



MASTER CLASS

Onco-radiothérapie

Quelle radiothérapie stéréotaxique pulmonaire aujourd'hui ?

Machines & Techniques
Prescription & Calcul de la dose
IGRT

#4

6 Questions/Réponses utiles à la pratique

Brochure réalisée suite à la MasterClass Nationale Onco-Radiothérapie qui a eu lieu les 13 et 14 mai 2022, et dont le programme scientifique a été élaboré par le comité scientifique composé de :

Oncologues Radiothérapeutes

Dr Paul LESUEUR *Centre Guillaume Le Conquérant, Le Havre*

Dr Etienne MARTIN *CGFL, Dijon*

Pr Sébastien THUREAU *Centre Henri Becquerel, Rouen*

Physicien Médical

Dr Florent MARTINETTI *APHM, Marseille*

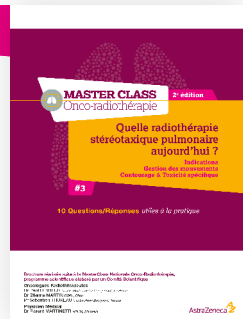


MASTERCLASS 2022
RADIOTHÉRAPIE STÉRÉOTAXIQUE PULMONAIRE

Synthèse pratique

- > La place de la radiothérapie **s'élargit dans le traitements des cancers bronchiques.**
- > La RT stéréotaxique pulmonaire occupe une **place majeure** en oncologie, à tous les stades.^{1,2,3}

#3



> La précédente brochure (#3), de la collection “Master Class Onco-Radiothérapie” **débutait un panorama général de la RT stéréotaxique pulmonaire**, en répondant aux questions pratiques concernant :

- les indications,
- les volumes cibles,
- la gestion des mouvements,
- le contournage et la toxicité.

#4



> La présente brochure (#4) complète ce panorama de la RT stéréotaxique pulmonaire en répondant aux questions utiles à la pratique concernant :

- les machines de RT utilisables & les techniques de délivrance de la dose,
- les modalités de prescription & de calcul de la dose,
- les recommandations pour l'IGRT au poste de traitement.

SOMMAIRE

Machines & Techniques

1 Quelles machines de RT pour créer les conditions stéréotaxiques pulmonaires ? 2

2 Quelles techniques de délivrance de la dose possibles pour créer les conditions stéréotaxiques pulmonaires ? 4

Prescription & Calcul de la dose

3 Evolution de la prescription en RT 8

4 En pratique, quelle méthode de prescription pour la RTS pulmonaire ? 12

5 Quel algorithme pour le calcul de la dose dans la RTS pulmonaire ? 16

Radiothérapie guidée par l'image (IGRT)

6 Quelles recommandations pour l'IGRT au poste de traitement, pour le repositionnement quotidien le plus précis possible des patients ? 18



1 Quelles machines de RT pour créer les conditions stéréotaxiques pulmonaires ?^{4,5}

Au cours des dernières décennies, les machines de radiothérapie (RT) avec **accélérateurs linéaires de particules** (LINAC *LI*Near *AC*celerator) ont remplacé les appareils au cobalt 60.⁴

- Dans un accélérateur linéaire, les rayonnements ionisants sont produits principalement par l'accélération à haute énergie d'électrons.
- Ces derniers sortent en direction de la tumeur. En fonction de l'appareil, ils peuvent être utilisés :
 - Soit directement, sous la forme d'un **faisceau d'électrons**,
 - Soit en étant projetés préalablement sur une cible, et être ainsi transformés en **rayons X** (également appelés **photons**).
- Les **photons X**, sont plus utilisés que les électrons en raison de leur capacité à pénétrer profondément et à atteindre les organes internes.

La majorité des **accélérateurs linéaires** permettent de pratiquer la RT conventionnelle et des traitements en conditions stéréotaxiques. Des **machines dédiées à la RT stéréotaxique** (RTS) sont aujourd'hui développées.⁵

- 1 Les accélérateurs linéaires **classiques**, "**adaptés**"⁵
 - Construits au départ pour la RT conventionnelle.
 - Ils ont été adaptés par la suite pour certains actes de RTS.
 - Par ajout d'accessoires de stéréotaxie : moyens de contention spéciaux, de collimation et de repérage dans l'espace...
 - Ils tendent aujourd'hui à disparaître.



POINT DE REPÈRE

Que doivent permettre les machines de RT conventionnelle pour réaliser des traitements en conditions stéréotaxiques avec un niveau de qualité et de sécurité élevé ?⁵

Un positionnement le plus exact possible, < 1mm pour une cible fixe, et vérifié à chaque séance de traitement, via...

- Une **immobilisation du patient** sûre, la plus juste possible et reproductible
- **Systèmes de contention** (Cf Brochure #3, Q3)
- La **prise en compte des mouvements internes** des organes, tels les **mouvements respiratoires**, au cours de la planification et du traitement
- **Dispositif d'asservissement respiratoire** (Cf Brochure #3, Q4)
 - **Système de limitation** *Blocage respiratoire...*
 - **Système de compensation** *Gating & Tracking*
 - **Stratégie TDM TDM 4D**
- Une **imagerie de contrôle associée**
- **IGRT RT guidée par l'image** (Cf Brochure #4, Q6)

Une distribution de dose optimale, permettant une épargne des tissus sains la plus grande possible et une délivrance de la dose la plus exacte possible, via...

- Un **collimateur multilames (MLC)**, en remplacement des "champs carrés" ou des caches en plomb, pour permettre des champs de formes complexes et l'amélioration de la balistique de l'irradiation
- **Collimateur micromultilames** (sur l'image 11, 120 lames) **et/ou coniques ou circulaires**
- Une **énergie ≤ 10 MW**
- **6 MW** Meilleur compromis entre pénétration du faisceau et pénombre en présence d'hétérogénéités
- Des **faisceaux de petites dimensions**



Un système de planification (TPS) dédié ou de modélisation spécifique

- 2 Les accélérateurs linéaires "**dédiés**"⁵
 - Construits dès le départ pour la RTS.
 - En particulier pour ce qui concerne les éléments de contention du patient, de collimation et l'accélérateur (énergie et débit de dose dédié).
- 3 Un accélérateur linéaire "**dédié**" et "**robotisé**", le **Cyberknife®** [Accuray, USA]⁵
 - Réservé **exclusivement** aux traitements de RTS, intra- et extra-crâniens.
 - Avec un accélérateur fixé à un bras **robotisé piloté par ordinateur** qui permet une précision au mm près et un positionnement patient optimal.¹²
 - Et un système de **tracking** qui corrige en temps réel et de manière autonome tout mouvement, y compris de respiration.
- 4 Un appareil "**dédié**" et "**robotisé**", le **Leksell Gamma Knife®** [Elekta, Suède]⁵
 - Réservé exclusivement aux traitements de RTS intra-crâniens.



