



HESAV

Septembre 2019

F. Duclos Module 2102-RO

CYBERKNIFE, Le robot pour irradier les patients

CYBERKNIFE

Introduction

Brève rétrospective

Description

Indications

Imagerie

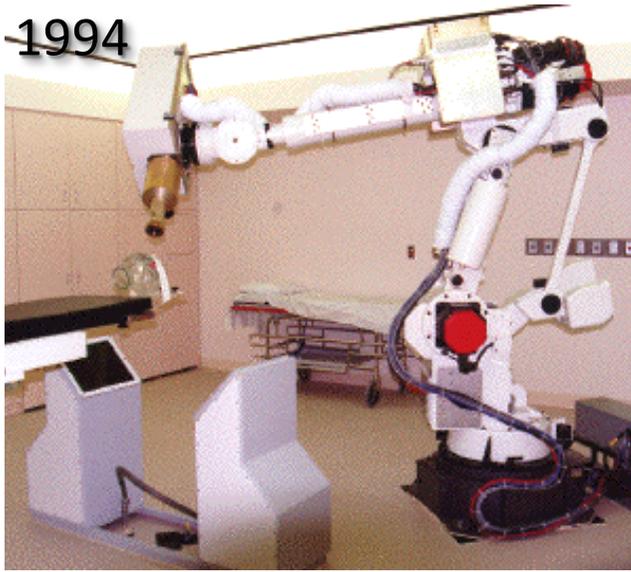
Techniques de traitement

- Cibles fixes
- Cibles mobiles

INTRODUCTION

- Un accélérateur miniaturisé monté sur un bras de robot
- Energie délivrée : 6 MV
- Un grand nombre de faisceaux non coplanaires
- Précision sub-millimétrique
- Hypofractionnement, hautes doses par fraction
- Tumeurs intra et extra-crâniennes

1994



2000



2005



2007



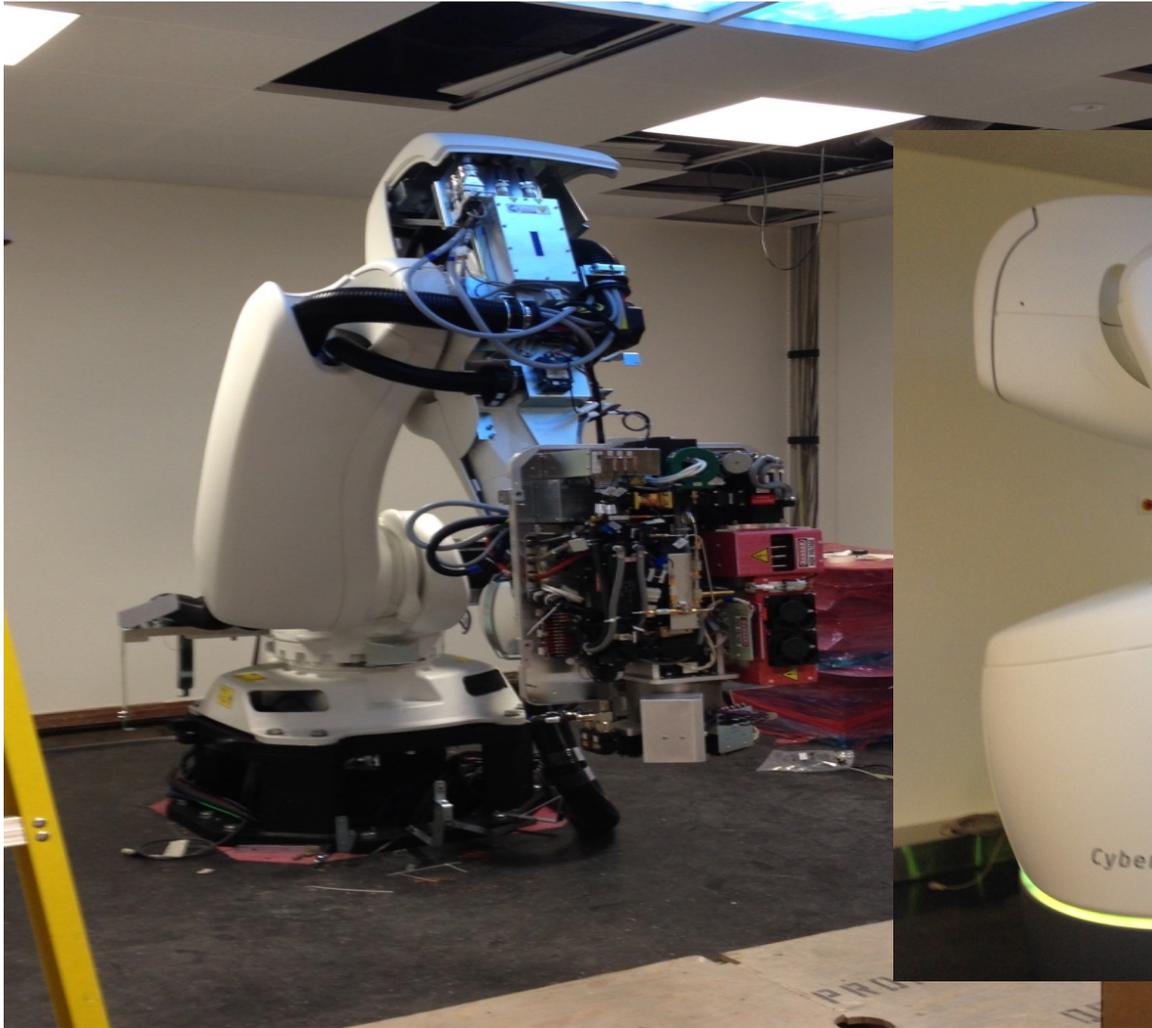
2009



2014



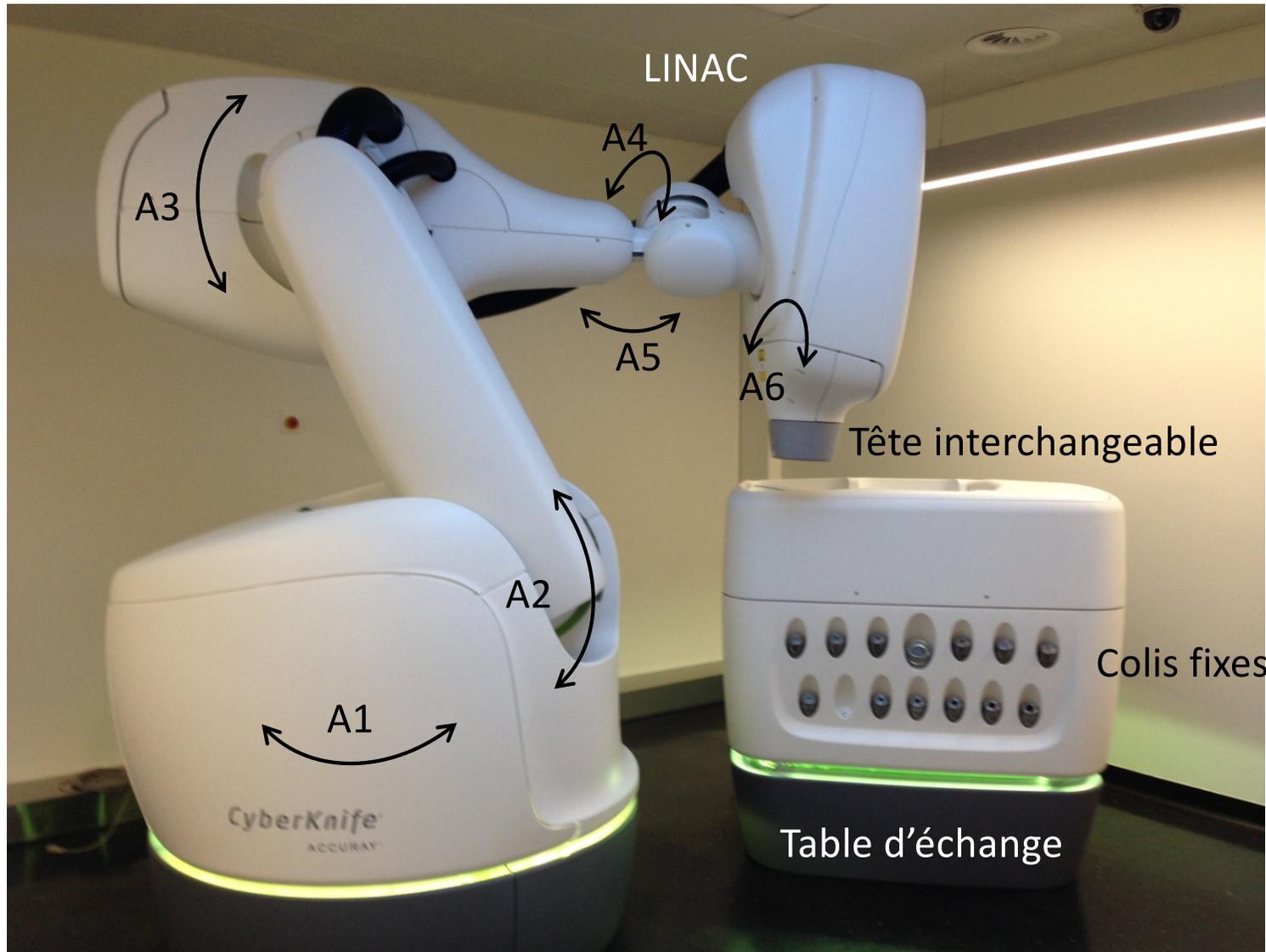
Au CHUV depuis octobre 2014



Généralités

- Détection du mouvement durant le traitement
- Adaptation de la géométrie du faisceau durant le traitement en fonction du mouvement.
- Imagerie de contrôle continue pendant le traitement
 - Deux projections réalisées à 45° (vue A et vue B)
 - Centre d'imagerie : intersection des deux projections
- Centre d'alignement:
 - Choisi au tps
 - Dans le patient
- Temps de traitement variable selon les séances pour un même patient (30 min – 2h)

Robot de traitement



ACCESSOIRES DE COLLIMATION

Collimateurs fixes

Changés manuellement



Iris

Changement automatique

Augmente la rapidité de traitement



Collimateur multilames.



