules de gaz et l'énergie du rayonnement X produit était dissipée. Ce nouveau tube introduit un nouveau design et surtout le vide à l'intérieur de ce tube.

1915 Table de Potter/Bucky. Supprime le rayonnement diffusé et améliore ainsi la qualité de l'image.

1918 Introduction des films par Eastman

1921 Tomographie conventionnelle par Zieders de Plantes. C'est une technique qui permet de ne visualiser qu'une section du corps. Si les superpositions des différentes structures sont évitées, l'image obtenue n'utilise que le contraste naturel des tissus.

1950 Amplificateur de brillance. Permet une irradiation moindre lors de l'utilisation de la radioscopie.

- ***La découverte des rayons X***



En novembre 1895, à Würzburg (Allemagne), Wilhelm Conrad Röntgen, ingénieur allemand, commence une série d'expériences qui ont pour but d'étudier la pénétration des [rayons cathodiques](#)* dans le verre. Afin de ne pas être dérangé par la lumière émise par le [tube cathodique](#)*, il l'entoure de carton noir, dans une chambre noire. Le soir du 8 novembre 1895, Röntgen observe qu'un écran en carton recouvert de platinocyanure de baryum, situé en face du tube, devient fluorescent ; et en déduit que le verre du tube émet un rayonnement invisible capable d'impressionner une plaque photographique et ce jusqu'à une distance de deux mètres. Il montre aussi que ces rayons invisibles et pénétrants, qu'il nomme X, du nom de l'inconnu algébrique habituel, x (car W. C. Röntgen ignorait alors de quoi il s'agissait), causent la fluorescence de divers matériaux et qu'ils sont d'autant plus absorbés que les éléments ont un numéro atomique élevé. Le phénomène de fluorescence arrête dès que le courant est coupé.

Il poursuit son expérience en interposant divers objets entre le tube cathodique et l'écran fluorescent: une feuille de papier, de carton, d'aluminium, du bois, du verre... Il constate que la fluorescence persiste mais une mince feuille de plomb ou de platine fait disparaître complètement cette fluorescence : les divers objets ont donc une transparence variable. De plus, les plaques photographiques sont impressionnées lorsqu'il les place sur le chemin des rayons X.

Le physicien continue ses recherches en vue de découvrir les propriétés et la nature de ces rayons.

Il en tire quatre conclusions:

- "- Les rayons X sont absorbés par la matière; leur absorption est en fonction de la masse atomique des atomes absorbants.
- Les rayons X sont diffusés par la matière; c'est le rayonnement de fluorescence.
- Les rayons X impressionnent la plaque photographique.
- Les rayons X déchargent les corps chargés électriquement."

1. Définition de la radiographie

La radiographie fournit des **images du corps humain** en utilisant de faibles doses de rayons X.

Les tissus du corps absorbent en effet ces rayonnements de façon plus ou moins importante en fonction de leur « texture » ou plutôt de leur « densité ». Les poumons par exemple les laissent quasiment passer alors que les structures calcifiées (os) les absorbent fortement.

L'image produite par les **rayons X** impressionne une plaque sensible, exactement comme dans la technique photographique argentique. Cette plaque est révélée dans un bain de produits adéquats, en négatif (et généralement conservée comme telle). Aujourd'hui ce principe photographique est numérisé (informatisé), mais le résultat est le même, conservé en négatif : les os apparaissent blancs, les tissus mous sont dans différents tons de gris, et l'air est noir. On utilise parfois des produits de contraste pour voir certains organes creux (lavement et transit œsophagien pour le tube digestif, urographie intraveineuse pour les reins).

1.1. Informations sur la radiographie

La radiographie est surtout utilisée pour **l'étude du poumon**, des os, des articulations et des seins (mammographie). Ces usages actuels sont codifiés par des recommandations officielles (Haute Autorité de Santé : HAS). La radiographie montre des fractures, de l'arthrose, des malformations osseuses. Elle détecte des lésions d'infections bactériennes ou virales, des tumeurs.

1.2. Fonctionnement de l'examen radiographique

Aucune préparation n'est nécessaire ; il n'y a **pas besoin d'être à jeun**. C'est un examen totalement indolore. Après vous être déshabillé quand cela est nécessaire, vous êtes placé sur une table de radiologie (allongé ou debout selon les prescriptions du médecin). Un technicien manipulateur prend le ou les clichés en vous demandant de rester immobile, condition indispensable à la bonne qualité des images. La radiographie (cliché) elle-même dure quelques secondes, l'examen complet quelques minutes. C'est un examen très rapide.

1.3. Risques et dangers de la radiographie

Aucun risque n'a pu être mis en évidence à l'heure actuelle, compte tenu des faibles doses utilisées et des précautions prises pour limiter la partie du **corps irradiée** à chaque examen. Un cliché simple expose à la même quantité de rayons X que celle reçue naturellement du soleil lors d'un voyage en avion de 4 heures en moyenne. Toutefois, par précaution, on limite au maximum le nombre de clichés annuels. L'examen radiographique n'a pas de contre-indication.

Toutefois chez la femme enceinte, il est fait uniquement en cas de **nécessité absolue** (recherche d'embolie pulmonaire, de tumeur mammaire, appendicite, fracture...) surtout en début de grossesse, car l'embryon est très sensible aux rayons X (risques de malformation).

Si vous êtes enceinte ou si vous le suspectez (retard de règles), signalez-le avant l'examen !

2. Production de Rayons X

Le rayonnement X est le résultat du bombardement d'une cible métallique par des électrons animés d'une grande vitesse. Cette opération s'effectue dans un tube où une petite zone de la paroi de ce tube n'est pas recouverte par du plomb. C'est par cette ouverture que sort le faisceau de rayons X utile à la formation de l'image.

3. Formation de l'image.

Prenons le cas d'une radiographie du thorax chez une personne exempte de toute pathologie. Le patient est placé entre le tube à rayons X et une cassette. La quantité de rayons X qui arrive à la cassette dépendra des tissus traversés. Le faisceau de rayons X subira une atténuation importante lorsqu'il traverse des structures osseuses (couleur blanche sur la radiographie), intermédiaire lorsqu'il traverse des structures musculaires (couleur plus grisâtre sur la radiographie), faible lorsqu'il traverse des poumons car les alvéoles sont remplies d'air (couleur noire sur la radiographie). Comme la source de rayons X et la cassette sont fixes, l'image obtenue est une superposition de l'ensemble des structures thoraciques (os, poumons, muscles). Cette superposition peut masquer des lésions. L'échelle des niveaux de gris et la taille des lésions sont également des facteurs contributifs à un possible défaut de perception des lésions.

4. Enregistrement de l'image : Radiographie standard - Radiographie digitale.

Une image radiologique peut être:

- fixée au moyen d'un film standard à base d'argent. Ce procédé nécessite un matériel de développement et une chambre noire. Dès que la radiographie a été perdue, il n'y a plus moyen d'en tirer un second exemplaire;
- enregistrée sur un support informatique lorsqu'elle est numérisée car l'information contenue dans l'image radiologique est désormais véhiculée sous forme de chiffres. La manipulation de ces chiffres permet d'observer la région étudiée sous des formes différentes (visualisation uniquement des tissus médiastinaux, de l'os, du parenchyme pulmonaire, etc.). Ces images numériques peuvent être archivées sur des disques durs, disques optiques, CD, DVD, etc. Elles peuvent être transmises à d'autres centres aux moyens de lignes informatiques, ou téléphoniques via un modem. La radiologie numérique est à la base d'applications comme le PACS (archivage d'images) ou la téléradiologie.

Cette numérisation de l'image peut se faire de deux manières:

- via une installation de radiologie standard et l'utilisation de plaques au phosphore. Ces écrans au phosphore sont lus au moyen d'un appareillage spécial qui restitue l'image sous formes de chiffres;
- via une installation comportant des détecteurs spéciaux. Ces détecteurs transforment directement la «quantité de rayons X» reçus en chiffres. L'acquisition numérique est dite «directe».

5. Liste des techniques utilisées en radiologie utilisant des rayons X

Radiographie standard (thorax, squelette, etc.)

Mammographie

Transit

Lavement

Entéroclyse

Péritonéographie

Urographie intraveineuse

Arthrographie

Artériographie

Scanner (tomodensitométrie)

6. Technique

6.1.Le facteur d'agrandissement

L'image radiologique d'un organe est agrandi et cet agrandissement est d'autant plus important que l'organe est près du tube à rayons X. C'est pour cette raison que les clichés standards de face du thorax sont réalisés en position debout, le tube à rayons X dirigé horizontalement, à une distance de 1m80 de la plaque. Ces conditions constantes permettent une comparaison entre des clichés thoraciques effectués à différentes périodes.

6.2.Radiographie en expirium

Ce cliché complémentaire permet de rechercher un piégeage (présence d'un corps étranger radio transparent par exemple) ou un petit pneumothorax.

6.3.Radiographie de profil

Le cliché de profil est réalisé dans les conditions suivantes:

- en position debout
- le coté gauche du malade appuyé contre la plaque. (Dans ces conditions, le sternum est vu de profil. Compte tenu du facteur d'agrandissement, les côtes gauches (plus proches de la plaque) sont plus petites que les côtes droites)
- Les bras relevés en avant et en haut ne se projettent pas sur le thorax.
- un contraste permettant d'interpréter le médiastin, les hiles et le parenchyme pulmonaire.