POINT DE REPÈRE

Ce qui distingue la RT en conditions stéréotaxiques de la RT conventionnelle⁹

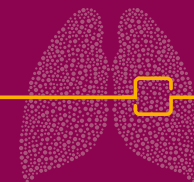
OU Les 7 principes majeurs de la RT en conditions stéréotaxiques⁶⁻¹⁰ (Cf Brochure #3, Q1)

Une amélioration du contrôle local et parfois de la survie, via **une irradiation...**

<ul style="list-style-type: none"> • Très localisée pouvant conduire à l'utilisation de faisceaux de petites dimensions ou de faisceaux multiples 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Petits faisceaux ou champs de faible dimension⁶ < à 5 mm 2. Multiples faisceaux^{6,7} Nombreuses techniques : arcthérapie, VMAT...
<ul style="list-style-type: none"> • À dose très élevée par séance (≥ 2 fois la dose par fraction d'un traitement conventionnel) focalisée au niveau du volume cible 	<ol style="list-style-type: none"> 3. Forte dose par séance^{6,7} > à 6 Gy, voire > à 8 Gy (vs RT Conv. 1,8-3 Gy) 4. Faible nombre de séances (hypofractionnement)^{6,7} < à 10, voire < à 8 (vs RT Conv. normo-fractionnée, 10 à 30 fractions)
<ul style="list-style-type: none"> • Qui nécessite donc une vigilance importante pour les organes à risques (OAR) 	<ol style="list-style-type: none"> 5. Haute conformité^{6,8} de distribution de la dose au volume
<ul style="list-style-type: none"> • Dont la dose délivrée diminue très brutalement en dehors du volume cible, aux OAR 	<ol style="list-style-type: none"> 6. Fort gradient de dose^{6,8} autour du volume traité
	<ol style="list-style-type: none"> 7. Haute précision^{6,10} tout au long du parcours du patient pour réduire au maximum les incertitudes de calcul de la marge PTV à appliquer au volume à traiter

Selon la HAS, on distingue aujourd'hui 4 grands types d'appareils susceptibles de créer des conditions stéréotaxiques.⁵

- Les 3 premiers correspondent à des appareils équipés d'accélérateurs linéaires produisant des photons X.
- Le dernier correspond à un appareil au cobalt 60 produisant des photons γ .



Le parc de machines de RTS s'est particulièrement développé en France ces dernières années (Cf tableau ci-dessous).

Progression du parc des machines "dédiées" à la RTS en France⁵

	2014	2017
Novalis®	2	0
Novalis Tx®	7	7
Vero®	1	1
Novalis Truebeam STX - Truebeam STX®	0	26
Axesse®	1	1
Versa HD®	6	18
Cyberknife®	7	17
TOTAL	24	70

x ≈ 3

2 Quelles techniques de délivrance de la dose pour créer les conditions stéréotaxiques pulmonaires ?⁵

Il existe **2 grandes techniques** de délivrance de la dose.

> Les faisceaux **non modulés**

- Exemples : - Multiples faisceaux fixes
- **Arcthérapie conformationnelle** dynamique
- Utilisés afin de se conformer au volume cible

> Les faisceaux **modulés**

- La modulation de la fluence de chaque faisceau est réalisée par le déplacement des lames du collimateur contrôlé par ordinateur
- Exemples : - **RCMI RT conformationnelle** en modulation d'intensité
- **VMAT RT volumétrique** en modulation d'intensité
- Utilisés quand il est nécessaire de réaliser des distributions de forme concave pour protéger les organes à risque au voisinage du volume cible

Toutes les techniques sont utilisables en **RTS pulmonaire** (Pour indications : Cf Brochure #3, Q2)

> Car celle-ci est **relativement indépendante** du mode de délivrance de la dose.

Pour des lésions **périphériques isolées**, de forme relativement simple.

> La **RTS sans modulation d'intensité** peut être **efficace**.

- Elle est mise en oeuvre en multipliant les portes d'entrées (multiplications du nombre de **faisceaux : > 10**)
- L'utilisation de **faisceaux non-coplanaires** permet d'améliorer la conformité de la distribution de doses

Pour des lésions **centrales** ou **ultracentrales**, proches d'**organes creux à risque**, comme l'œsophage ou les bronches, ou pour des tumeurs **complexes**.

> La **RTS en modulation d'intensité** est préférée.

Les **caractéristiques** d'intérêt, l'**intérêt** thérapeutique et les **limites** de différents appareils et techniques sont présentés dans le tableau page suivante.

ZOOM

UNE INNOVATION POUR LA RTS PULMONAIRE^{13,14}

L'**IRM-Linac** est un système hybride couplant un accélérateur linéaire (Linac) à une imagerie guidant la radiothérapie (IGRT) de type IRM.