Collimation

12 collimateurs fixes:

5 mm

7.5 mm

10 mm

12.5 mm

15 mm

20 mm

25 mm

30 mm

35 mm

40 mm

50 mm

60 mm

- 1 IRIS (dodécagone):

- 5 mm

- 7.5 mm

- 10 mm

- 12.5 mm

- 15 mm

- 20 mm

- 25 mm

- 30 mm

- 35 mm

- 40 mm

- 50 mm

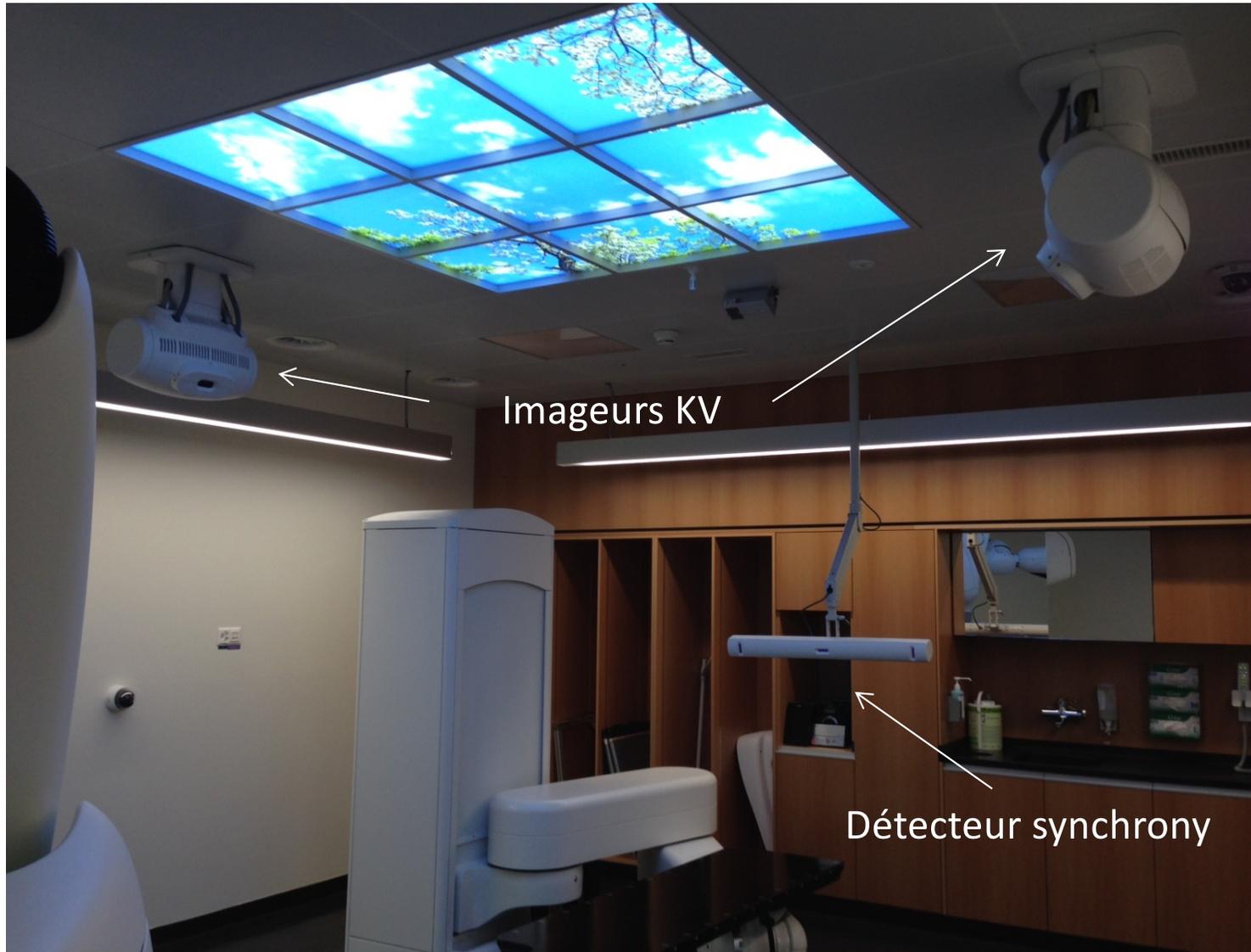
- 60 mm



Positionnement



Positionnement



Centre d'imagerie



Indications

Intra-crâniennes

- Tumeurs bénignes
 - Neurinome de l'acoustique
 - Tumeur glomique
 - Méningiome
 - Adénome hypophysaire
- Cibles vasculaires
 - malformations artério-veineuses
- Tumeurs malignes
 - Primaires
 - Secondaires (métastases cérébrales, récurrence de tumeur maligne)
- Indications fonctionnelles
 - Névralgie du trijumeau
 - Maladie de Parkinson
 - Epilepsie

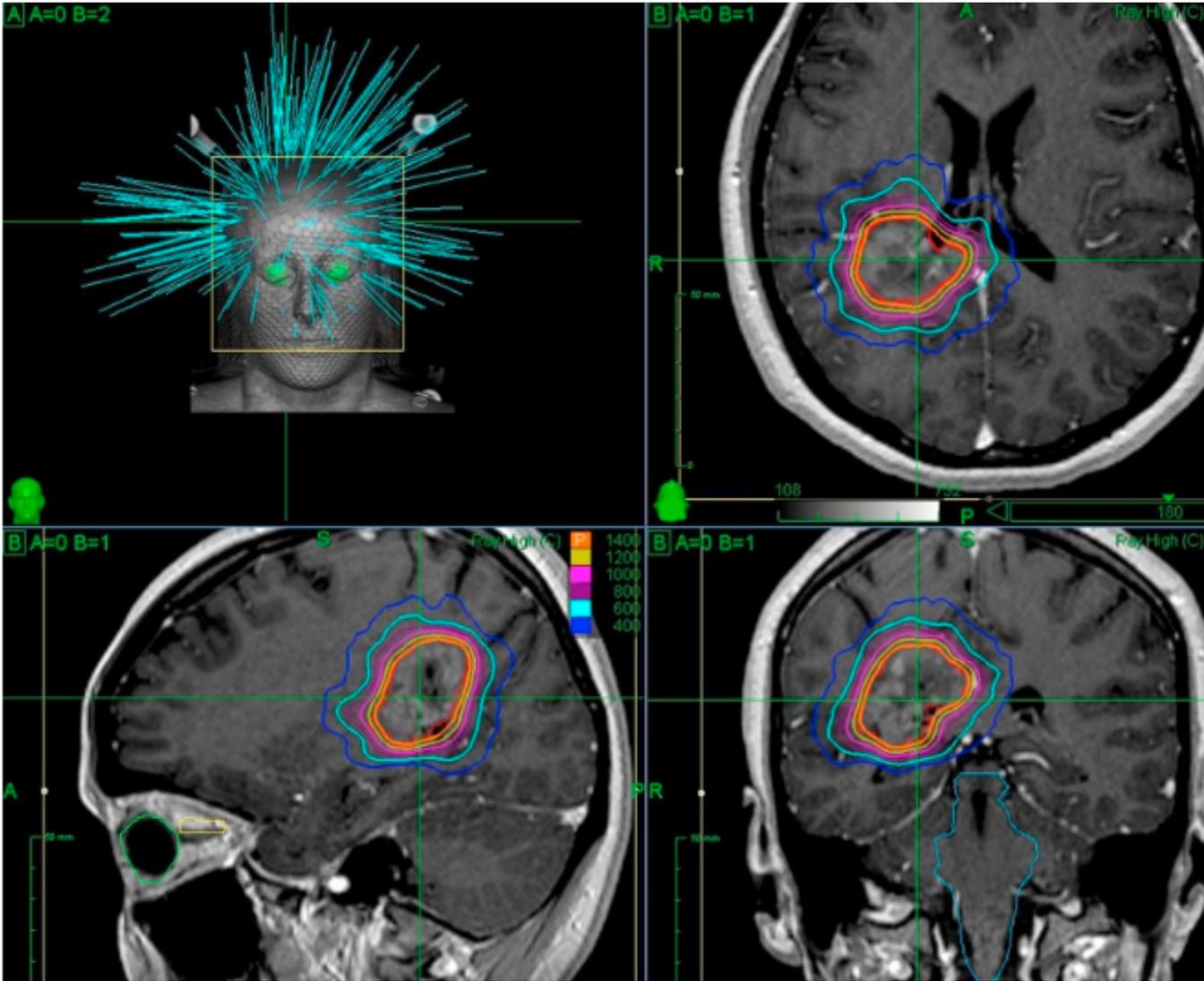
Extra-crâniennes

	Tumeur primitive	Lésion secondaire
Poumon	T1-2 (rarement T3) N0	Métastase unique ou oligométastases
Foie	Carcinome hépatocellulaire, cholangiocarcinome	Métastase unique ou oligométastases
ORL	Radiothérapie de rattrapage pour une récurrence locale	
Os, rachis	Tumeurs intraspinales	Métastase unique vertébrale
Prostate	Tumeur de faible risque	
Adénopathie		Adénopathie unique récidivante
Pancréas	Tumeur localisée, mais inopérable	
Glande surrénale		Métastase unique
Rein	Tumeur localisée, mais inopérable	
Bénigne spinale	Schwannome, méningiome, neurofibrome...	