6.4.Radiographie du thorax au lit

En principe, ce cliché n'est réalisé que si la station verticale est impossible. Pour ce type de cliché, le faisceau de rayons X a une incidence antéro-postérieure (c'est-à-dire que les rayon X

entrent par le ventre et que le dos est appuyée contre la plaque). La distance patient-tube est diminuée de sorte que la silhouette cardiaque apparaît agrandi tout comme la trame vasculaire. Un grand nombre de ces clichés sont réalisés avec des appareils mobiles. Le déploiement de cet appareil varie selon le TRM de sorte que la distance tube-patient n'est jamais constante. Les lits et leurs dossiers peuvent être surélevés. Autant dire que la comparaison entre clichés d'un même patient est très difficile.

6.5. Radiographie de l'abdomen: indications, limitations et technique

6.5.1. Indications et limitations

Aujourd'hui, le nombre de radiographies de l'abdomen demandé dans le cadre d'investigation de douleurs abdominales n'est pas très important. Cette attitude est justifiée parce que les clichés de l'abdomen ne permettent généralement pas d'aboutir à un diagnostic positif. L'image obtenue lors d'une radiographie de l'abdomen correspond à une superposition d'organes solides entourés de gaz digestifs. Les différences de contrastes entre les divers organes solides sont faibles. Sur un abdomen sans préparation (ASP), la présence d'un effet de masse ne peut se détecter que par un déplacement des lignes graisseuses entourant ces organes solides. Par ailleurs, la présence de gaz digestifs peut masquer la présence de tels déplacements. Dans ces conditions, l'abdomen sans préparation ne permet de découvrir que des effets de masse ayant une taille suffisamment grande. Pour ces mêmes raisons, la détection de petits calculs urinaires radiopaques peut s'avérer difficile voire impossible. L'analyse des gaz digestifs extradiigestifs peut se révéler compliquée en raison du chevauchement, de l'empilement d'anses intestinales. Vu ses performances diagnostiques faibles, l'ASP a été quasiment abandonné au profit de l'échographie et de l'imagerie en coupes (scanner, IRM).

Les schémas d'investigations des pathologies abdominales utilisés dans les services d'urgence permettent de comprendre la place de l'ASP dans les techniques d'imagerie abdominale...

Lors d'une forte suspicion clinique de perforation intestinale, d'occlusion intestinale, d'ischémie intestinale, de rupture d'anévrisme de l'aorte, les patients vont directement au scanner. Il en est de même pour les patients ayant subi un traumatisme à haute cinétique.

Sinon, les principales demandes d'imagerie abdominale sont motivées par:

- la recherche de calculs vésiculaires: seulement 20% de ceux-ci sont possiblement radiopaques (c'est-à-dire visibles sur un ASP). Ces mêmes calculs radiopaques ont souvent une taille trop petite pour être visible sur une radiographie et, très souvent, ils sont masqués par des gaz digestifs. La performance de détection des calculs vésiculaires par l'ASP est faible. La recherche de calcul vésiculaire s'effectue par échographie. La recherche de calculs cholédociens s'effectue par IRM.
- cholécystite: l'épaississement des parois de la vésicule biliaire ainsi que le remaniement périvésiculaire ne sont pas visibles sur un abdomen sans préparation. Le diagnostic de cholécystite ne peut pas être effectué sur un ASP. La mise en évidence de cette pathologie se fait par échographie (alternative: scanner)

- pancréatite aigu: cet organe n'est pas visible sur un ASP. L'indication à un scanner est évidente.
- colique néphrétique: 80% des calculs urinaires sont de tonalité calcique. La dilatation de l'uretère n'est pas démontrée sur un ASP. Les calculs urinaires peuvent être masqués par des gaz digestifs. L'examen de choix est l'uroscanner (alternative: échographie si patiente enceinte)
- appendicite: cette structure n'est pas visible sur une radiographie de l'abdomen. La recherche s'effectue par échographie ou scanner selon corpulence du patient
- diverticulite: les diverticules et l'inflammation péridiverticulaire ne sont pas visibles sur un ASP. Le scanner permet de réaliser le diagnostic avec fiabilité.

Dès lors, l'emploi de l'ASP dans les investigations de douleurs abdominales, devient minime. Les principales indications mentionnées dans les demandes de radiographie de l'abdomen sont:

- recherche de pneumopéritoine (si embouteillage au scanner ou suspicion clinique faible). Néanmoins de nombreuses études ont montrés que 50% des petits pneumopéritoinies étaient manquées par l'ASP.
- localisation de corps étranger
- contrôle d'un iléus
- suivi de calcul urinaires ou contrôle après lithotripsie
- contrôle position de cathéter.

6.5.2. Technique

Les renseignements cliniques déterminent la technique de réalisation des ASP.

6.5.3. Abdomen sans préparation debout

- rayon horizontal - face
- le patient est debout
- le volume exploré s'étend depuis les coupes diaphragmatiques jusqu'au bord supérieur des branches pubiennes.

6.5.4. Abdomen sans préparation couché

- rayon vertical
- le patient est couché (décubitus dorsal)
- le volume exploré s'étend depuis la région abdominale supérieure (comprenant l'intégralité des aires rénales) jusqu'à la symphyse pubienne.

6.5.5. Abdomen: décubitus latéral gauche

- rayon horizontal.
- patient couché sur le côté gauche • le but de cet incidence est de faire monter l'air extra-digestif (pneumopéritoine) dans le flanc droit et le plaquer contre la paroi abdominale.

6.6. Radiographie du rachis cervical: indications et limites

6.6.1. Indications

Les radiographies du rachis cervical sont souvent demandées pour rechercher une étiologie à des douleurs cervicales spontanées, avec ou sans irradiation vers la tête ou les bras. Le médecin référent recherche la présence de lésions dégénératives (arthrose), voire traumatiques (tassement vertébral) ainsi que des anomalies morphologiques des vertèbres. Des contrôles post-opératoires font également partie des indications courantes. La recherche de lésions d'allure maligne ou de lésions infectieuses est une demande moins fréquente.

A partir d'un certain âge, les troubles dégénératifs du rachis cervical sont fréquents et c'est ce que les radiographies standards démontrent le plus souvent. Par ailleurs, les radiographies du rachis cervical doivent être considérées comme bilan initial avant toute investigation par IRM ou scanner.

Certaines pathologies comme la polyarthrite rhumatoïde requièrent des bilans plus spécifiques: des radiographies standard avec incidences dynamiques sont demandées à la recherche d'une subluxation atloïdo-axoïdiennes antérieure.

6.6.2. Limitations

La radiographie standard est une représentation bidimensionnelle d'une structure tridimensionnelle. Dès lors, sur une radiographie standard, les structures composant une vertèbre se projettent les unes sur les autres et une analyse fine d'une vertèbre cervicale devient impossible. Des études ont montrés que des fractures peuvent être mal évaluées ou passer inaperçues sur des radiographies standards. Dès lors, en cas de traumatisme d'une certaine importance, le rachis cervical est plutôt évalué par le scanner.

Les disques, la moelle épinière, les racines nerveuses sont des structures radiotransparentes. Les radiographies standards du rachis cervical ne peuvent pas mettre en évidence des hernies discales ou des pathologies de la moelle épinière. La recherche de ce type de lésions est du ressort de l'IRM.

Pour des raisons inhérentes à la technique, la mise en évidence d'une infiltration tumorale ou d'une atteinte infectieuse discale ou vertébrale est tardive (c'est-à-dire lorsque les lésions sont de grandes tailles). Dans ces situations, l'IRM est une modalité beaucoup plus sensible que la radiologie standard.

6.6.3. Technique

cliché de face

- Rayon incliné vers la tête de 15/20°
- patient assis sur un tabouret, dos contre plaque
- tête bien droite, bras pendants
- bonne visibilité des vertèbres C5 à C7 et TH1 à TH3
- processus épineux sur la ligne médiane

superposition de l'écaille occipitale et du menton.

6.6.4. Cliché de profil

- Rayon horizontal
- patient assis de profil, tête droite
- bras tirés au maximum vers le bas, épaules bien abaissées pour dégager C7
- visualisation des sept vertèbres cervicales, inclus le processus épineux de C7
- superposition des articulations zygoapophysaires et des branches montantes de la mandibule.

6.6.5. Cliché bouche ouverte

Le cliché bouche ouverte centré sur C1-C2 permet d'observer la position du processus odontoïde de l'axis par rapport aux masses latérales de l'atlas (absence d'asymétrie). et l'étude antéro-postérieure

- Rayon horizontal
- patient assis, dos contre plaque
- tête droite, bouche ouverte au maximum.

6.6.6. Clichés obliques

- patient assis sur un tabouret
- en oblique postérieur gauche de 45/60° du côté opposé au côté à examiner (pour trous de conjugaison D)
- tête droite
- bras tirés vers le bas.