- 2 modèles sont actuellement commercialisés :
- MRIdian®** [ViewRay, USA] et **Unity®** [Elekta, Suède]
- Ils délivrent des traitements en RCMI

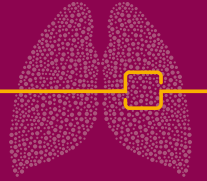



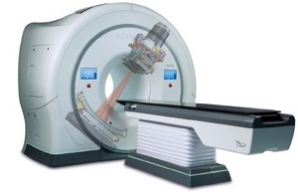

L'**IRM embarquée sur accélérateur** présente des atouts clés...^{14,15}

- 1 Assure une **meilleure visualisation** des tumeurs au sein des tissus mous
- 2 Technique de traitement en **gating** qui se fait en respiration libre et permet le suivi de la tumeur elle-même (et non pas un repère de celle-ci)
 - Un système externe capte le cycle respiratoire du patient et le transmet en signal respiratoire via un logiciel associé.
 - > Le déclenchement et l'arrêt de l'irradiation peut alors se faire dans une fenêtre particulière de la respiration, par ex. en phase expiratoire, pour avoir une bonne stabilité.
 - Permet de s'affranchir des marges de sécurité dues aux mouvements.
 - Et permet une réduction des marges d'incertitude de repositionnement.
- 3 Propose une technique **non-invasive** et **non-irradiante**.
 - Intérêt pour les tumeurs aux stades précoces en intention curative quand elles sont inopérables.
- 4 Permet d'**accéder à la RT adaptative sur table (on-ART)**.
 - Grâce à l'outil d'imagerie et au logiciel de RT adaptative intégré au système.
 - > Ouvre la voie à la minimisation des toxicités, l'amélioration de la couverture de la cible, et par conséquent, une potentielle amélioration du contrôle local.
- 5 Offre la possibilité de réaliser un traitement en inspiration bloquée (blocage naturel)

Mais aussi quelques limites^{14,15}

- Expérience encore limitée dans le cancer du poumon.
- Durée de la séance > à un traitement en VMAT.
- Risque d'artefacts en bord de champ.
- > En cas de tumeur très périphérique, car visibilité alors très réduite.