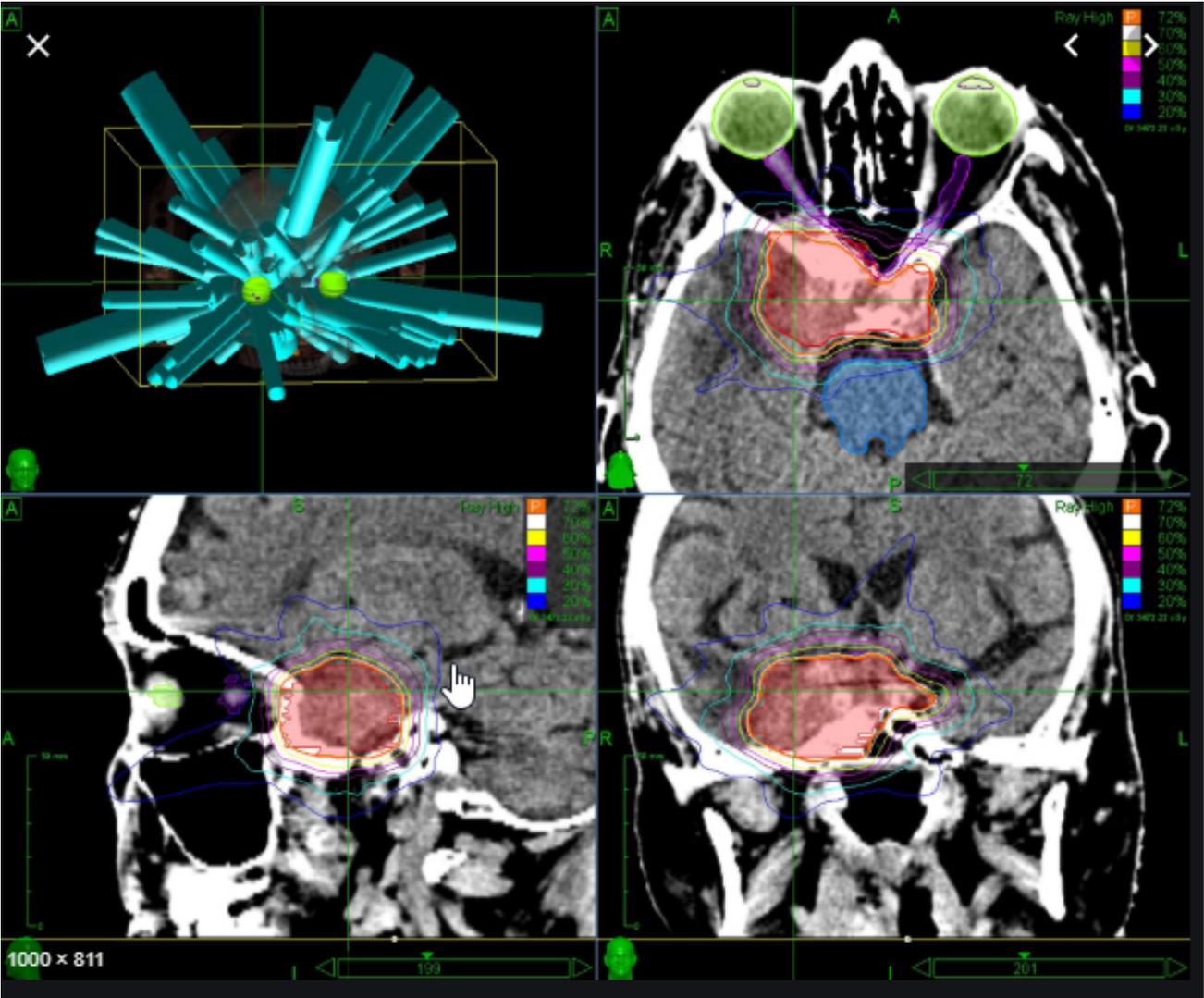
Limitation des indications

- Taille du volume trop importante
- Impossibilité de suivre le volume cible (tracking) due
 - à la superposition de la cible à des structures gênant sa visualisation (vertèbres par ex.)
 - à l'absence ou la migration de fiduciels (petits repères radio-opaques placés par le chirurgien ou le radiologue interventionnel)

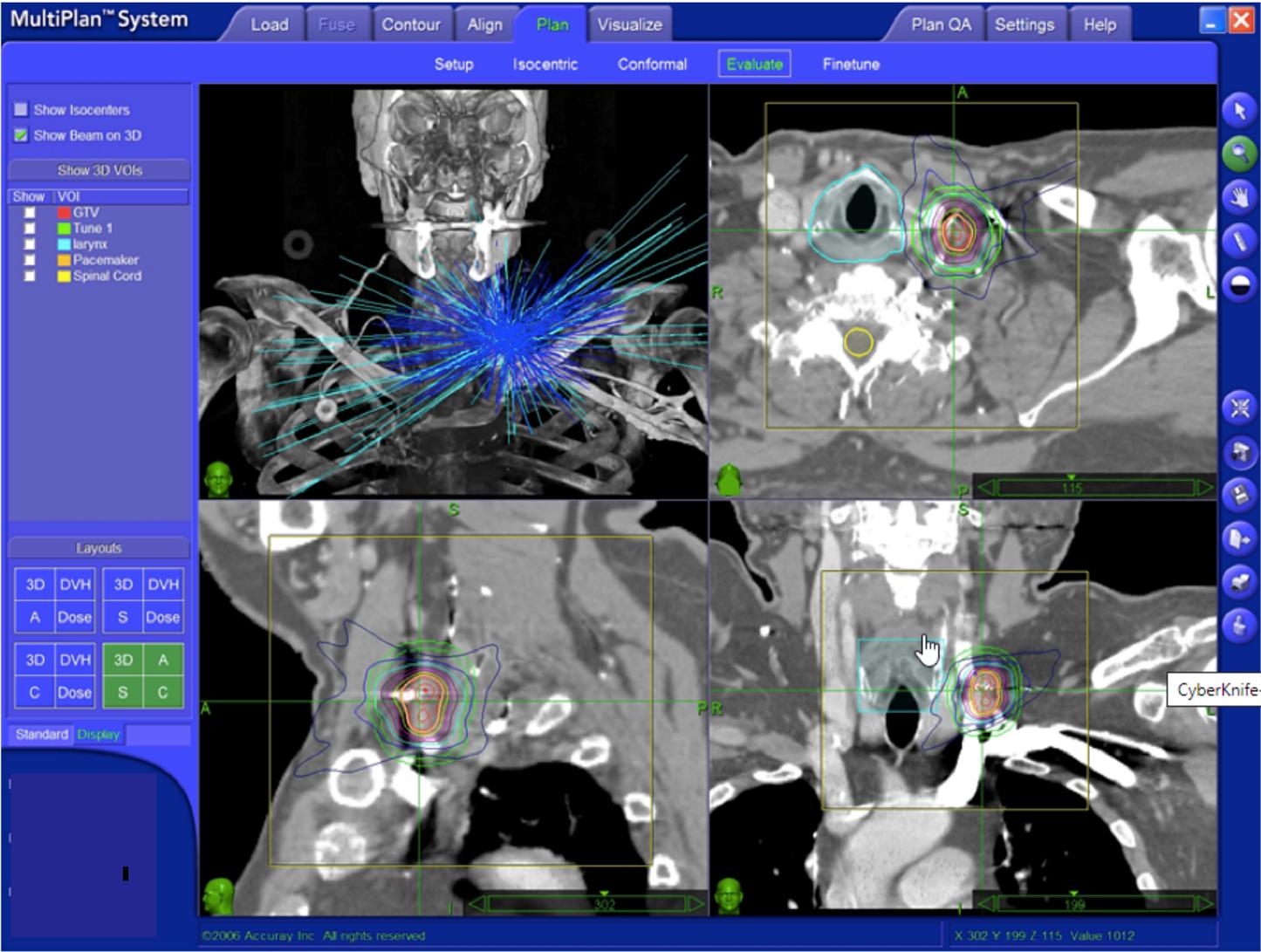
Exemple de traitement d'une métastase cérébrale