6.7. Radiographie du rachis lombaire: indications et limites

6.7.1. Indications

Les radiographies du rachis lombaire sont le plus souvent demandé dans le cadre d'investigations de lombalgies (aigües ou chroniques). Le médecin référent recherche la

présence de lésions dégénératives (arthrose), voire traumatiques (tassement vertébral) ou d'anomalies morphologiques des vertèbres. Les radiographies standards peuvent également détecter des anomalies de la statique (scoliose par exemple) ou des glissements de vertèbres (antélisthesis, rétrolisthesis).

Des contrôles post-opératoires font partie des indications courantes. La recherche de lésions ostéolytiques ou ostéocondensantes d'allure maligne (métastases par exemple) et de lésions infectieuses (spondylodiscite) sont des demandes moins fréquemment formulées.

A partir d'un certain âge, les troubles dégénératifs du rachis lombaire sont fréquents et c'est ce que les radiographies standards démontrent le plus souvent. A moins qu'il n'y ait un contexte clinique évocateur ou spécifique, les radiographies standard du rachis lombaire confirment le diagnostic, mais sont rarement à l'origine d'une découverte impliquant un changement de la thérapeutique. Par contre, elles doivent être considérées comme bilan initial lorsque les investigations sont poursuivies par une IRM ou un scanner.

- **Note importante**

Il n'y a pas de corrélation entre l'importance radiologique des troubles dégénératifs et l'intensité des douleurs ressenties. Des patients peuvent avoir une arthrose sévère radiologique sans retentissement clinique. Cette absence de relation est source de conflit avec les assurances-maladies et pertes de gain.

6.7.2. Limitations

La radiographie standard est une représentation bidimensionnelle d'une structure tridimensionnelle. Dès lors, sur une radiographie standard, les structures composant une vertèbre se projettent les unes sur les autres et une analyse fine d'une vertèbre lombaire devient impossible. Des études ont montré que des fractures peuvent être mal évaluées ou passer inaperçues sur des radiographies standards. Dès lors, en cas de traumatisme d'une certaine importance, le rachis lombaire est plutôt évalué par le scanner.

Les disques, la moelle épinière, les racines nerveuses sont des structures radiotransparentes. Les radiographies standards du rachis lombaire ne peuvent pas mettre en évidence des hernies discales ou des pathologies de la moelle épinière. La recherche de ce type de lésions est du ressort de l'IRM.

Pour des raisons inhérentes à la technique, la mise en évidence d'une infiltration tumorale ou d'une atteinte infectieuse discale ou vertébrale est tardive (c'est-à-lorsque les lésions sont de grandes tailles). Dans ces situations, l'IRM est une modalité beaucoup plus sensible que la radiologie standard.

6.7.3. Technique

Radiographie du rachis lombaire de face

- cassette dans le dos du patient

- rayon horizontal
- patient debout, jambes parallèles, bras le long du corps
- structures osseuses imagées de TH12 à S2
- processus épineux se projetant sur la ligne médiane
- processus transverses visibles.

6.8.Radiographie du rachis lombaire de profil

- patient debout
- épaule droite contre la cassette, profil strict
- jambes droites et parallèles
- bras en avant
- processus épineux, charnière thoraco lombaire et jonction lombo sacrée bien visibles.

6.9.Radiographie du rachis lombaire oblique

- patient couché, côté droit en oblique 35-45 degrés par rapport à la cassette (orientation donnée par la mise en place de coussins)
- les 5 vertèbres lombaires doivent être imagées
- les articulations interapophysaires et les "petits chiens" doivent être bien démontrés.

6.10. Téléradiographie

Cette technique visualise l'intégralité du rachis depuis le crâne jusqu'à la partie proximale des fémurs. La téléradiographie permet de détecter la présence d'anomalie de la statique du rachis (scoliose par exemple) et de juger de leur évolution. Selon les indications, une téléradiographie de face seule/ou avec profil est réalisée.

Téléradiographie
(face).Image 1.



Téléradiographie (profil) 
Image 2.

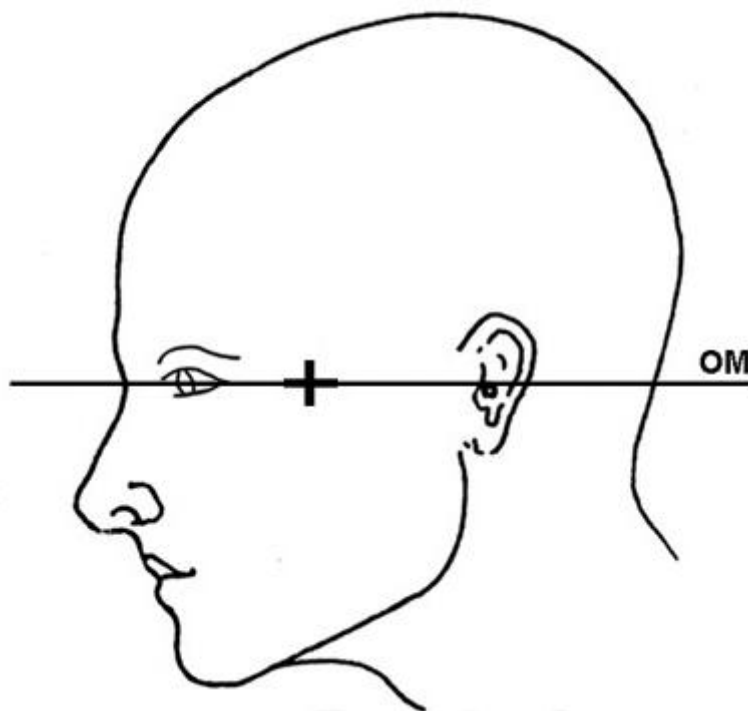


Incidences du crâne :

Principales indications de radiographies du crâne

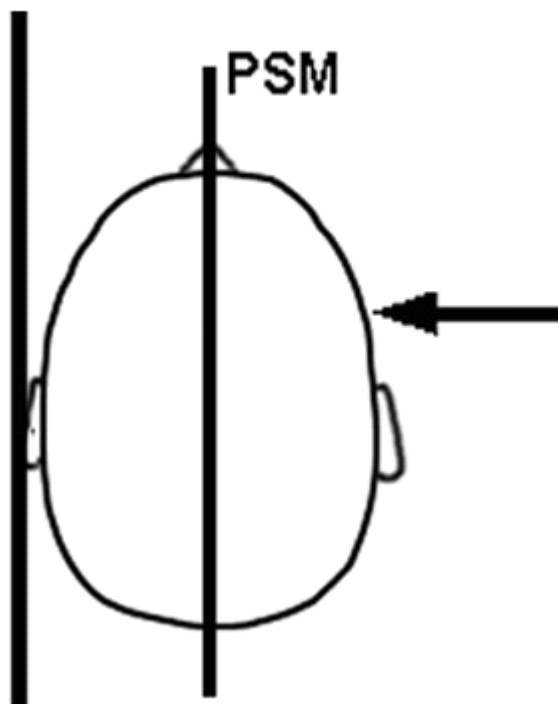
Position du patient

- Patient en procubitus, oreille contre la table
- Plan S parallèle à la table



Angulation et centrage

- Rayon droit
- Centré au milieu de la ligne nasion-CAE



6.10.1. Critères de réussite

- Superposition des toits des orbites

- Superposition des recessus inférieur des sinus maxillaires
- Superposition des C.A.E.



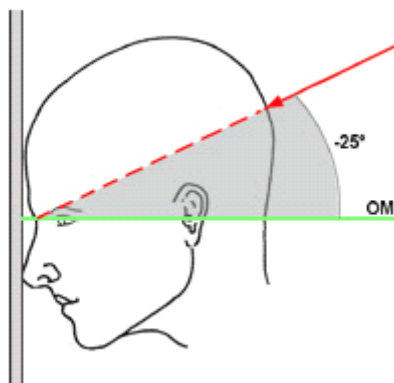
Intêret de l'incidence

- Etude des OPN
- Etude des sinus

Face haute : OM -25°

Position du patient

- Patient en procubitus, front et nez contre la table.



Angulation et centrage

- Rayon : 25° caudal

- Sortant par le nasion

Critères de réussite

- Symétrie de l'incidence
- Les bords supérieurs des rochers se projettent sur les bords inférieurs des orbites



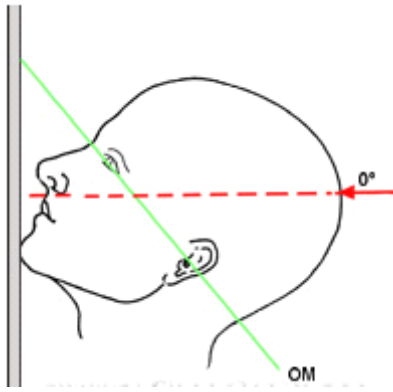
6.10.2. Intérêt de l'incidence

- Cadres orbitaires dégagés de toute superposition
- Visualisation des récessus inférieurs des sinus maxillaires
- Visualisation des sinus frontaux et des cellules ethmoïdales

Blondeau : OM -50°

Position du patient

- Patient en procubitus, menton contre la table



Angulation et centrage

- Rayon : 0°
- Sortant par la base du nez

Critères de réussite

- Symétrie de l'incidence
- Les bords supérieurs des rochers se projettent sous les bords inférieurs des sinus maxillaires

Intérêt de l'incidence

- Etude des sinus

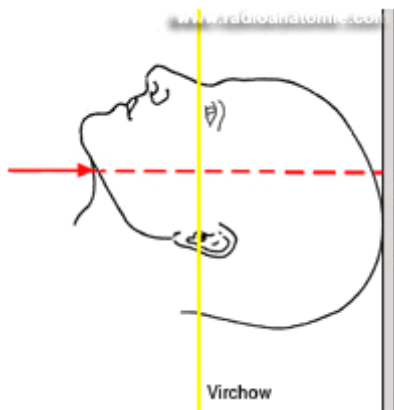


Hirtz : OM -90°

Position du patient

- Patient en décubitus, vertex contre la table

- Plan de Virchow parallèle à la table



Angulation et centrage

- Rayon : 0°
- Entrant 4 cm en arrière de la symphyse mentonnière

Critères de réussite

- Symétrie de l'incidence
- La symphyse mentonnière se projète sur les sinus frontaux

Intêret de l'incidence

- Etude des sinus



7. Qu'est ce que la radiographie cérébrale

La radiothérapie consiste à détruire la tumeur grâce à des rayons. Contrairement aux idées reçues, ce traitement n'est pas réservé au cancer. Il traite aussi les tumeurs bénignes.