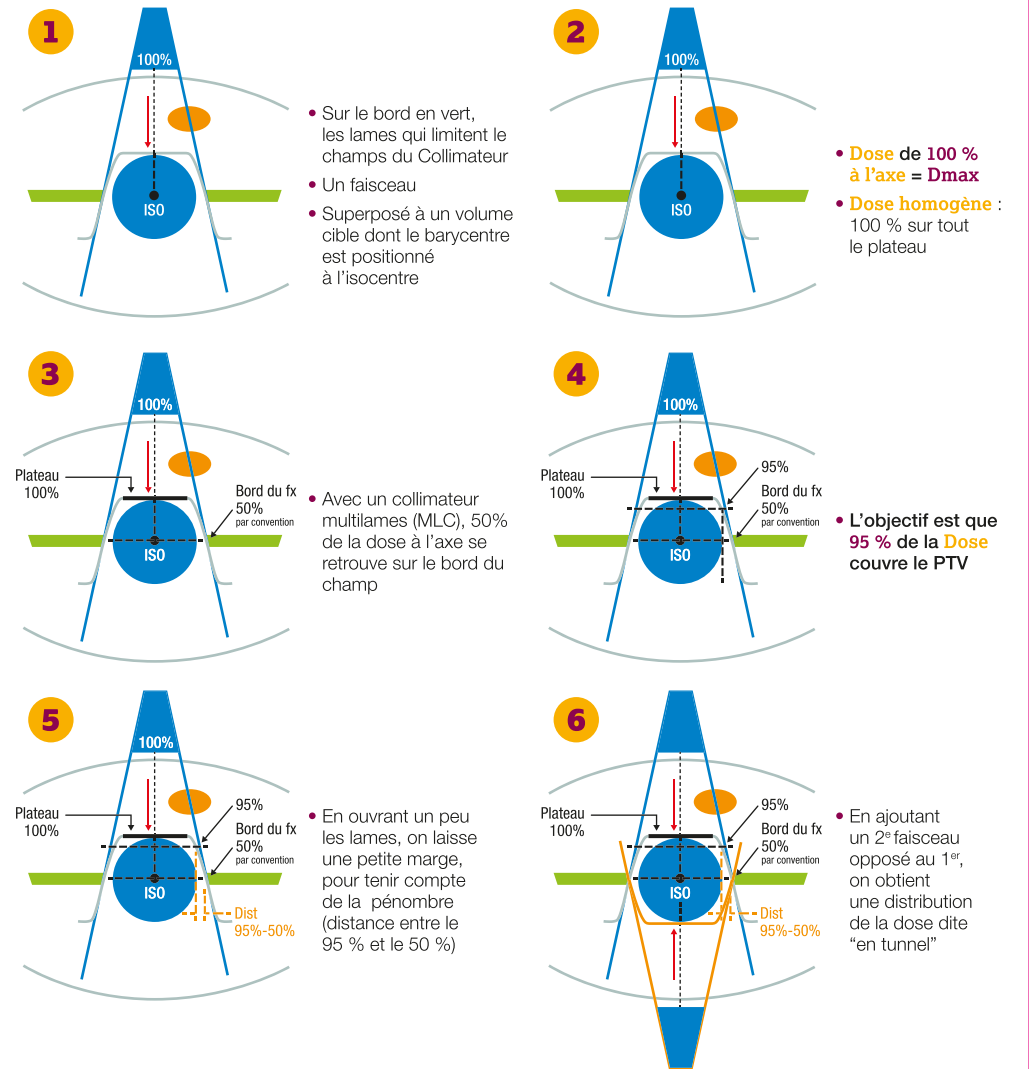
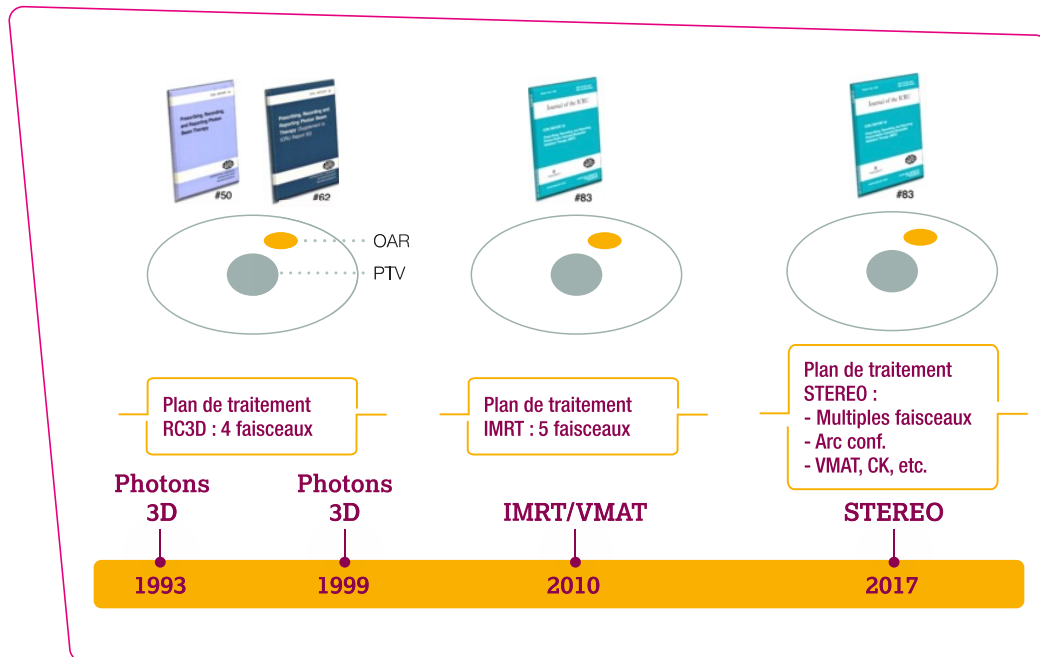
		Techniques	Type d'irradiation & Caractéristiques d'intérêt	Intérêts & Limites en RTS	Exemples
ACCÉLÉRATEURS LINÉAIRES	FAISCEAUX NON MODULES	Multiples faisceaux fixes	IRRADIATION FIXE <ul style="list-style-type: none"> > 10 faisceaux conformationnels + 1 à 2 faisceaux non-coplanaires 	RT des lésions périphériques, volumineuses > 5 cm, ou de forme sphérique > Mais les lésions doivent être éloignées d'OAR	
		Arcthérapie conformationnelle dynamique¹⁵ <i>Arc = Faisceau tournant</i>	IRRADIATION ROTATIONNELLE <ul style="list-style-type: none"> Traitement délivré sur un ou plusieurs arcs (ou demi-arcs) durant lequel le bras effectue une rotation continue autour du patient - Et de se conformer ainsi au volume cible • Associée à une adaptation du faisceau au volume cible, durant l'arc de traitement (sans modulation d'intensité à proprement parler) 		
	FAISCEAUX MODULES	RCMI¹⁵ <i>RT conformationnelle par modulation d'intensité</i>	IRRADIATION FIXE, STATIONNAIRE <ul style="list-style-type: none"> Bras ou gantry prenant différentes positions autour du patient • Et délivrant plusieurs faisceaux avec des incidences différentes - La modulation de la fluence de chaque faisceau étant réalisée par le déplacement des lames du collimateur contrôlé par ordinateur selon la planification réalisée a priori • 2 Modes de traitement - Mode dynamique ou Sliding window Irradiation maintenue pendant le mouvement des lames - Mode statique ou Step and shoot Arrêt de l'irradiation pendant le mouvement des lames 	RT des lésions centrales ou très centrales, peu volumineuses < 5 cm, ou de forme complexe > Les lésions peuvent être proches d'OAR Limites RCMI > Durée prolongée de chaque séance Limites VMAT > Effet interplay potentiel en cas de mouvement important de la lésion ⁵ Combinaison du mouvement tumoral respiratoire et de celui du collimateur à l'origine de sous ou sur dosages	Arcthérapie 
		IMRT <i>Intensity-modulated RT</i>			
		VMAT¹³ <i>Volumetric modulated arc therapy</i>	IRRADIATION ROTATIONNELLE <ul style="list-style-type: none"> • Correspond à une arcthérapie en modulation d'intensité • Ou a une RCMI avec une ou plusieurs rotations du bras de l'accélérateur, formant des arcs de traitements de degrés variables - Peut permettre d'irradier le volume cible en 1 seule rotation, ce qui réduit les temps de traitement 		
		Cyberknife^{®12,16,17} <i>En est à sa 7^e génération</i>	IRRADIATION NON ISOCENTRIQUE A Accélérateur miniaturisé porté par le bras du robot - Faisceaux d'irradiation selon 6 axes de liberté // Précision au mm - Multiplicité des faisceaux utilisés B 12 collimateurs circulaires, de diamètre de 0,5 à 6 cm C Bras robotisé piloté par ordinateur, 6 degrés de liberté D Table de traitement avec 6 degrés de liberté E Caméra de monitoring pour le suivi avec des marqueurs optiques, en temps réel de la respiration - Pose de marqueurs optiques sur le thorax du patient F Système orthogonal de rayons X pour le suivi en temps réel de la cible - Implantation préalable de marqueurs, "fiduciaires", proches de la tumeur G TRACKING - Détection déplacements tumeur/mouvements du patient - Correction en temps réel de manière autonome tout au long de la procédure		
Tomothérapie¹⁸ <i>Irradiation couplée à un scanner</i>	IRRADIATION HÉLICOÏDALE <ul style="list-style-type: none"> Avec rotation de la tête de l'accélérateur • Simultanément à la translation de la table sur laquelle est le patient • Mouvements effectués en continu pendant toute l'irradiation 	Traitement délivré à l'aide d'un faisceau fin, en éventail, modulé en intensité <ul style="list-style-type: none"> • suivi de l'imagerie réalisée par l'imageur kVCT présent sur l'appareil dédié 	Tomothérapie 		
IRM-Linac^{13,14} <i>Irradiation couplée à une IRM</i>	IRRADIATION EN RCMI ET MODE FFF <ul style="list-style-type: none"> • Meilleure visualisation des tumeurs au sein des tissus mous • GATING autorisant le suivi en temps réel de la tumeur elle-même • Accès potentiel à la RT adaptative sur table (on-ART) 	RT des lésions <ul style="list-style-type: none"> • susceptibles de se modifier au cours de la RTS, avec modification corollaire de la position des OAR • difficiles d'accès du fait d'OAR très proches 	image¹⁸ 		



3 Évolution de la prescription en RT

Les rapports **ICRU** ont définis entre 1993 et 2017 les bases de la prescription en RT et de "reporting" de la dose

➤ Leur analyse "historique" au travers de quelques exemples de plan de traitement type (RC3D, IMRT, RT Stéréotaxique), permet de mieux comprendre les modalités de prescription de la RT stéréotaxique aujourd'hui.