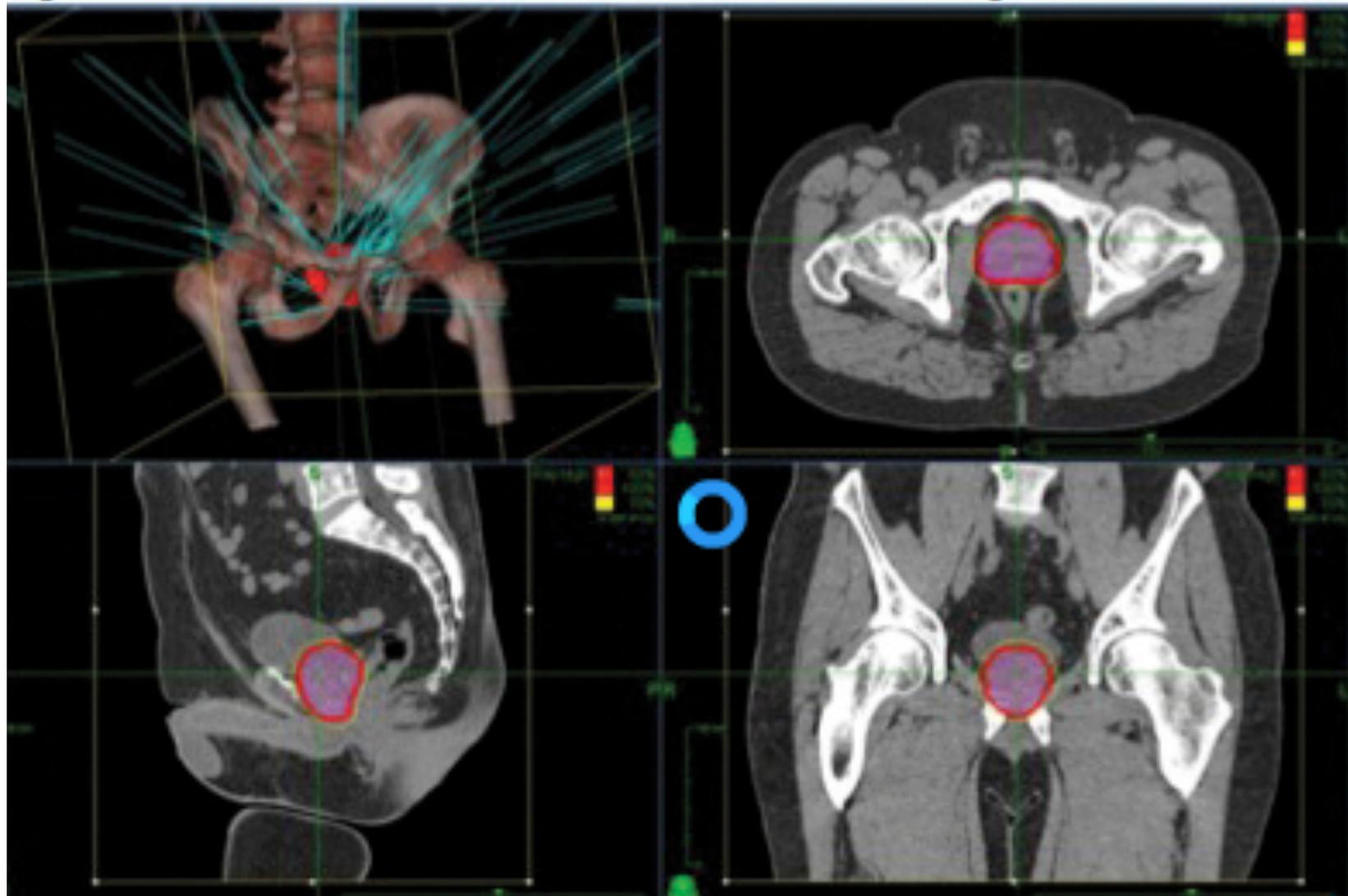
Tumeur de la base du crâne.



Traitement d'un ganglion sus clavulaire



Traitement de la prostate



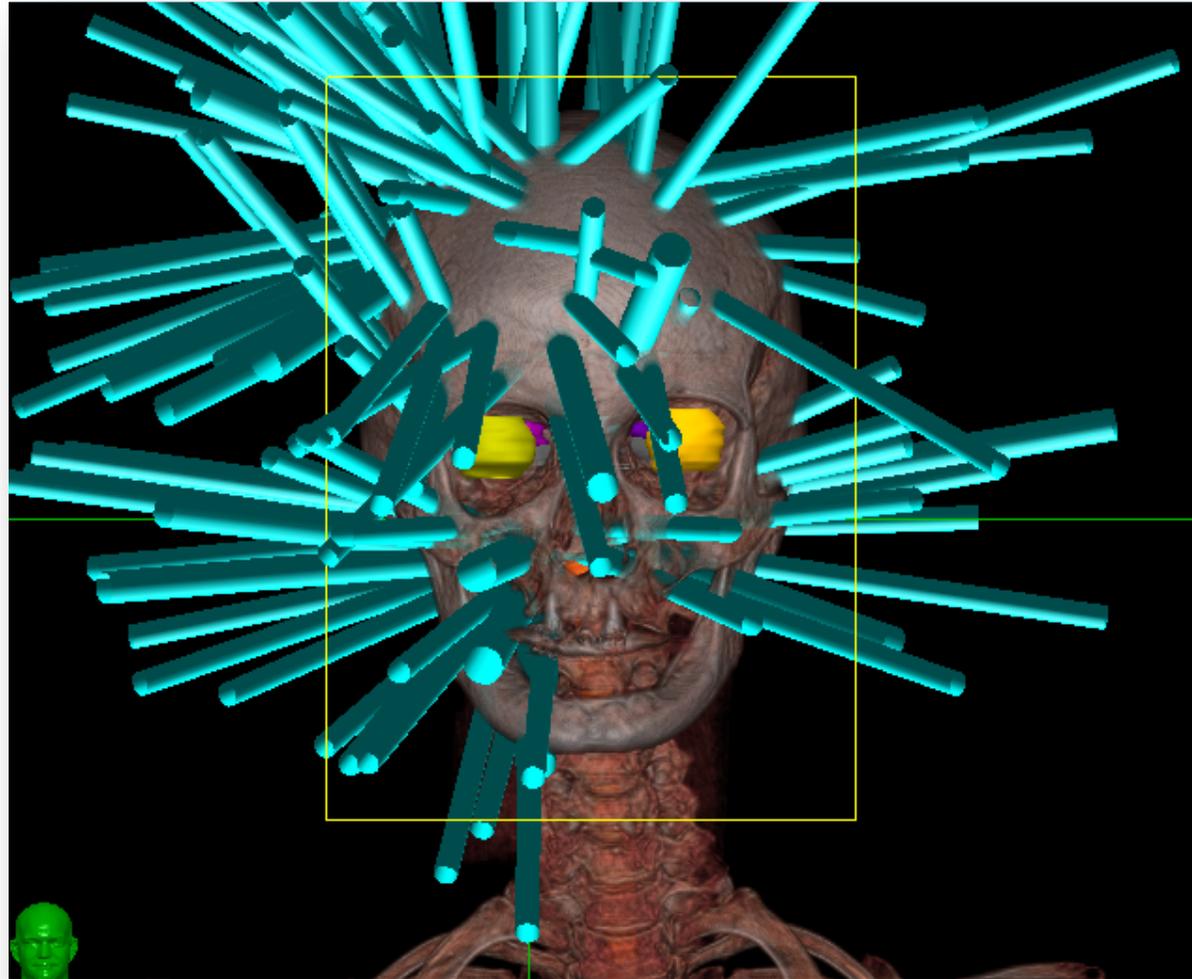
Etapes suivies par le patient

1. Consultation
2. CT de planification
3. Simulation (facultatif) pour les traitements de lésions pulmonaires sans pose de fiduciels
4. Création du plan
5. QA (irradiation d'un fantôme pour mesurer la dose délivrée par le traitement)
6. Positionnement du patient
7. Alignement
8. Traitement

CT de planification: procédure

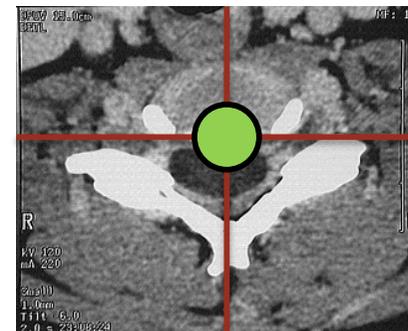
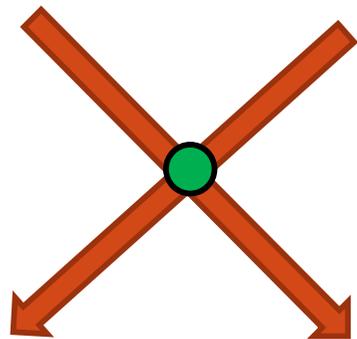
- Au moins une série sans injection de produit de contraste : elle servira à la planification
- Epaisseur de coupe: 1-1.5 mm
- Angle de la gantry: 0°
- KV ~ 120
- mAs > 400
- Confort du patient primordial et privilégié :
 - Souplesse dans la contention

Traitement



Généralités

Le centre d'imagerie et le centre d'alignement doivent être superposés durant le traitement

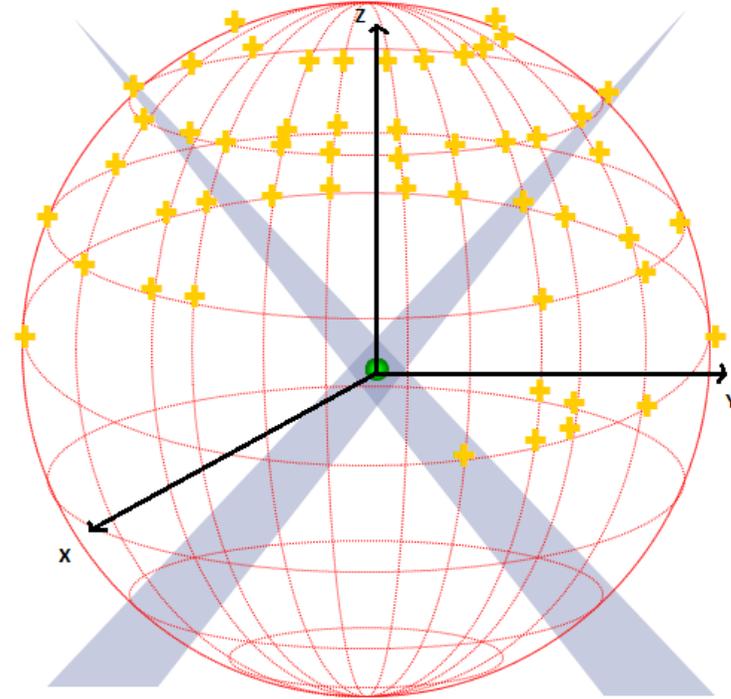


Principe

Cyberknife = traitement en 3D... avec beaucoup de faisceaux

Chaque faisceau a comme point de départ un nœud, qui correspond à une position de la tête d'irradiation sur une sphère virtuelle autour du patient.

L'ensemble de nœuds disponibles pour l'optimisation dépend du modèle choisi lors de la planification.