La radiothérapie est souvent utilisée après une chirurgie. Elle a pour objectif de supprimer les cellules de la tumeur qui n'ont pas pu être enlevées.

Lorsque la tumeur n'est pas opérable, la radiothérapie est souvent utilisée comme traitement principal, associée ou non à de la chimiothérapie. Elle permet de détruire la tumeur ou de réduire son volume.

8. *Avant de commencer le traitement*

Avant de commencer le traitement, une séance de simulation est planifiée.

Au cours de cette simulation, le radiothérapeute délimite la zone à traiter, appelée volume cible. Pour cela, un examen d'imagerie (scanner et IRM) est nécessaire.

La trajectoire des rayons est ensuite calculée de manière très précise, afin d'atteindre la tumeur et de toucher le moins possible les autres zones du cerveau, en particulier les zones les plus sensibles aux rayonnements (yeux, nerfs optiques, organes de l'audition).

Enfin, le radiothérapeute détermine la position exacte dans laquelle vous devrez être pour chaque séance de radiothérapie. Un masque, fait aux mesures de votre crâne, permettra de retrouver cette position à chaque séance et de maintenir la tête immobile pendant les rayons.

L'étape de simulation dure entre 40 et 60 minutes.

Le traitement lui-même ne commence que plusieurs jours plus tard, après une première séance d'essai sans rayons, appelée mise en place. La séance d'essai peut avoir lieu le même jour que la première séance de radiothérapie.

9. *Les séances de radiothérapie*

Une radiothérapie se déroule le plus souvent sur une période de 5 à 6 semaines, à raison d'une séance par jour, sauf le week-end. Le traitement se déroule parfois sur 3 jours par semaine. Les modalités pratiques (rythme des séances, horaires, lieu de rendez-vous, moyens de déplacement...) sont déterminées au cas par cas pour s'adapter au mieux à la situation du patient.

Les séances sont réalisées par un manipulateur en radiothérapie, appelé aussi technicien de radiothérapie, qui suit les instructions du radiothérapeute. Généralement, il n'est pas nécessaire d'être hospitalisé.

Avant chaque séance, le manipulateur installe le patient dans la position déterminée au moment de la simulation et place le masque sur son crâne.

Chaque séance dure 10 à 15 minutes environ. L'exposition aux rayons en elle-même ne dure que quelques minutes. Les rayons sont totalement indolores.

Tout au long du traitement, le radiothérapeute voit le patient en consultation au moins une fois par semaine pour répondre à ses questions, l'examiner et prendre en compte les effets secondaires éventuels. Au moins une fois par semaine, un examen d'imagerie est réalisé pour vérifier la trajectoire des rayons et la position du patient à chaque séance.

La radiothérapie est un traitement locorégional des cancers. Elle consiste à utiliser des

rayonnements (on dit aussi rayons ou radiations) pour détruire les cellules cancéreuses en bloquant leur capacité à se multiplier.

L'irradiation a pour but de détruire les cellules cancéreuses tout en préservant le mieux possible les tissus sains et les organes avoisinants.

Plus de la moitié des patients atteints d'un cancer sont traités par radiothérapie à une étape de leur parcours de soin.

On distingue la radiothérapie externe et la curiethérapie :

- dans la radiothérapie externe, les rayons sont émis en faisceau par une machine située à proximité du patient ; ils traversent la peau pour atteindre la tumeur.
- dans la curiethérapie, des sources radioactives sont implantées directement à l'intérieur du corps de la personne malade.

Il existe une troisième modalité de radiothérapie, la radiothérapie métabolique. Elle consiste à administrer, par voie orale (boisson ou capsule) ou par injection intraveineuse, une substance radioactive, qui se fixe préférentiellement sur les cellules cancéreuses pour les détruire.

La radiothérapie métabolique est utilisée pour traiter certains cancers de la thyroïde, la maladie de Vaquez et certaines métastases osseuses.

10. Les traitements du cancer du cerveau : la radiothérapie et la chimiothérapie

La radiothérapie et/ou la chimiothérapie peuvent y être associées ou être utilisées seules lorsque l'opération n'est pas réalisable.

La radiothérapie est l'un des traitements les plus utilisés dans la prise en charge des tumeurs cérébrales primitives. Elle utilise des rayons ionisants dont la forte énergie permet de tuer les cellules cancéreuses.

Ces rayonnements sont focalisés sur la tumeur afin de concentrer leur énergie sur les cellules tumorales et de limiter leur impact sur les tissus sains voisins. Cependant, les cellules saines environnant la tumeur peuvent être touchées et leur altération peut engendrer des effets secondaires transitoires. La radiothérapie est souvent utilisée après la chirurgie, seule ou en association avec la chimiothérapie. Elle peut également être envisagée sans chirurgie, seule ou en association avec une chimiothérapie.

Dans tous les cas, sa mise en œuvre comprend plusieurs étapes dont l'ensemble porte le nom de plan de traitement. Un scanner ou une IRM préparatoire est d'abord programmé. Cet examen permet au radiothérapeute de définir très précisément la façon dont l'appareil de radiothérapie devra être utilisé et positionné lors des séances de traitement et de calculer la dose totale et le nombre de séances à prévoir (le schéma d'irradiation) pour détruire la tumeur tout en préservant au mieux les zones saines.

Entre cet examen préparatoire et les différentes séances de radiothérapie, la position du patient doit être scrupuleusement identique. Pour cela, un point de marquage (tatouage ou marqueur) peut servir de repère. Un masque de contention, une fois placé sur la tête, aide le patient à être parfaitement immobile lors des différentes séances.

Il existe différentes techniques de radiothérapie utilisées pour délivrer le rayonnement de façon la plus précise possible au niveau du tissu tumoral :

la radiothérapie conformationnelle tridimensionnelle est la technique la plus utilisée aujourd'hui dans le traitement des tumeurs cérébrales. Elle permet d'optimiser la dose à administrer en calculant précisément la façon de positionner le faisceau de rayons sur le volume à traiter. Elle utilise pour cela les images en 3D qui ont été obtenues par scanner et/ou IRM ;

la radiothérapie conformationnelle avec modulation d'intensité repose sur le même principe que la radiothérapie conformationnelle tridimensionnelle. La différence réside en la capacité de l'appareil à moduler l'intensité du faisceau administré au cours d'une même séance selon la zone traitée de la tumeur ;

la radiothérapie en conditions stéréotaxiques est une méthode récente qui permet surtout de traiter les petites tumeurs bien délimitées, notamment lorsqu'elles sont difficiles d'accès par chirurgie. Elle utilise des faisceaux de rayons convergents qui irradient la tumeur avec une précision millimétrique. Elle peut ainsi concentrer une dose suffisante sur la masse tumorale en vue de la détruire. Lorsqu'une seule séance suffit on parle aussi de « radiochirurgie », l'irradiation remplaçant le geste chirurgical. Pour certaines tumeurs, ce traitement est réalisé en plusieurs séances : on parle de radiothérapie en conditions stéréotaxiques hypofractionnée. Pour garantir la précision du rayonnement, la tête du patient est maintenue dans un cadre de stéréotaxie.

10.1. En pratique

Le schéma d'irradiation le plus utilisé actuellement est appelé « schéma en fractionnement classique » : il comprend une séance quotidienne tous les jours de la semaine sauf le week-end et les jours fériés. Le nombre de semaines de traitement dépend de la dose totale à délivrer, qui dépend du type de tumeur cérébrale. La durée quotidienne d'une séance classique est de 10 à 15 minutes. L'irradiation elle-même ne dure que quelques minutes, la majeure partie de la séance étant réservée au contrôle de la position de traitement. Plus rarement, une séance unique de radiothérapie ou quelques séances (de 3 à 10) réparties sur une ou deux semaines peuvent être proposées pour de petites tumeurs en rechute, par exemple.

10.2. Effets secondaires

Certains effets secondaires peuvent apparaître lors d'une irradiation cérébrale. La dose de rayons, la technique de radiothérapie utilisée, l'emplacement de la tumeur influencent la survenue de ces effets.