Bases de la RT conformationnelle

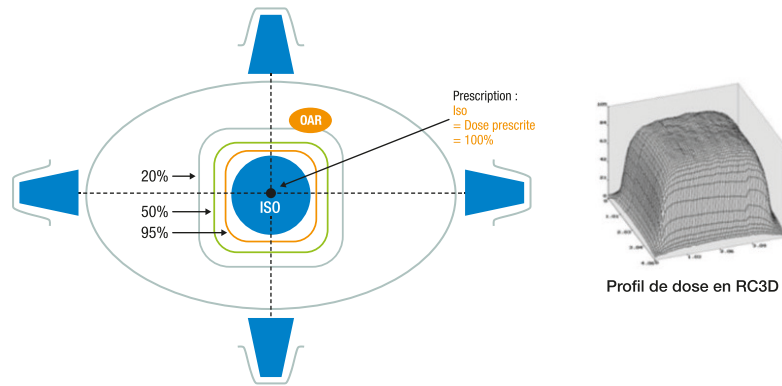


Évolution de la prescription de la RT conformationnelle au cours du temps et au fil des avancées techniques Avis d'experts

1993-1999 RT conformationnelle 3D (RC3D)
Plan de traitement RC3D - Exemple à 4 faisceaux



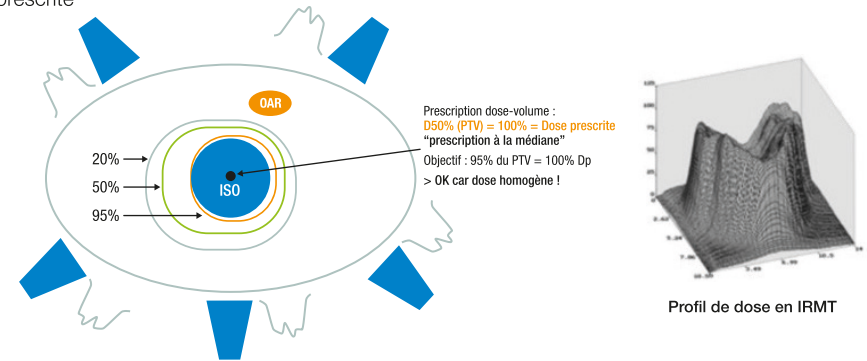
- Dose prescrite au "point ICRU", situé sur l'axe, idéalement à l'isocentre
- Profil homogène
- Les rapports CRU #50 et #62 ont fixé une variation de la dose au sein du PTV qui doit être comprise entre 95 % - 107 % de la dose prescrite par le médecin (représente 100 %)
 - < 107 % car part non négligeable de tissus sains dans les 95 %



2010 RT conformationnelle avec modulation d'intensité (IMRT)
Plan de traitement IRMT - Exemple à 5 faisceaux



- Pour épargner les OAR, on module l'intensité des faisceaux sur la largeur du champ
 - Le profil de la dose n'est donc plus homogène, mais **modulé**
- Avec une approche d'**optimisation inverse** de la dose, on fixe les **doses souhaitées a priori** (couverture du volume/contraintes sur les OAR)
 - Le TPS calcule la distribution de la dose nécessaire pour satisfaire au mieux ces contraintes
 - La **prescription** ne se fait plus en ISODOSE mais en **Dose-Volume**.
- En 2010, l'ICRU #83 recommande les mêmes valeurs de couverture du volume cible (95 % - 107 % de la dose prescrite par le médecin)
 - La recommandation est de prescrire à la médiane du PTV : 50 % du PTV doit recevoir la dose prescrite



2017
Quelle prescription pour la RTS selon l'ICRU #91 ?¹⁹



• Prescribe a complete set of finally accepted values, which becomes the prescription and, together with the required technical data represent the accepted treatment plan. Absorbed dose is prescribed to the isodose surface D_p that covers an optimal percentage volume of the PTV while optimally restricting dose to the PRV. Optimal in this context means the best possible coverage of the PTV according to the clinical situation (e.g., brain metastases, spine).

En fonction des différentes techniques possibles de délivrance de la dose

- Multiples faisceaux fixes
- Arthrothérapie conformationnelle
- VMAT

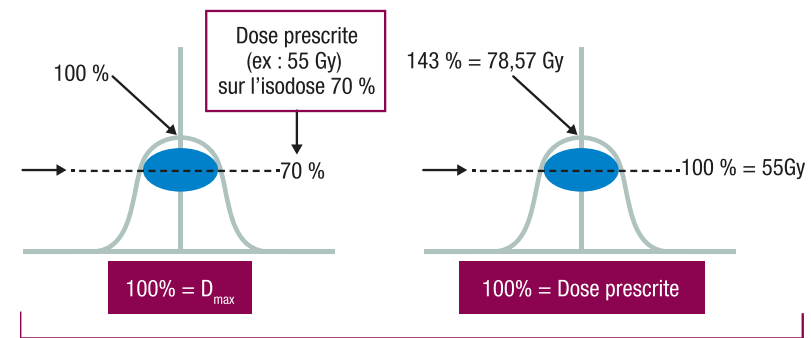
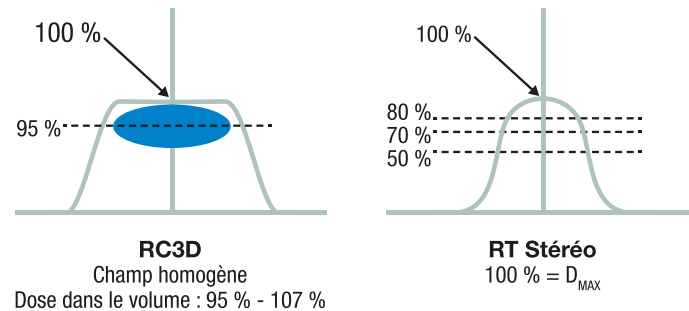
- Selon le rapport ICRU, le concept de prescription sur une **isodose** est conservé
 - Prescription d'une isodose qui couvre le PTV de manière optimale
 - Tout en diminuant la dose aux OAR
- Le concept de prescription sur une **isodose** est parfois limité.
 - Ex. En **VMAT**...
 - En optimisation inverse, les contraintes sont fixées a priori
 - Certains systèmes de planification de traitement ne proposent pas la possibilité de prescrire sur une isodose



4 En pratique, quelle méthode de prescription pour la RTS pulmonaire ?

PRESCRIPTION SUR UNE ISODOSE

C'est une méthode de prescription de la dose de la RT qui consiste
 - à choisir une **isodose spécifique** entourant au mieux le **PTV**
 - cette isodose doit également être choisie pour **minimiser la dose reçue** par les **tissus sains adjacents**²⁰



Qui est la dose de référence (100 %) → D_{max} ? Dose prescrite ?