Méthodes de Tracking (action de suivre les mouvements)

Cibles « stables »: petits déplacements aléatoires

Skull

X-sight spine

Fiducial

Cibles « mobiles »: déplacements liés au mouvement respiratoire

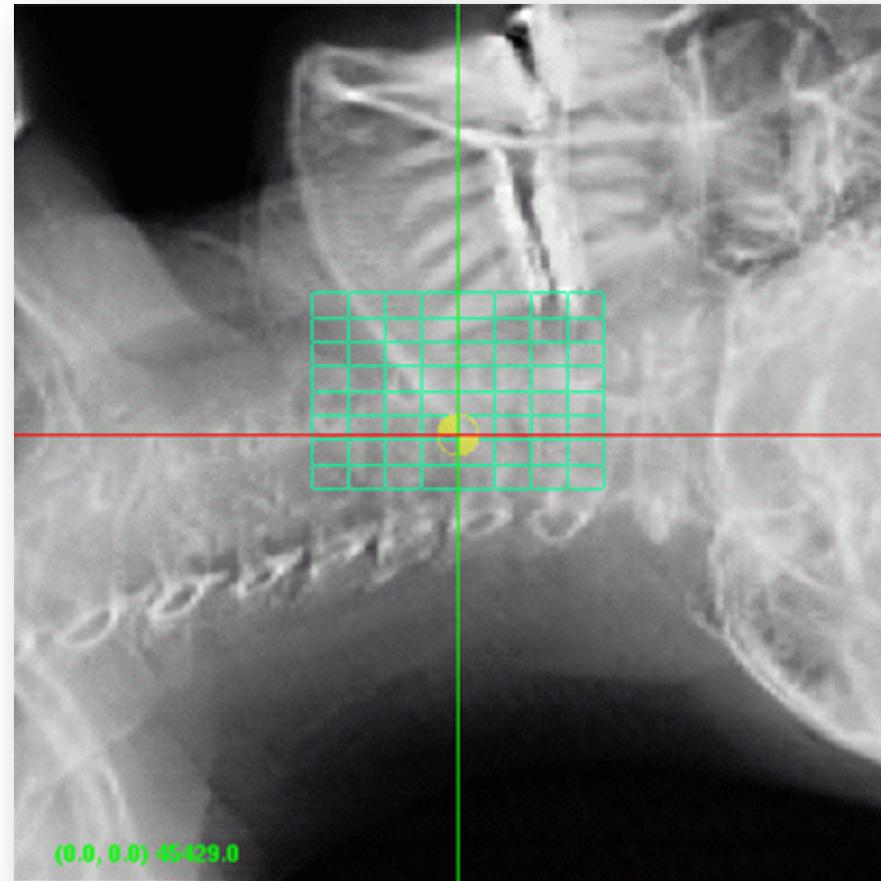
Synchrony x-sight lung

Synchrony with fiducial

Traitement cibles stables

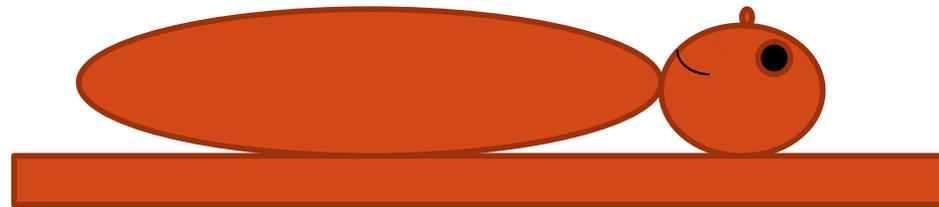
Définition d'un centre d'imagerie

Création d'une bibliothèque de DRR, correspondant aux deux vues de référence avec des séries de variations angulaires pour les comparer aux images prises pendant le traitement, et déterminer les corrections que le robot devra opérer.



Ttt cibles stables

Patient placé sur la table

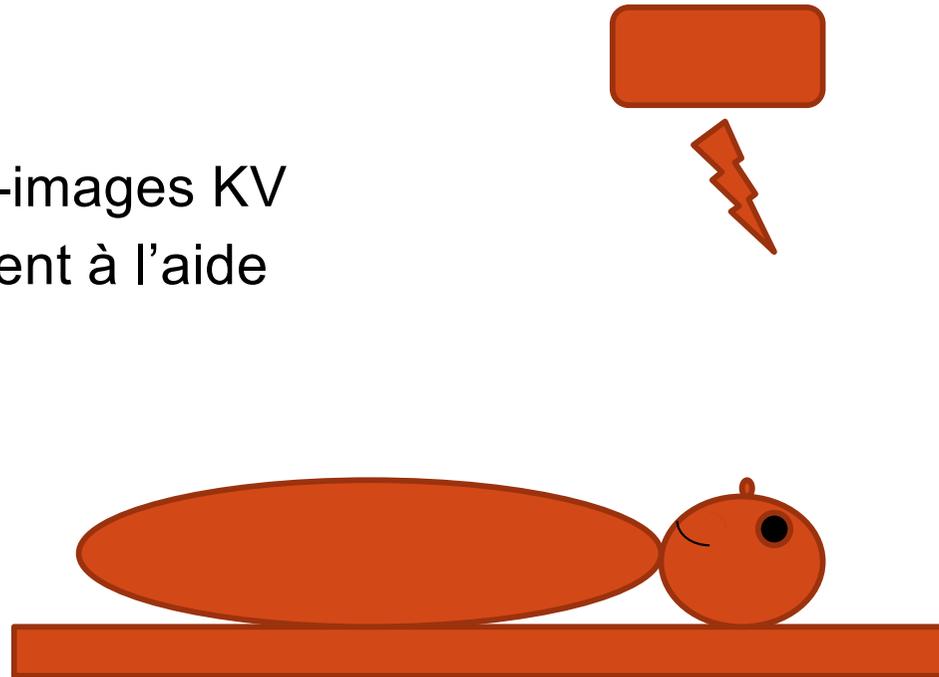


Ttt cibles stables

Image KV

Recalage DRR-images KV

Repositionnement à l'aide
de la table



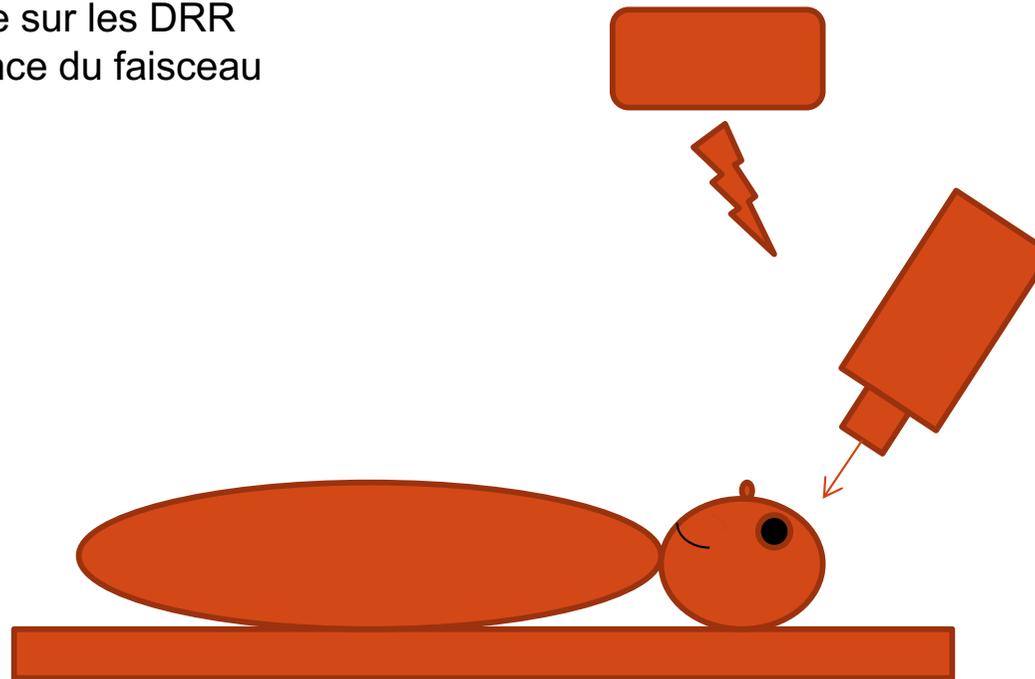
Ttt cibles stables

Début de l'irradiation

Images prises à intervalle régulier

Recalage automatique sur les DRR

Correction de l'incidence du faisceau



Static Target Tracking

6D skull Tracking

- ▶ Utilisé pour le crâne, C1 et C2

Xsight Spine Tracking

- Utilisé pour les tumeurs proches de la colonne
- Les vertèbres bougent indépendamment les unes des autres
- Utilisation d'une grille, fusion déformable des images

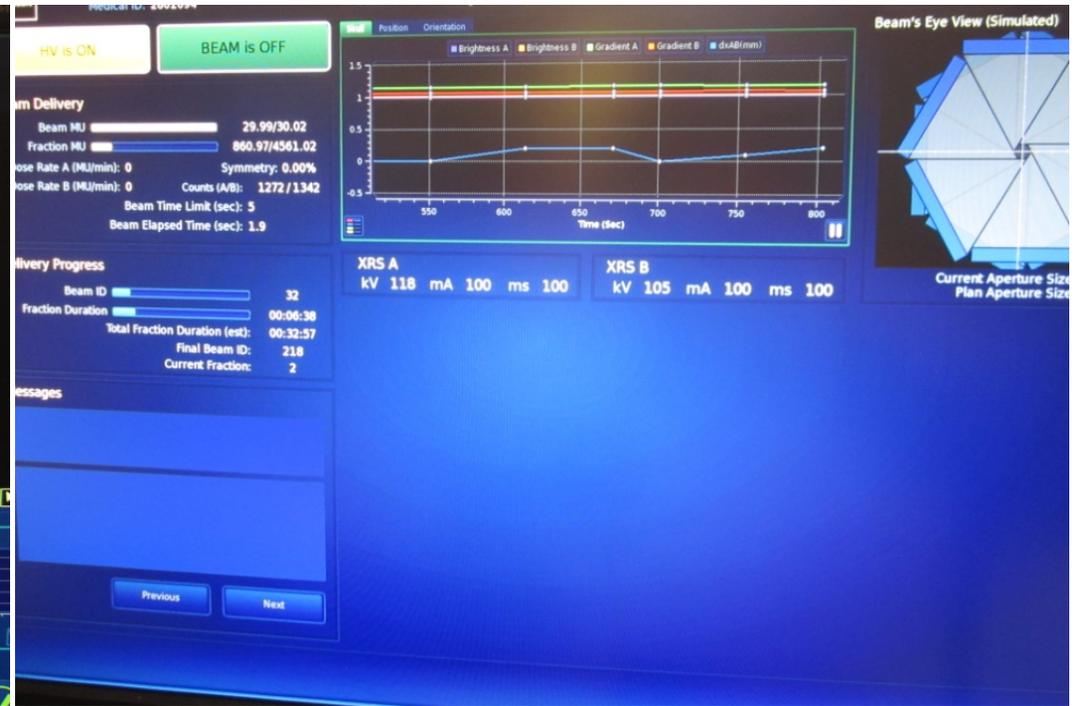
Fiducial Tracking

- Mise en place de grains radio-opaques (minimum 3)
- Utilisé pour les prostates, le pancréas, le foie, les reins et quelques tumeurs du poumon