Un œdème cérébral peut survenir au bout de quelques semaines après le début du traitement. Il n'entraîne pas toujours de symptômes, mais lorsque c'est le cas, des céphalées, des nausées et/ou de la fatigue peuvent survenir. Parfois, la radiothérapie majore les symptômes pré-existants liés à la tumeur. Une corticothérapie est prescrite pour faire disparaître l'œdème et les symptômes qui lui sont liés.

Le second effet secondaire fréquemment rencontré après une irradiation est l'alopécie (chute des cheveux). Elle est localisée au niveau des zones sur lesquelles sont orientés les rayons. Elle peut survenir au bout de 2 à 3 semaines. Son importance dépend de la dose délivrée par chaque faisceau. Elle peut être définitive ou non, selon la dose délivrée et la zone irradiée.

La radiothérapie cérébrale peut provoquer d'autres effets secondaires qui peuvent être transitoires ou persister à long terme : crises d'épilepsie, réaction cutanée, somnolence, perturbation des fonctions cognitives... Leur survenue et leur intensité dépend du type de tumeur, de sa localisation et du profil du patient. La plupart du temps, des traitements peuvent

être proposés pour soulager ou réduire ces effets.

11. Radiothérapie des tumeurs cérébrales chez l'adulte

11.1. Introduction

La radiothérapie occupe, après la chirurgie, une place importante dans le traitement des tumeurs cérébrales. Elle a permis d'améliorer le pronostic global de ces tumeurs. Sa toxicité sur le tissu cérébral sain et son efficacité relative dans le contrôle des tumeurs gliales sont connues. Elles motivent la recherche de nouvelles modalités d'administration dans le but d'une augmentation de la radiocurabilité tumorale et d'une meilleure répartition physique de la dose. Dans cette recherche, trois thèmes peuvent être distingués : l'approche radiobiologique, balistique et les nouvelles thérapeutiques.

La seconde partie de ce chapitre est consacrée aux techniques standards d'irradiation des tumeurs cérébrales de l'adulte, à leurs indications et à leurs résultats.

11.2. Approche radio biologique :

La tolérance du tissu sain, inévitablement concerné lors de l'irradiation, est le facteur limitant commun à toute radiothérapie. Depuis Sheline (1980), l'accent est mis sur la toxicité particulière des radiations ionisantes sur le système nerveux central. La physiopathologie de ces troubles a fait l'objet de nombreux travaux expérimentaux chez l'animal ; différentes théories, gliale et vasculaire, ont été proposées pour expliquer la diversité des lésions et leur chronologie (VAN DER KOGEL, 1991). Chez l'homme, cette toxicité est à l'origine de deux complications principales, qui apparaissent dans les mois ou années qui suivent l'irradiation. La radionécrose a été la plus étudiée. Elle est rarement observée, aujourd'hui, après une radiothérapie fractionnée standard utilisant des rayons X de haute énergie. Elle reste toutefois d'actualité avec la pratique récente de hautes doses d'irradiation dans les gliomes malins et le nouvel essor pris par la curiethérapie et la radiochirurgie. Les détériorations intellectuelles représentent une pathologie moins bien connue chez l'adulte que chez l'enfant. Elles concernent principalement la mémoire et sont de gravités variables. Elles sont fréquemment observées depuis qu'elles sont recherchées lors de bilans neuro-psychologiques réalisés avant le traitement puis répétés à distance de la radiothérapie.

Les études cliniques et expérimentales ont mis en évidence des facteurs déterminants dans la survenue de ces complications : le volume cérébral irradié, la dose totale reçue, le délai entre les séances et, tout particulièrement pour le système nerveux central, la dose reçue par séance. D'autres facteurs favorisants, indépendants des paramètres de l'irradiation, ont été également identifiés, principalement de nature vasculaire, tels que l'hypertension artérielle ou le diabète, mais aussi thérapeutique comme l'association d'une chimiothérapie concomitante à la radiothérapie.

Les protocoles de radiothérapie externe fractionnée standards tiennent compte autant, sinon d'avantage, de la tolérance du cerveau sain que des caractéristiques tumorales. En marge de ces traitements, l'hyperfractionnement, appliqué par certains protocoles prospectifs, réduit la dose par séance afin d'augmenter la dose totale sans pour autant accroître la toxicité de l'irradiation. Il est souvent associé à un bifractionnement quotidien afin de ne pas allonger la durée du traitement. Un intervalle de 6 à 8 heures entre les deux séances doit être respecté.

La radiothérapie traite la tumeur en place ou ses reliquats macroscopiques et microscopiques laissés dans le lit tumoral ou circulants dans le L.C.S.. La radiothérapie détruit, bloque ou ralentit le processus tumoral. L'expérience acquise permet, dans une certaine mesure, de

préjuger de la radiocurabilité des tumeurs cérébrales selon leur histologie, leur grade, leur taille, leur localisation et leur propension à disséminer dans le L.C.S.. L'existence d'une relation entre la dose et le contrôle tumoral, après une radiothérapie standard, reste encore incertaine au delà d'une dose de 45 Gy pour les tumeurs bénignes et de 60 Gy pour les tumeurs malignes.

Complétant ces données cliniques, des travaux récents sur le tissu tumoral, réalisés *in vitro* et *in vivo*, ont étudié de nouveaux paramètres tels que la radiosensibilité cellulaire intrinsèque, la cinétique de prolifération cellulaire et l'hypoxie. Leur valeur pronostique sur la radiocurabilité des tumeurs cérébrales reste à démontrer. Ils pourraient, à l'avenir, déterminer une radiothérapie adaptée aux caractéristiques radiobiologiques de la tumeur (COSSET, 1990). Certains protocoles prospectifs d'irradiation accélérée et/ou à dose élevée pour les gliomes de hauts grades, réputés radiorésistants et rapidement évolutifs, témoignent déjà de cette volonté.

11.3. Approche balistique

Les tumeurs cérébrales constituent un champ d'application privilégié pour les techniques modernes d'irradiation basées sur l'imagerie médicale et les systèmes informatiques de représentation tridimensionnelle de la répartition de la dose. Les progrès récents portent sur la définition du volume cible et la maîtrise des conditions d'irradiation.

Le volume cible est le volume anatomique dans lequel on veut éradiquer la maladie. Quand elle est macroscopique, la définition du volume tumoral dépend de la qualité de l'imagerie et de son interprétation. Elle a donc beaucoup progressé ces dernières années avec le développement du scanner et de l'I.R.M.. Pour la maladie microscopique, lorsqu'elle existe, le problème est plus complexe quand la totalité de l'encéphale n'est pas irradié. Plusieurs volumes cibles peuvent être individualisés qui tiennent compte de la probabilité d'envahissement tumoral, de la dose que l'on souhaite y délivrer et du risque encouru du fait de l'irradiation. De grandes variations sont possibles d'une tumeur voire d'une équipe à l'autre. La tendance actuelle est de définir ces volumes d'une façon protocolaire et d'en tracer les limites sur l'imagerie, coupe par coupe, soit en prenant une marge de sécurité autour de la prise de contraste tumorale, soit en se référant à l'œdème péritumoral.

La radiothérapie conformationnelle est l'expression récente des innovations techniques en radiothérapie. Elle fait référence à la conformation du malade et de la tumeur que l'on relève au moyen d'un scanner ou d'une I.R.M. et à partir desquelles on élabore les modalités de l'irradiation. Son concept est à rapprocher de la radiothérapie multifaisceaux avec son cadre stéréotaxique auquel on rapporte la position du volume tumoral et des faisceaux d'irradiation (figure 1). Mais ici, la procédure est compliquée par la forme complexe des faisceaux d'irradiation et par le fait qu'elle doit être répétée durant la trentaine de séances que dure une radiothérapie fractionnée. Lors de sa préparation, de nouveaux outils sont utilisés tels que la visualisation du volume tumoral dans le faisceau d'irradiation quelle que soit son orientation (beam's eye view) (figure 2) et l'histogramme dose-volume qui renseigne sur l'homogénéité de la dose dans le volume cible et sur l'irradiation cérébrale en dehors de celui-ci. La radiothérapie conformationnelle permet ainsi d'être plus précis et plus audacieux dans l'orientation, le nombre et la forme des faisceaux d'irradiation (figure 3). Elle a comme autre avantage de documenter sur l'imagerie tumorale la répartition de la dose à laquelle on se référera pour évaluer les résultats (volume traité exprimé en cm³, siège de la récurrence). D'autres innovations technologiques portant sur la machine de traitement l'accompagnent souvent, comme l'informatisation des paramètres de l'irradiation, l'utilisation de collimateurs multilames et le contrôle en temps réel du faisceau d'irradiation (portal imaging).

Figure 1 : Radiothérapie conformationnelle :
positionnement et contention de la tête et système de référence.