Tout est une question de langage et de normalisation

Attention : certain TPS n\'offrent pas de possibilité de prescription sur une isodose

- En RT conformationnelle, les champs sont larges et en plateau
 - > La **dose prescrite** est de **100 %** au "**point ICRU**", **situé sur l\'axe, idéalement à l\'isocentre**
 - > Le champ de traitement est **homogène** et forme un **plateau**
 - > La **dose couvrant** le PTV correspond à **95 %** de la dose prescrite à l\'axe
 - > La **dose souhaitée** dans le PTV est comprise entre **95 % à 107 %** de la dose prescrite, conformément aux rapports ICRU

- En RT stéréotaxique, les champs de faibles dimensions et de forme gaussienne
 - > La dose à l\'axe est de 100 % (D_{max}). Elle décroît rapidement sur les bords, le **champ est hétérogène**
 - > L\'isodose couvrant le plus conformément le PTV est choisie entre **50 % - 80 %** de la dose maximale

Le but est de prescrire une dose assurant une couverture optimale et conforme du PTV

Exemple en pratique

- Choisir l\'isodose entourant le mieux le PTV
 - > L\'isodose 70 % par exemple
- C\'est sur cette isodose que la dose est prescrite.
 - > La dose maximale dans le volume sera **(Dose Prescrite/Isodose) = 55/0,7 = 78,65 Gy**

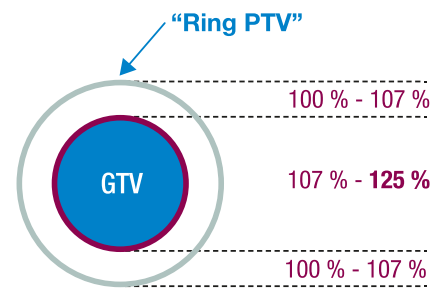
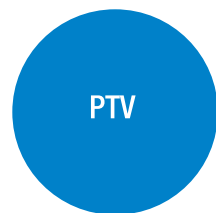


PRESCRIPTION EN DOSE/VOLUME EN STÉRÉO VMAT

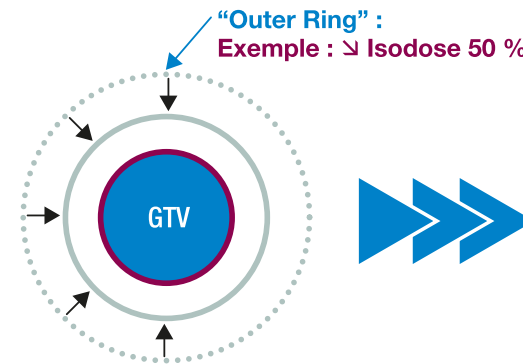
((VMAT : Volumetric Modulated Arc Therapy))

Pour transposer la méthode de prescription sur une isodose à la technique VMAT (optimisation inverse) :

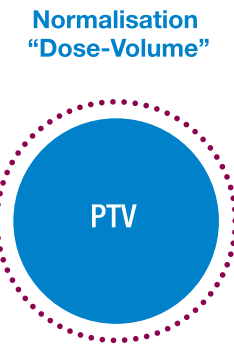
- dans ce cas, la dose de référence (100 %) dans le TPS est la dose prescrite
- les contraintes de couverture du volume cible (PTV) à fixer doivent correspondre à la distribution de la dose qui serait obtenue dans le volume si l'on avait prescrit sur une isodose
- par exemple : dose minimale couvrant le PTV = 95 % de la dose prescrite, dose maximale dans le PTV = (dose Prescrite/isodose de prescription)
- un exemple de méthodologie d'optimisation inverse permettant d'obtenir une distribution de dose de ce type serait :



Optimisation sur le GTV en spécifiant (par exemple) la D_{max} à 125 % de la D_{pres} . Ceci est équivalent à une prescription sur l'isodose 80 % de la D_{max} .
Optimisation (par exemple) pour que la "couronne" PTV reçoive à minima 100 % de la dose prescrite et pas plus de 107 %



Diminution de la dose dans les tissus sains au moyen de 2 à 3 "RING" autour du PTV
> Augmentation du gradient de dose autour du PTV, protection des tissus sains
> Amélioration de la conformité de la dose au PTV



Objectif : $D_{95\%} = 100\%$ Dose prescrite
La normalisation se fait telle que 95 % du volume du PTV reçoive la dose prescrite tout en vérifiant :
> La conformité de la dose
> Le gradient de la dose
> La D_{max} dans le volume



5 Quel algorithme pour le calcul de la dose dans la RTS pulmonaire ?

Les algorithmes de calcul de la dose utilisés en RTS répondent à 3 objectifs^{22,23}

- > **PRÉDIRE** la dose de rayonnement absorbée par les tissus
- > **DÉTERMINER** la dose nécessaire pour stériliser la tumeur tout en réduisant les toxicités aux OARs
- > **CONCEVOIR** le plan de traitement du patient