Static Target Tracking

Correction maximum pour les translations	INF/SUP	Gauche/Droite	ANT/POST
	+/- 10 mm	+/- 10 mm	+/- 10 mm
Correction maximum pour les rotations	Roll	Pitch	Yaw
6D skull, spine tracking	+/- 1.5 °	+/- 1.5 °	+/- 1.5 °
Fiducial tracking	+/- 1.5 °	+/- 1.5 °	+/- 3 °

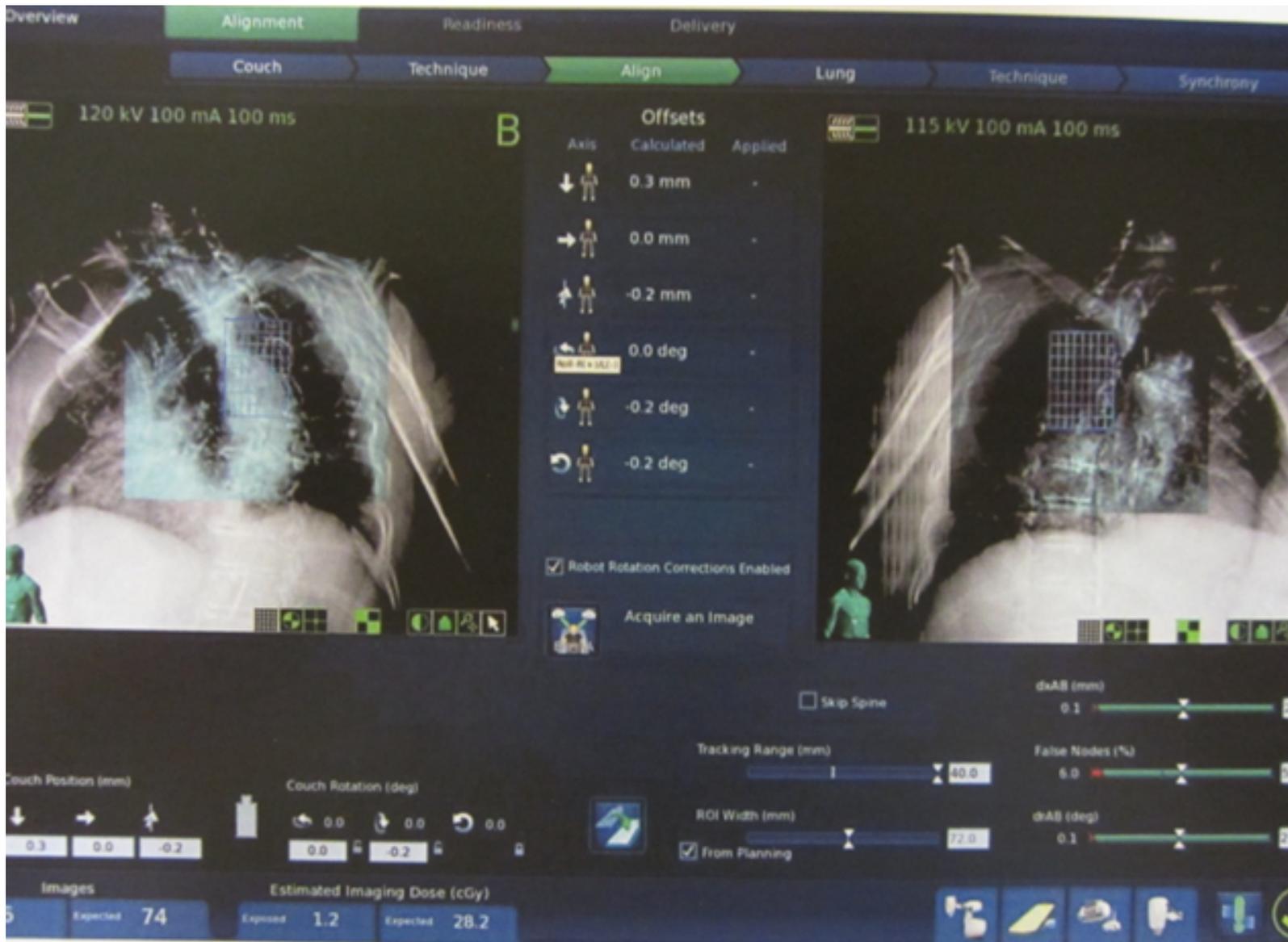
6D skull Tracking



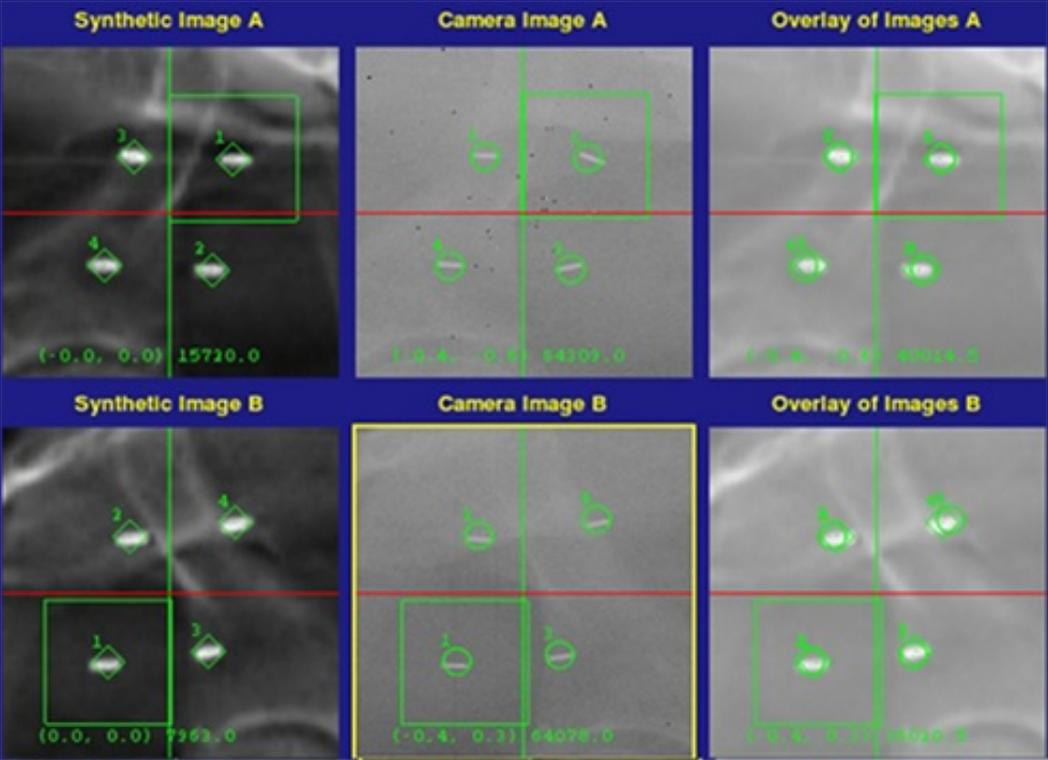
Vérification du mouvement, fréquence d'imagerie