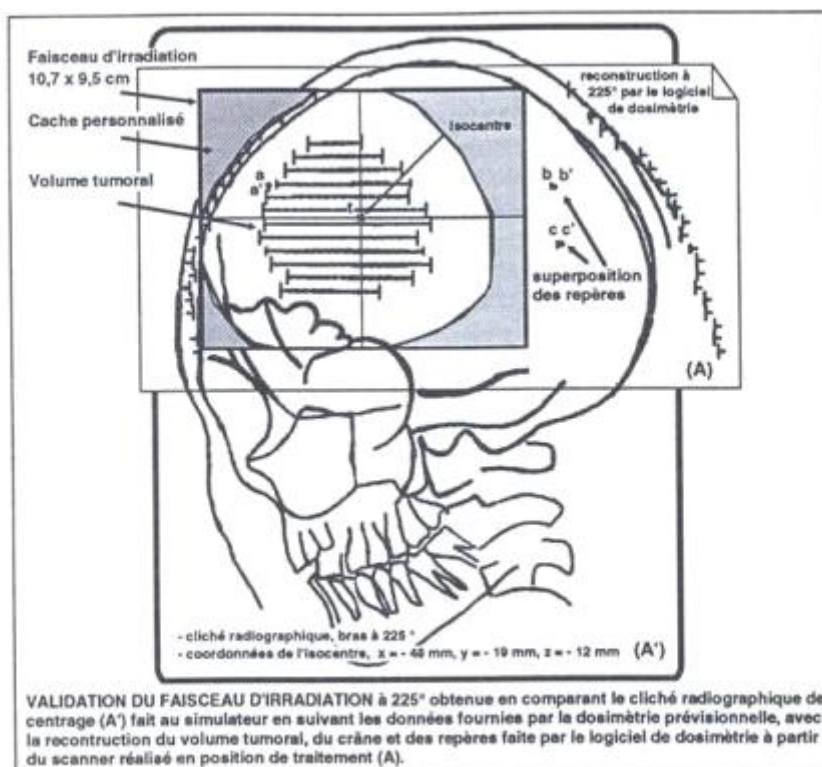
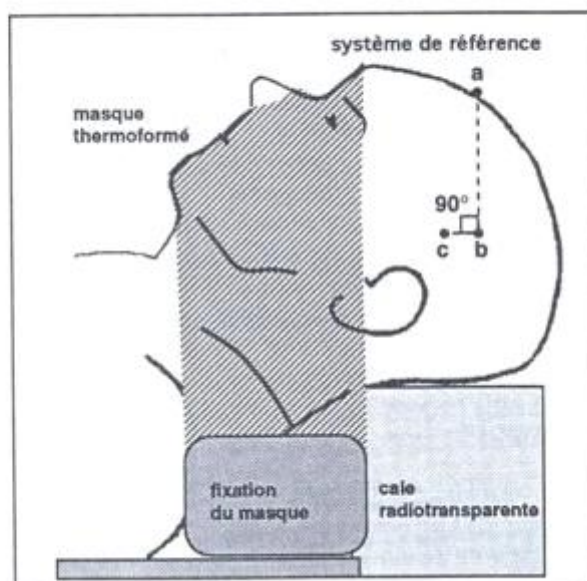


Figure 2 : Radiothérapie conformationnelle : validation d'un faisceau d'irradiation au simulateur.

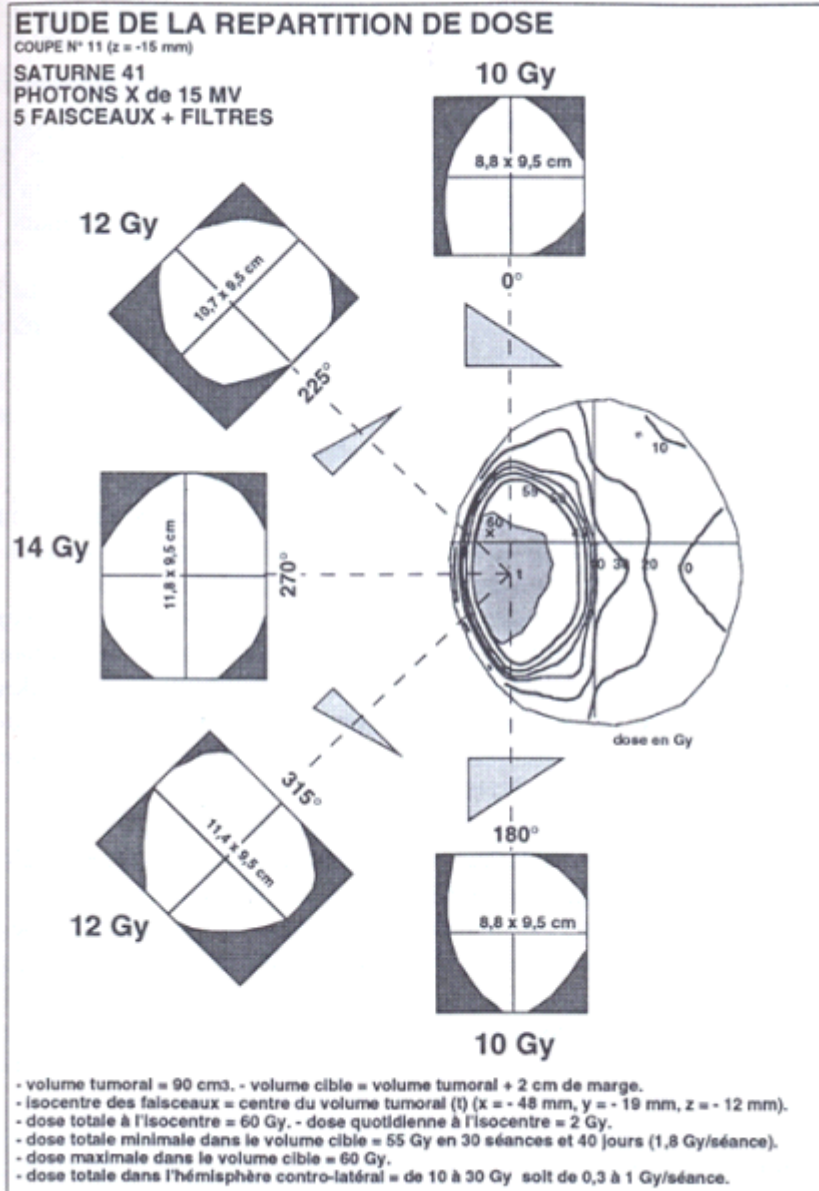


Figure 3 : Radiothérapie conformationnelle : exemple de répartition de dose.

programme d'assurance qualité en radiothérapie externe, 1992) :

- d'un accélérateur linéaire de particules avec un ou deux niveaux d'énergie photons, (6 MV et 15 MV ou plus), souvent complété d'une gamme d'électrons d'énergie variable.
- d'un simulateur qui permet la prise de clichés radiographiques dans des conditions géométriques connues, identiques à celles des appareils de traitement, afin de vérifier le positionnement des faisceaux d'irradiation par rapport à des repères anatomiques ou des marquages cutanés.
- d'un conformateur à palpeur ou optique qui permet le relevé des contours du patient, dans des coupes transverses (ou sagittales) passant par les axes des faisceaux d'irradiation et les régions d'intérêt (volume cible, organes et structures à risque).
- d'un système de calcul de la répartition de la dose qui étudie la balistique de l'irradiation à partir des coupes relevées avec le conformateur et les clichés réalisés avec le simulateur.

et également, d'un système de fabrication des caches personnalisés, de systèmes de contention (serre tête ou masque personnalisé), d'un système d'alignement du patient par centreurs lasers.

D'une façon générale, et tout particulièrement pour certaines techniques complexes comme l'irradiation crânio-spinale, le contrôle de la technique d'irradiation par un radiophysicien est indispensable.

Les rayonnements utilisés. Ce sont des rayons X de 4 à 25 MV, produits par des accélérateurs linéaires. Ils sont de même efficacité biologique, mais de plus haute énergie que les rayons gamma d'une source de CO60 (1,25 MV). Leur rendement en profondeur dépend de leur niveau d'énergie. Ils ont comme avantage de sous-doser les plans superficiels et d'éviter une épilation définitive du cuir chevelu.

Les électrons ont le même effet biologique que les photons. Leur parcours dans les tissus est plus court et peut être modulé en fonction de l'énergie. Les électrons ne sous-dosent pas les plans superficiels, mais limitent l'irradiation des structures critiques situées plus profondément que le volume tumoral ; ils sont ainsi utilisés avantageusement lors de l'irradiation de l'axe médullaire et dans certains méningiomes de la convexité pour une partie du traitement.

Volumes irradiés et choix des faisceaux d'irradiation. On peut schématiquement individualiser trois types d'irradiation, souvent associées entre elles.

- l'irradiation de l'encéphale en totalité est réalisée par deux faisceaux latéraux avec des photons inférieurs à 10 MV pour ne pas sous-doser les espaces sous-arachnoïdiens et les régions sous-corticales. Le malade est allongé sur le dos. Un cache plombé permet la protection des yeux.

- l'irradiation partielle de l'encéphale varie selon le siège de la tumeur. Les tumeurs sous-tentorielles sont traitées par deux faisceaux latéraux opposés. La répartition de la dose peut être latéralisée en jouant sur l'énergie des photons et la contribution relative des deux faisceaux. On peut également utiliser un faisceau postérieur à condition que le rayonnement de sortie passe à distance des yeux. Enfin, on cherche à limiter l'irradiation de l'oreille moyenne.