Il existe 3 grands types d'algorithmes²²

- > Algorithmes de **TYPE A**
 - Les plus **simples** et **rapides**
 - Les **déviations latérales** des particules secondaires (électrons) **ne sont pas modélisées**. La mise à l'échelle du dépôt de la dose ne se fait que longitudinalement
 - Ils sont **imprécis en conditions d'hétérogénéités** (poumon/os)
- > Algorithmes de **TYPE B**
 - Plus **sophistiqués** que les algorithmes A
 - De nos jours les TPS sont suffisamment rapides pour que la différence de temps de calcul ne soit quasiment plus visible
 - **PRENNENT EN PARTIE en considération**, les variations latérales des particules dans le calcul de la dose
- > Algorithmes de **TYPE C**
 - Les plus **récents** et les plus **sophistiqués**
 - Ils permettent une **modélisation complète** du transport des rayonnements primaires et secondaires. Le **calcul de dose** dans les différents type de tissus est **plus précis**

Recommandations pour les essais cliniques

- > L'utilisation d'un algorithme de **type B ou type C**²²

Recommandations de l'ESTRO-ACROP pour la pratique clinique (2017)²³

- > L'utilisation d'un algorithme de **type B**
- > L'utilisation d'une **dose inhomogène** au sein du PTV dans le poumon



6 Quelles recommandations pour l'IGRT au poste de traitement, pour le repositionnement quotidien le plus précis possible des patients ?

L'IGRT en **RTS pulmonaire** est présente à toutes les étapes du traitement²⁴
 > De la planification au repositionnement quotidien au poste de traitement.

Les **mouvements de la tumeur** et des **organes environnants**, dus à la respiration ou à des changements anatomiques au cours du traitement, peuvent entraîner une **dose de rayonnement insuffisante** ou **excessive**²⁴

Ainsi, l'IGRT permet de

- > **visualiser** et **mesurer** ces changements,
- > d'y **apporter** des corrections précises pour **repositionner** les lésions
- > en vue **d'assurer** une **administration adéquate** de la dose d'irradiation
- > et d'ainsi au final, **augmenter la précision** de la RT et **réduire les EI**⁶

Dans le cas de la **RTS**, les **fortes doses** délivrées à chaque séance rendent **nécessaires un contrôle à chaque séance** du positionnement de la **cible** et des **OAR**⁵

- > L'objectif est de détecter et de corriger les erreurs de positionnement
 - **Systématiques** qui occasionnent un décalage de l'isocentre de traitement pendant toutes les séances (survenue lors de la préparation : délinéation, scanner...)
 - **Aléatoires** qui occasionnent des écarts variables par rapport à la position planifiée à chaque séance de traitement et ont pour effet de rendre plus "floues" les distributions de dose au bout d'un certain nombre de fractions

Différents **systèmes d'imagerie** sont utilisés en **RTS** pour contrôler le repositionnement des patients⁵

POINT DE REPÈRE

Systèmes d'imagerie utilisés en RTS pour contrôler le positionnement des patients⁵

Imagerie 2D kV stéréoscopique	<ul style="list-style-type: none"> • Réalise l'acquisition d'une paire de clichés orthogonaux l'un par rapport à l'autre - Ce qui permet de remonter à une information géométrique tridimensionnelle
Imagerie Volumique 3D kV-CBCT	<ul style="list-style-type: none"> • Système embarqué sur un grand nombre de machines • Réalise l'acquisition d'un volume 3D à partir d'un tube à rayons X et d'un détecteur placé sur le bras de l'appareil de traitement. - Le contraste tissulaire obtenu est proche de celui du scanner - Mais inférieur à celui d'un scanner planimétrique
Imagerie Volumique 4D kV-CBCT	<ul style="list-style-type: none"> • Système plus récent • Utilisé pour les traitements de RTS en cas de cibles mobiles • Réalise l'acquisition d'une pile d'images par cycle respiratoire - Via la synchronisation du cycle respiratoire du patient avec le système d'imagerie embarqué kV-CBCT 3D > Ce qui constitue le système kV-CBCT 4D • Permet d'obtenir le déplacement moyen de la tumeur au cours du cycle respiratoire - Et donc de s'assurer que la tumeur reste bien contenue dans l'ITV / le PTV

RECOMMANDATIONS POUR L'IGRT DE REPOSITIONNEMENT AU COURS DE LA RTS

On retrouve dans différentes publications, des recommandations sur les différents systèmes d'imagerie à utiliser en pratique clinique

REPOSITIONNEMENT : AVEC QUEL SYSTÈME D'IMAGERIE ?

Imagerie 2D Radiographie de basse énergie	TRÈS LARGEMENT NON RECOMMANDÉE ⁷ Guidelines CA 2012 (CARO) RTS Pulmonaire	<ul style="list-style-type: none"> • Car imagerie basée sur l'information osseuse - Ne fournit donc pas une image claire et précise des tissus mous tels que les poumons - Sauf en cas d'implantation préalable de "fiduciaires"
Imagerie Volumique 3D Tomographie conique de basse énergie	RECOMMANDÉE ^{6,21} Guidelines US 2010 (AAPM) RTS Extracrânienne Recos FR 2021 (SFJRO) RT Métastases Pulmonaires	<ul style="list-style-type: none"> • Permet une meilleure visualisation de la lésion et des tissus mous avoisinants • Améliore la précision géométrique en RTS extracrânienne • Réduit les incertitudes de mouvement de la lésion interfraction²⁵
Imagerie Volumique 4D Tomographie conique de basse énergie	GÉNÉRALEMENT PRÉFÉRÉE AU CBCT-3D ²⁶ Si elle est disponible Consensus Guidelines EU 2017 (ESTRO-ACROP) RTS CBNPC Stade précoce localisé en périphérie	<ul style="list-style-type: none"> • Améliore la qualité d'image • Réduit la variabilité inter-observateur liée au recalage manuel²⁶ - Suite à une visualisation plus précise de la tumeur en mouvement - Suite au recalage automatique

REPOSITIONNEMENT : À QUELLE FRÉQUENCE ?