Durée du traitement, fraction, paramètres à observer

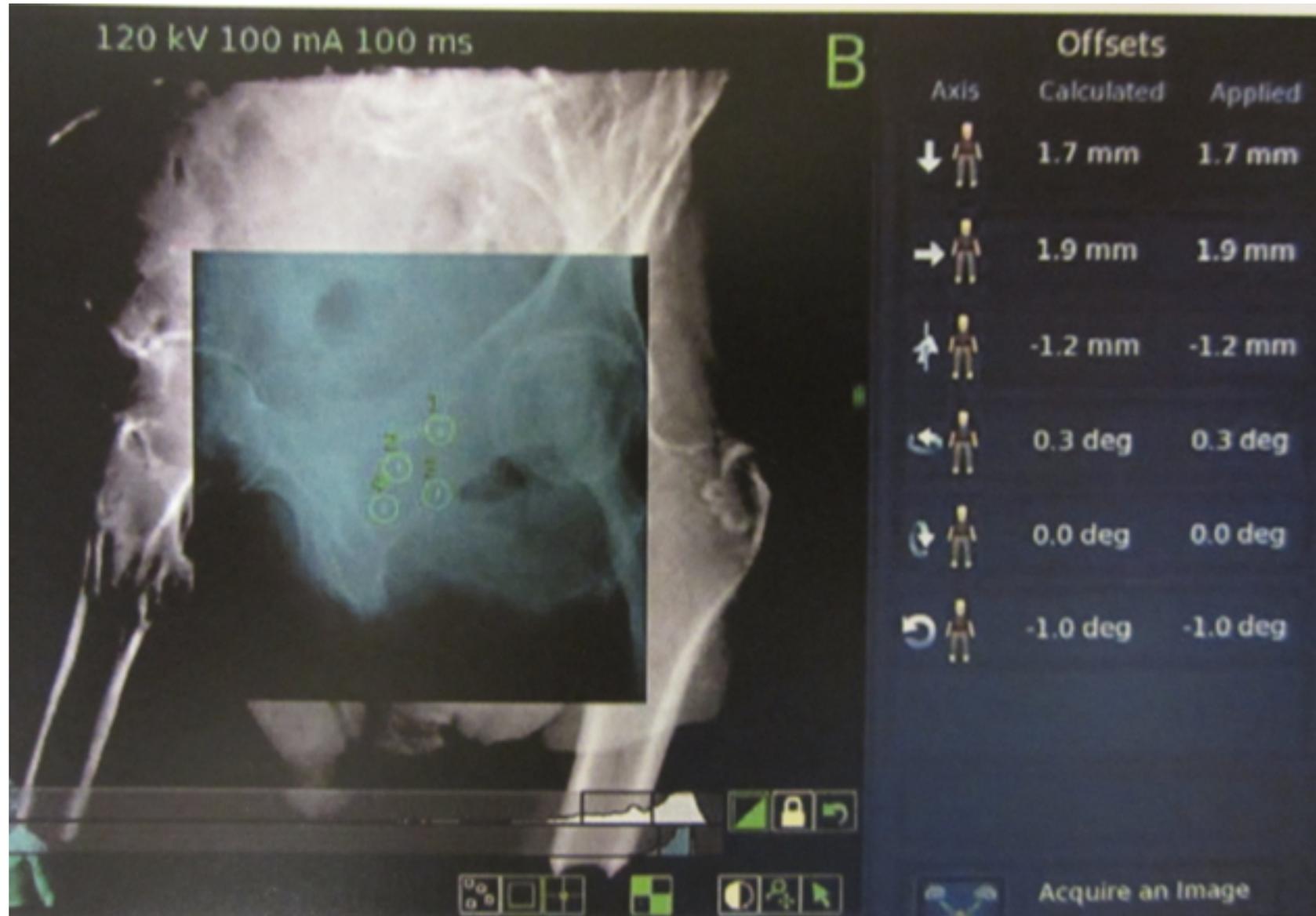
Xsight Spine Tracking



Synchrony avec fiducial tracking



Fiducial Tracking



Traitement des cibles mobiles: Synchrony

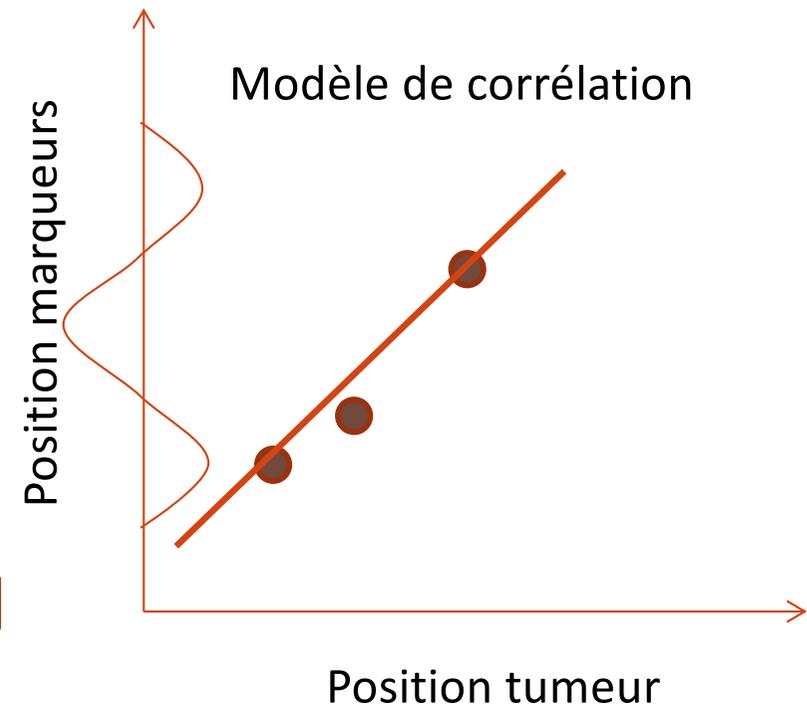
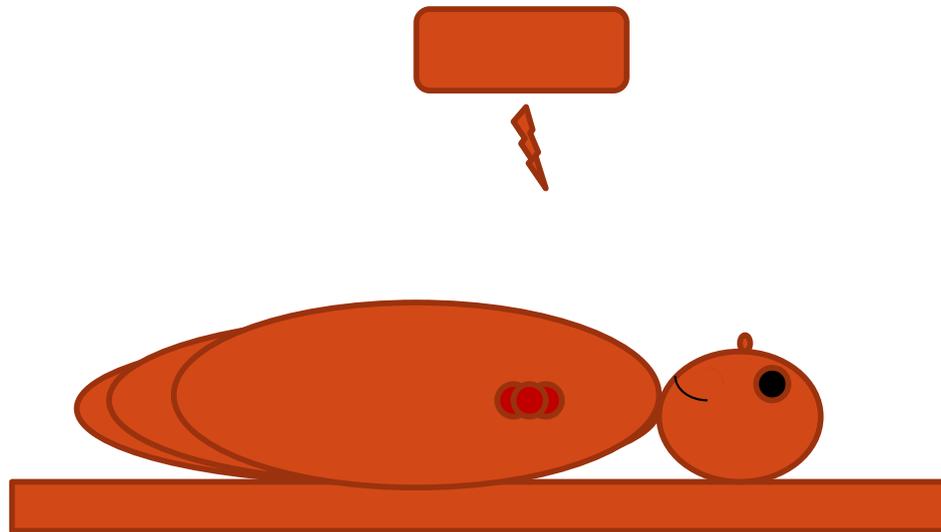
Corréler le mouvement de marqueurs externes et le mouvement de la tumeur



Synchroniser le mouvement du faisceau avec celui de la tumeur

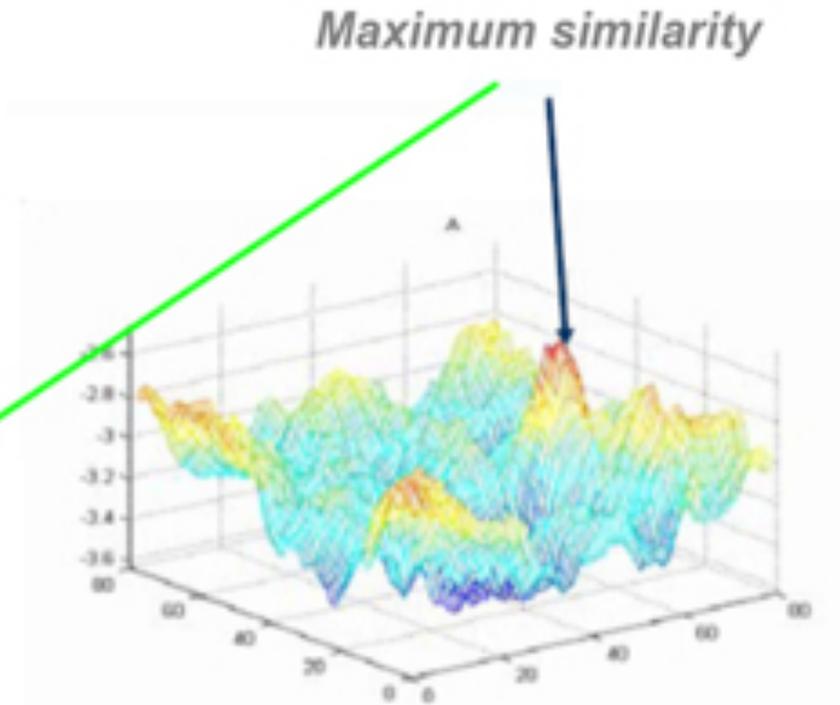
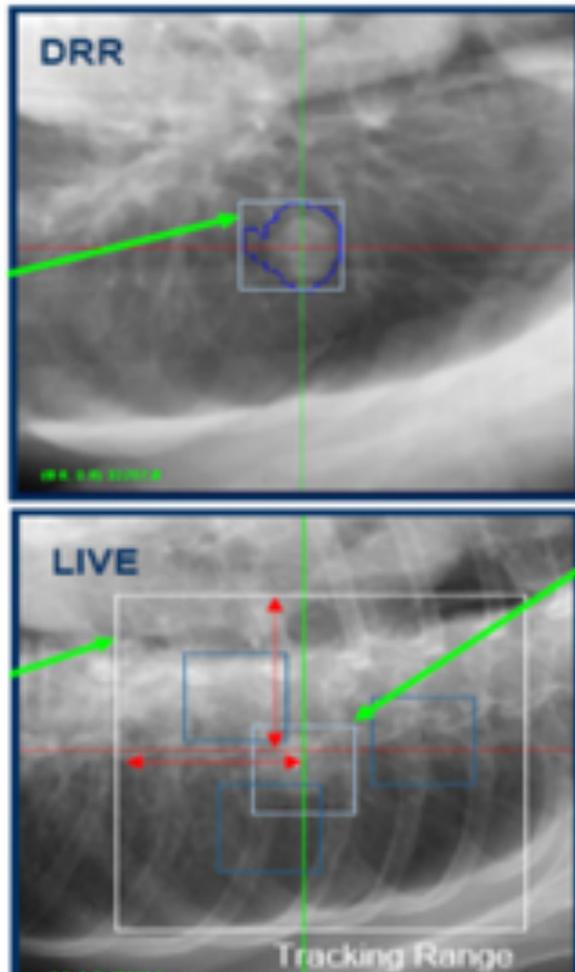
Synchrony: modèle de corrélation