Pour les tumeurs sus-tentorielles, le malade est allongé sur le dos. La tête posée sur une cale, est fléchie vers l'avant afin d'éloigner les yeux des faisceaux antéro-postérieurs. Les tumeurs polaires, frontale et occipitale, sont traitées, dans la configuration la plus simple, par deux faisceaux orthogonaux latéral, antérieur ou postérieur. Des filtres en coin placés dans les faisceaux homogénéisent la répartition de la dose dans le volume cible. Les tumeurs rolandiques ou du carrefour sont traitées par un faisceau latéral et deux faisceaux antérieur et postérieur. Un faisceau contro-latéral est souvent nécessaire quand la tumeur atteint ou franchit la ligne médiane. Les tumeurs du lobe temporal sont les plus difficiles à irradier de façon homogène à cause de la proximité des yeux. Enfin, les tumeurs de la ligne médiane sont traitées par trois ou quatre faisceaux selon leur siège.

- l'irradiation crânio-spinale est réalisée avec le malade en procubitus. Elle comprend l'irradiation de l'encéphale et de la moelle cervicale par deux faisceaux latéraux. Un cache plombé protège les yeux, la partie antérieure de la face et les voies aéro-digestives supérieures ; son positionnement nécessite une attention particulière, répétée à chaque séance, afin de ne pas sous-doser les méninges sous-frontales. Les espaces médullaires sous-jacents sont irradiés

par deux faisceaux postérieurs jusqu'au cul-de-sac dural. Chez la femme, il existe un risque d'irradiation ovarienne. Le risque de sous-dosage ou de sur-dosage au niveau des jonctions de faisceaux est réduit en les déplaçant au cours du traitement.

Dose, fractionnement et étalement. La dose est exprimé en Gray. Elle peut être définie au point de convergence des faisceaux d'irradiation ou au centre du volume cible selon les recommandations internationales. Elle peut être encore représentative de la dose minimale délivrée dans une isodose enveloppant le volume cible. Le gradient de dose dans le volume cible doit être inférieur à $\pm 5\%$. Le rythme hebdomadaire est de 5 séances par semaine. La dose quotidienne est classiquement de 1,8 à 2 Gy par séance à l'exception des métastases cérébrales où il est courant de délivrer 3 Gy par séance.

Suivi des malades. La radiothérapie est souvent réalisée en ambulatoire. Une corticothérapie est prescrite en cas de tumeurs malignes en place, de céphalées fréquentes ou de syndromes déficitaires. Elle est adaptée à la symptomatologie lors des consultations hebdomadaires. Elle est poursuivie suffisamment longtemps après la radiothérapie dans les formes les plus graves avant d'être réduite progressivement quand c'est possible. Les consultations sont surtout l'occasion d'entretiens réguliers avec le malade qu'il faut rassurer sur sa maladie, quelle qu'en soit la gravité, et sur les effets secondaires de l'irradiation cérébrale. L'épilation au niveau des portes d'entrée et de sortie des faisceaux d'irradiation se voit vers la troisième semaine. La repousse des cheveux est observée deux à quatre mois après la radiothérapie, en fonction de la dose reçue par le cuir chevelu.

11.4. Indications et resultats

Les indications et les modalités de la radiothérapie standard pour les tumeurs cérébrales malignes et bénignes sont présentées dans le tableau 1 (d'après BATAINI, 1981).

La radiothérapie a rendu curable, avec une survie à 5 ans de $40\pm 20\%$, le médulloblastome considéré il y a quarante ans comme pratiquement toujours fatal (KARLSSON, 1987). Mis à part des cas exceptionnels, le traitement admis par tous aujourd'hui est radio-chirurgical. L'irradiation crânio-spinale est jugée indispensable même en l'absence d'ensemencement méningé ; sa toxicité, observée également chez l'adulte, ne la remet pas en cause mais incite à réduire la dose d'irradiation prophylactique. La récurrence locale reste la première cause d'échec et constitue la cible vers laquelle il faut diriger nos efforts.

Pour le glioblastome et les gliomes malins, le bénéfice d'une radiothérapie post-opératoire existe même s'il est temporaire. La survie à 2 ans d'une étude à l'autre varie de 20 à 45% pour les gliomes anaplasiques et de 4 à 10 % pour les glioblastomes (KARIM, 1992). Toutes ces études soulignent l'incidence pronostique de paramètres comme l'indice de performance, l'âge des malades, le siège de la tumeur, la taille et la qualité de l'exérèse, ce qui rend difficile la comparaison de différentes attitudes thérapeutiques même lorsqu'il s'agit d'essais randomisés.

Il y a théoriquement plusieurs arguments en faveur d'une irradiation post-opératoire immédiate des astrocytomes de bas grade en l'absence d'une exérèse complète, comme : le plus faible nombre de cellules tumorales, le risque de voir se développer des foyers de cellules hypoxiques et radiorésistantes, le risque de transformation maligne, enfin le risque d'une qualité de vie altérée lors de la survenue de la récurrence (KARIM 1992). La survie à 5 et 10 ans varie de 41 à 51% et de 23 à 33% respectivement (GUTHRIE 1992). En revanche, l'attitude qui consiste à "attendre et voir" se justifie dans les astrocytomes pilocytiques très lentement évolutifs. Le second problème posé par ces gliomes bénins est celui de la dose à délivrer. Il

existe en Europe et aux Etats-Unis plusieurs essais en cours qui opposent une surveillance à une radiothérapie post-opératoire et pour “ceux qui y croient” une dose de 45 Gy à celle de 60 Gy.

Pour les tumeurs bénignes, comme le crâniopharyngiome, l'adénome hypophysaire ou le méningiome du sinus caverneux, la radiothérapie atteint des taux de contrôle élevés. Cependant, elle n'aboutit pas à la disparition de la tumeur comme le permet un geste chirurgical. Les effets délétères de l'irradiation semblent, aujourd'hui, plus à craindre que la mortalité et la morbidité opératoires ; c'est pourquoi l'indication d'une radiothérapie pour ces tumeurs résulte des contre-indications de la chirurgie, soit d'emblée soit à l'occasion d'une récurrence avec ou sans réintervention.

Tableau 1: Radiothérapie standard. Indications et modalités.

TUMEUR	INDICATION	VOLUME CIBLE et DOSE (1,8 à 2 Gy/séance, 5 séances par semaine) (marge de sécurité variable de 1 à 3 cm)
Glioblastome Gliome anaplasique Gliome du tronc	post-opératoire ou exclusive si inopérable, ± associé à une chimiothérapie.	volume tumoral + marge > 3 cm (± réduction à 50 Gy) = 60 Gy volume tumoral + marge (réduction à 45-50 Gy) = 55 à 60 Gy volume tumoral + marge (réduction à 45 Gy) = 55 Gy
Astrocytome de bas grade Oligodendrogliome	± post-opératoire, si récurrence, si exérèse incomplète, rarement exclusive.	volume tumoral + marge (réduction à 45-50 Gy) = 55 Gy
Ependymomes : - sus-tentorial - sous-tentorial - LCR +	± post-opératoire, si récurrence, si exérèse incomplète, post-opératoire, ± associé à une chimiothérapie.	volume tumoral + marge (réduction à 45-50 Gy) = 55 Gy fosse postérieure ± réduction = 55 Gy, ± axe 35 Gy idem médulloblastome
Médulloblastome	post-opératoire, ± associé à une chimiothérapie.	névraxe = 35 Gy (± 10-15 Gy dans volume réduit) fosse postérieure ± réduction = 55 Gy
Pinéales : - T. germinale - Pinéoblastome ou LCR + - autre histologie	post-opératoire ou exclusive si inopérable, ± associé à une chimiothérapie.	volume tumoral + marge = 45-50 Gy, ± névraxe volume tumoral + marge = 55 Gy + névraxe volume tumoral + marge (réduction à 45-50 Gy) = 55 Gy
Crâniopharyngiome	± post-opératoire, si récurrence, si exérèse incomplète, rarement exclusive.	volume réduit = 55 Gy
Méningiomes : - sinus caverneux - autre localisation - anaplasique	± exclusive, ± post-opératoire, si récurrence, si exérèse incomplète, post-opératoire.	volume réduit = 45-50 Gy volume tumoral + marge = 50-55 Gy volume tumoral + marge = 55-60 Gy
Adénome hypophysaire	± post-opératoire, si récurrence, si exérèse incomplète, rarement exclusive.	volume réduit = 45-50 Gy
Lymphome cérébral	post-opératoire ou exclusive si inopérable, ± associé à une chimiothérapie.	encéphale en totalité = 35-40 Gy + volume réduit si possible = + 10-15 Gy
Métastase	post-opératoire ou exclusive si inopérable, ± associé à une chimiothérapie.	encéphale en totalité = 30 Gy /séance + volume réduit si possible = + 10-15 Gy

11.5. Conclusions

La nécessité d'une approche multidisciplinaire pour le traitement des tumeurs cérébrales malignes est actuellement bien admise. Aujourd'hui, la radiothérapie se donne les moyens de définir précisément sa cible et quitte les schémas standards d'irradiation à la recherche d'une plus grande efficacité thérapeutique. Dans les tumeurs bénignes, les progrès balistiques récents permettront d'étendre, sans trop d'appréhension, les indications d'une radiothérapie post-opératoire lorsqu'il existe un risque de récurrence. Dans la plupart des cas, la radiothérapie des tumeurs cérébrales est l'affaire de centres spécialisés bien équipés, ayant un accès facile aux moyens d'imagerie moderne et doté d'une équipe solide de radiophysiciens sur laquelle repose la réalisation des techniques sophistiquées d'irradiation.