Réalisation d'1 acquisition avant le traitement	RECOMMANDÉE À CHAQUE SÉANCE ^{21,23} Recos FR 2021 (SFJRO) RT Métastases Pulmonaires Consensus Guidelines EU 2017 (ESTRO-ACROP) RTS CBNPC Stade précoce localisé en périphérie	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle basé sur l'analyse des tissus mous - Et non sur l'os • Pour corriger les erreurs de positionnement - Inter-fraction Changement de positionnement entre 2 fractions de traitement, dû aux - Mouvements de la tumeur - Changements anatomiques patient - Examen de référence initial Effectué avant la 1^{re} séance de traitement - Pour s'assurer de la position de la tumeur et donc de la dose délivrée à la zone cible
--------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Bibliographie

1. Couraud S, Toffart A-C, Ranchon F, Merle P, Souquet P-J et le comité de rédaction des référentiels Auvergne Rhône-Alpes en oncologie thoracique. 18^e Ed. Actualisation 2022. Pierre-Bénite, France: Association ARISTOT;2022. 79p. Disponible sur www.referentiels-aristot.com.
2. Alcibar OL, et al. Systematic review of stereotactic body radiotherapy in stage III non-small cell lung cancer. *Transl Lung Cancer Res* 2021;10:529-38.
3. Wujanto C, et al. Stereotactic body radiotherapy for oligometastatic disease in non-small cell lung cancer. *Front Oncol* 2019;9:1219.
4. Mitin T. Radiation therapy techniques in cancer treatment. Dernière mise à jour: 16 mars 2023. In: Vora S, editor. Wqltham, Mass: UpToDate 2023. [Consulté le 16 mars 2023]. Accessible sur www.uptodate.com. Abonnement requis pour voir.
5. Dedieu V, et al. Rapport S.F.P.M. N° 35. Qualité et sécurité des radiochirurgies et des radiothérapies stéréotaxiques. Paris, France: Société Française de Physique Médicale;2019. 148p. Disponible sur www.sfpf.fr.
6. Benedict SH, et al. Stereotactic body radiation therapy: the report of AAPM Task Group 101. *Med Phys* 2010;37:4078-101.
7. Sahgal A, et al. The Canadian Association of Radiation Oncology scope of practice guidelines for lung, liver and spine stereotactic body radiotherapy. *Clin Oncol (R Coll Radiol)* 2012;24:629-39.
8. van de Kamer, et al. NCRD Report 25. Process management and quality assurance for intracranial stereotactic treatment. Delft, Pays-Bas: Netherlands Commission on Radiation Dosimetry;2015. 141p. Disponible sur www.radiationdosimetry.org.
9. Potters L, et al. American Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ASTRO) and American College of Radiology (ACR) practice guideline for the performance of stereotactic body radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2010;76:326-32.
10. Foote M, et al. Guidelines for safe practice of stereotactic body (ablative) radiation therapy. *J Med Imaging Radiat Oncol* 2015;59:646-53.
11. Oliveira ACH, et al. Monte Carlo modeling of multileaf collimators using the code Geant4. *Braz J Rad Sci [Internet]* 2015;3.
12. Lartigau EF. La radiothérapie stéréotaxique extracrânienne robotisée. *Bull Acad Natl Med* 2022;206:323-30.
13. Crockett CB, et al. Initial clinical experience of mr-guided radiotherapy for non-small cell lung cancer. *Front Oncol* 2021;11:617681.
14. Tallet A, et al. IRM-Linac : l'ère de la radiothérapie personnalisée. *Bull Cancer* 2021;108:49-54.
15. Riou O, et al. Radiothérapie conformationnelle avec modulation d'intensité en Arthrothérapie. Le nouveau cancérologue 2011;4:31-35.
16. Ayadi-Zahra M, et al. Rapport S.F.P.M. N° 38. Gestion des mouvements internes en radiothérapie externe : dispositifs et mise en œuvre pour le traitement des patients. Paris, France: Société Française de Physique Médicale;2020. 139p. Disponible sur www.sfpf.fr.
17. Giraud P, et al. Radiothérapie stéréotaxique pulmonaire : quelle machine ? *Cancer Radiother* 2019;23:658-61.
18. Saw CB, et al. 3D treatment planning on helical tomotherapy delivery system. *Med Dosim* 2018;43:159-67.
19. Wilke L, et al. ICRU report 91 on prescribing, recording, and reporting of stereotactic treatments with small photon beams : Statement from the DEGRO/DGMP working group stereotactic radiotherapy and radiosurgery. *Strahlenther Onkol* 2019;195:193-98.
20. Pasquier D, et al. Radiothérapie stéréotaxique extra crânienne. Comment mieux protéger les tissus sains ? *Cancer Radiother* 2019;23:630-35.
21. Lévy A, et al. Lung metastases radiation therapy. *Cancer Radiother* 2022;26:244-49.
22. Aznar MC, et al. The impact of technology on the changing practice of lung SBRT. *Phys Med* 2018;47:129-38.
23. Guckenberger M, et al. ESTRO ACROP consensus guideline on implementation and practice of stereotactic body radiotherapy for peripherally located early stage non-small cell lung cancer. *Radiother Oncol* 2017;124:11-17.
24. Aboudaram A, et al. Radiothérapie guidée par l'image dans le cancer du poumon. *Cancer Radiother* 2018;22:602-07.
25. Josipovic M, et al. Translational and rotational intra- and inter-fractional errors in patient and target position during a short course of frameless stereotactic body radiotherapy. *Acta Oncol* 2012;51:610-17.
26. Sonke JJ, et al. Respiratory correlated cone beam CT. *Med Phys* 2005;32:1176-86.

Notes



Notes



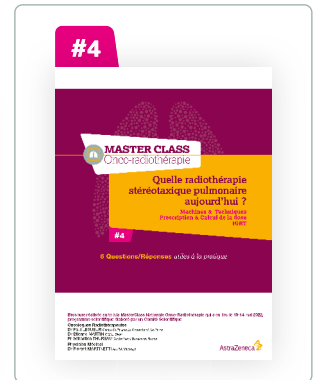
MASTER CLASS

Onco-radiothérapie

Une collection de brochures et vidéos de la MasterClass sont disponibles *via* la page web



Rendez-vous sur www.masterclassoncoradiotherapie.fr
ou flashez ce QR code



Regardez les 3 vidéos associées avec l'onco-radiothérapeute Dr Etienne MARTIN & le physicien Dr Florent MARTINETTI enregistrées lors de la MasterClass Nationale



Dr Etienne MARTIN
Oncologue-Radiothérapeute
CGFL, Dijon



Dr Florent MARTINETTI
Physicien Médical
APHM, Marseille