12. Radiothérapie stéréotaxique

La radiothérapie stéréotaxique est un type de radiothérapie externe. Stéréo signifie en 3 dimensions (3D) et taxique signifie explorer. La radiothérapie stéréotaxique permet de diriger des faisceaux de radiation vers une région très spécifique, habituellement le cerveau.

On peut administrer la radiothérapie stéréotaxique de 2 façons.

Lors d'une radiochirurgie stéréotaxique (RCS), on émet une seule dose élevée de radiation vers la tumeur (fraction unique). Ce traitement ne comporte pas de chirurgie puisqu'on ne fait pas d'incision (coupure) et que du tissu n'est pas enlevé par voie chirurgicale.

Lors d'une radiothérapie stéréotaxique (RTS) fractionnée, on émet de plus faibles doses de radiation qu'on administre en plusieurs séances (fractions multiples) jusqu'à ce qu'on atteigne la dose totale désirée.

12.1. Applications

On a surtout recours à la radiothérapie stéréotaxique pour traiter de petites tumeurs au cerveau, qu'elles soient bénignes ou malignes. Elle permet de traiter :

les tumeurs qui sont situées en profondeur dans le cerveau

les tumeurs qui sont difficiles à atteindre ou qu'on ne peut pas enlever par chirurgie parce que cela causerait des dommages à trop de tissus normaux du cerveau

une récurrence ou des métastases au cerveau

On peut aussi avoir recours à la radiothérapie stéréotaxique pour administrer une dose supplémentaire de radiation (complément d'irradiation) au cerveau après une radiothérapie externe classique afin de détruire toutes les cellules cancéreuses qui pourraient rester.

12.2. Radiothérapie : quels effets indésirables ?

La radiothérapie fait partie des traitements de référence du cancer, soit de façon externe soit interne avec la curi-thérapie. Son efficacité s'accompagne d'effets secondaires non négligeables du fait de l'irradiation des cellules saines jouxtant les cellules cancéreuses. Ils peuvent être immédiats lorsqu'ils surviennent pendant la radiothérapie et durant les semaines qui la suivent, ou tardifs, plusieurs mois, voire plusieurs années, après la fin du traitement.

12.3. Les effets secondaires immédiats généraux

La fatigue est un effet fréquent, perturbant fortement les activités quotidiennes. Elle est provoquée à la fois par la maladie, les traitements antérieurs (chirurgie ou chimiothérapie), mais aussi par les déplacements journaliers pour se rendre aux séances de radiothérapie.

Les troubles sexuels sont fréquents, liés davantage à la perception modifiée du corps du fait de la maladie. Il est tout à fait possible d'avoir des rapports sexuels durant une radiothérapie qui est sans incidence sur le désir.

La fertilité est susceptible d'être altérée par les rayons et une grossesse est contre-indiquée pendant le traitement (on recommande d'attendre 18 mois après sa fin avant d'en débiter une). En cas de cancer gynécologique, chez une femme non ménopausée, le fonctionnement des ovaires est perturbé par la radiothérapie du bas-ventre : une ménopause peut s'installer et nécessiter un traitement hormonal substitutif. Les ovaires sont parfois déplacés chirurgicalement chez les très jeunes patientes afin d'éviter cette ménopause : c'est la

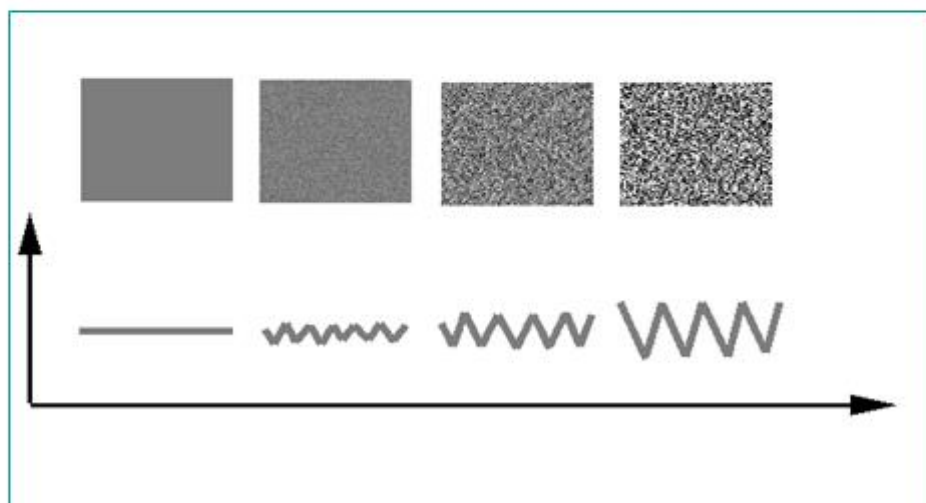
transposition des ovaires. Chez les sujets jeunes, le prélèvement d'ovocytes ou de sperme avant le traitement doit être systématiquement discuté avec le médecin.

Un oedème est également possible, ce gonflement étant provoqué par une accumulation de liquide dans la zone traitée. Il persiste parfois à l'arrêt du traitement mais disparaît dans l'année qui suit.

La radiothérapie n'a pas d'impact sur les cellules du sang, hormis lors d'une radiothérapie de la moelle osseuse ou d'une grande partie du thorax, de l'abdomen ou du pelvis. L'apparition de taches rouges, appelées purpura, ou de bleus peut ainsi traduire une diminution du nombre de plaquettes et doit être signalée rapidement.

13. Le bruit dans l'image

Le bruit se manifeste sur l'image par la présence de petites variations de densités (aspect « granuleux » de l'image) dans les zones où la densité devrait être homogène (la variation de densité n'est pas due à une absorption différentielle dans la structure radiographiée).



Le **bruit quantique** est dû à la **fluctuation statistique du nombre de rayons X** absorbés par le détecteur. Chaque partie du détecteur ne reçoit pas exactement la même quantité de rayons X, le nombre de rayons X absorbés varie autour d'une valeur moyenne N selon un écart type de $\pm \sqrt{N}$.

$$N \pm \sqrt{N}$$

Pour limiter le bruit quantique, il faut augmenter N (augmenter le nombre de photons absorbés par le détecteur :

- Si N = 100; la fluctuation = 10% (racine de 100/100 = 10/10)
- Si N = 10.000; la fluctuation = 1% (racine de 10.000/10.000 = 100/10.000 = 1/100)

Référence

- Marie Barberry, en collaboration avec le Dr. Laure Fournier, 21/04/2009
- Bataini JP, Bernier J, Gaboriaud G. Radiothérapie des tumeurs cérébrales primitives. Encycl. Méd. Chir., Paris, Neurologie, 17300 B10, 9 : 1-6, 1981
- Cosset JM, Peters LJ, Girinsky T et al : Les tests prédictifs de radiocurabilité. Vers une radiothérapie sur mesure ? Bull Cancer/Radiother 77 : 83-94, 1990
- Guthrie BL, Laws Jr. ER : Management of supratentorial low grade gliomas, in Karim ABMF, Laws Jr. ER (eds) : Glioma : Principles and Practice in Neuro-Oncology. Berlin Heidelberg : Springer - Verlag 1991, pp 1-16
- Loeffler JS, Macklis RM, Wen PY et al : Alternative and future strategies in the treatment of malignant gliomas. Seminars in Radiation Oncology 1 : 69-78, 1991
- Karim ABMF, Kralendonk JH : Pitfalls and controversies in the treatment of gliomas, in Karim ABMF, Laws Jr. ER (eds) : Glioma : Principles and Practice in Neuro-Oncology. Berlin Heidelberg : Springer - Verlag 1991, pp 1-16
- Karim ABMF, Van der Schuren E, Gonzalez DG et al : Radiotherapy of malignant gliomas, in Karim ABMF, Laws Jr. ER (eds) : Glioma : Principles and Practice in Neuro-Oncology. Berlin Heidelberg : Springer - Verlag 1991, pp 121-124
- Karlsson UL, Brady LW : Primary intracranial neoplasms, in Perez CA, Brady LW (eds) : Principles and Practice of Radiation Oncology. Philadelphia : JB Lippincott Company 1987, pp 408-436
- Recommandation pour un programme d'assurance de qualité en radiothérapie externe. Bull Cancer/Radiother 79 : 53 -76, 1992
- Sheline GE, Wara WM, Smith V : Therapeutic irradiation and brain injury. Int. J Radiat Oncol Biol Phys 6 : 1215-1228, 1980
- Van der Kogel AJ : Central nervous system radiation injury in small animal models, in PH. Gutin PH, Leibel SA, Sheline GE (eds) : Radiation injury to the nervous system. New York : Raven Press, 1991, pp 91-111
- M. COULOMB, G. FERRETTI, R. GUILLEMAUD, F. THONY
Feuilles de Radiologie, 2000, 40, n° 2, 83-105 © Masson, Paris 2000