Patient placé sur la table
Création du modèle de corrélation



- Pendant le traitement le modèle est mis à jour en continu

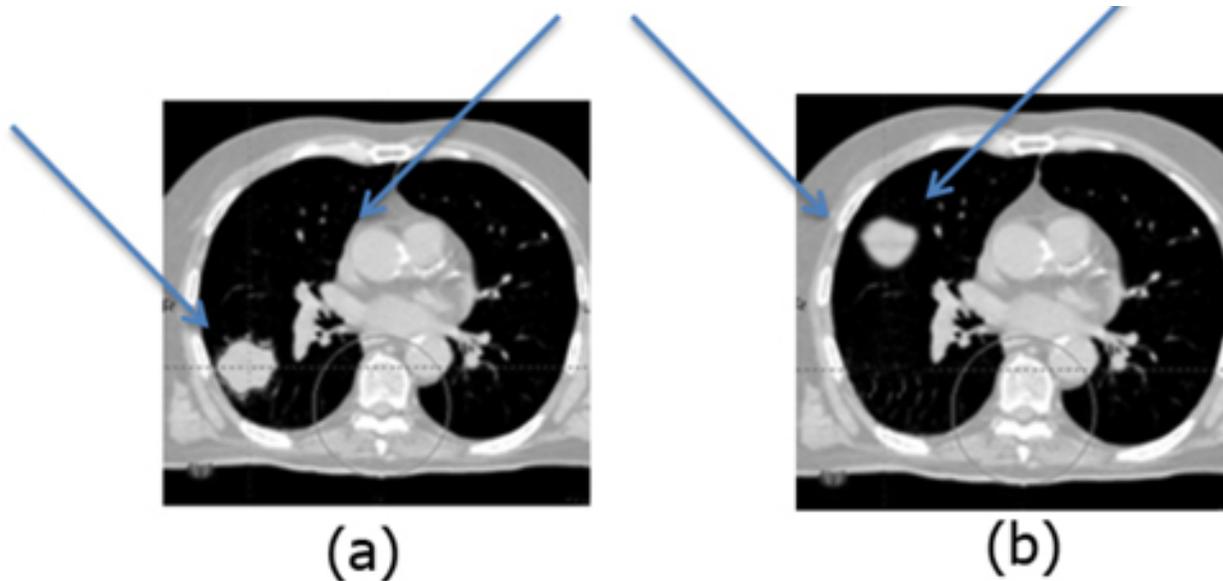
Synchrony avec x-sight lung tracking



Synchrony x-sight lung

Pour des lésions de 15-60mm qui sont

- Dans le parenchyme pulmonaire,
- A plus de 15 mm des côtes,
- Pas de projection à 45° sur la colonne



Synchrony Tracking System

- Permet de suivre le mouvement de:
 - Tumeur métastatique ou primaire du poumon
 - Tumeur rénale
 - Tumeur du sein
 - Tumeur métastatique ou primaire du foie
 - Tumeur para spinale
 - Tumeur du pancréas

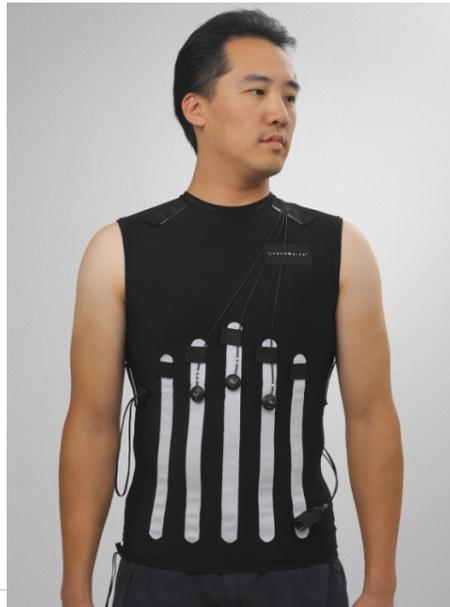
Synchrony Tracking System

Correction maximum pour les translations	INF/SUP	Gauche/Droite	ANT/POST
Synchrony tracking system	+/- 25 mm	+/- 25 mm	+/- 25 mm

Xsight lung Tracking

CT de planification:

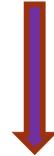
- Suivre les directives standards
- Réaliser un CT à la fin de l'expiration et de l'inhalation



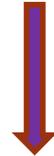
Xsight lung Tracking

3 étapes:

Alignement du patient avec la technique
Xsight Spine

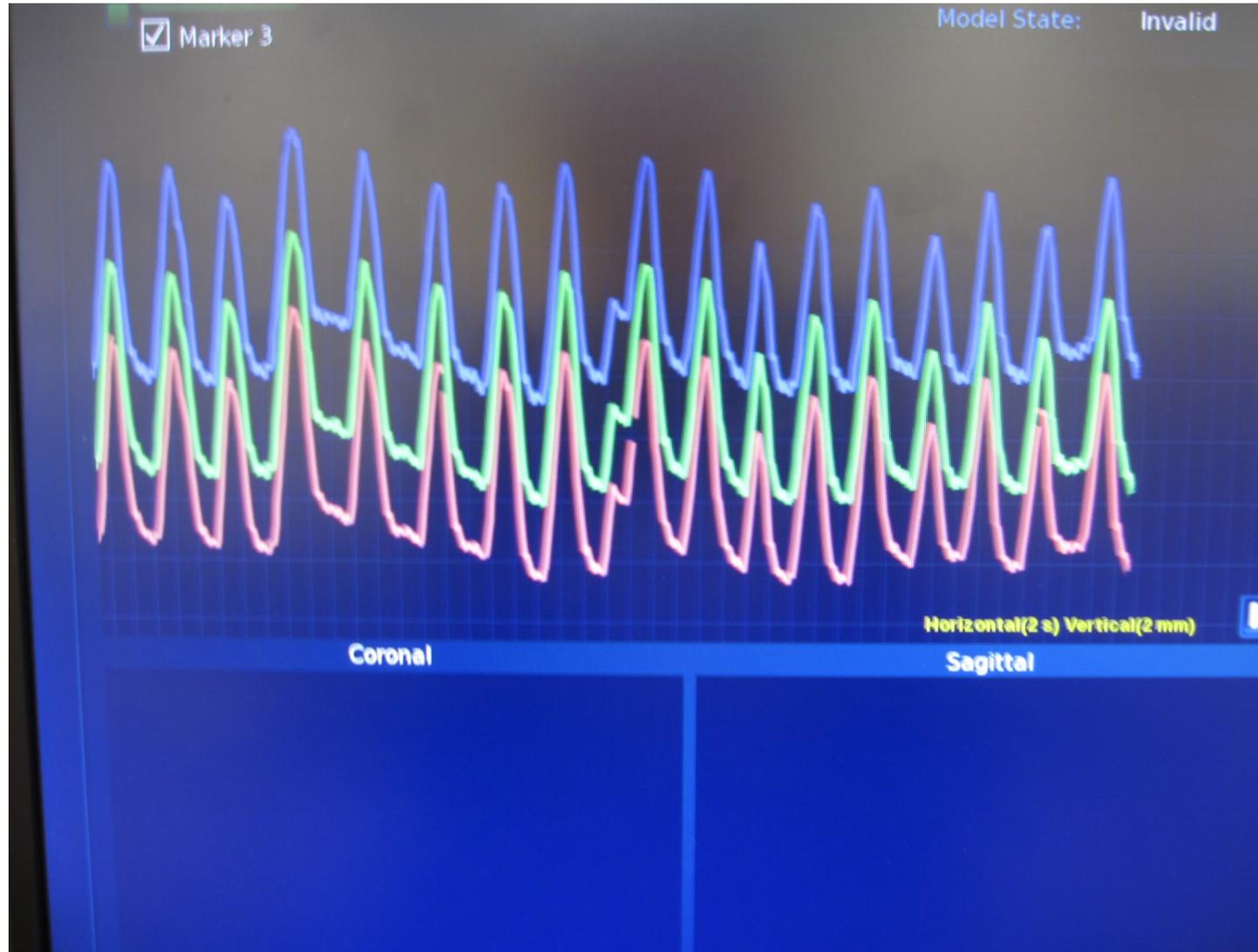


Déplacement de la colonne du patient au
poumon



Synchrony Respiratory tracking System

Modèle de synchronisation



Ecran de contrôle du Modèle de synchronisation



Imagerie du Modèle de synchronisation

UCC : ORDI TRM MultiSync EA34000

Overview Alignment Readiness **Delivery**

B

120 kV 250 mA 80 ms

Synchrony Model (mm)

1.8	-10.6	-4.3	-7.4
0.9	-12.3	-2.9	-7.8
2.0	-13.1	-0.4	-7.6
2.1	-13.6	-3.6	-7.6
2.8	-15.5	-1.3	-8.1
1.2	-12.0	-0.9	-8.1
1.1	-12.2	-0.9	-7.6
0.6	-13.6	-1.1	-7.8
0.8	-14.1	-1.8	-8.1
0.9	-12.8	-1.1	-8.3
0.3	-13.0	-1.3	-8.1
1.1	-12.0	-2.0	-8.7
0.8	-12.3	-2.5	-8.3
2.3	-10.4	-0.4	-8.1

Rotation Correction (deg)

Align	-0.9	0.7	1.1
Applied	-0.9	0.7	1.1

Acquire Image

BEAM is OFF

Beam ID: 58
Image taken at: Node 75
Robot moving to: Node 102

A

120 kV 250 mA 80 ms

Height (cm) Position (mm) Orientation (deg) Synchrony Model Standard Error (mm)

InfSup (mm) LeftRight (mm) AntPost (mm) Position Delta (mm)

Time (Sec)

Image Interval (sec) 30

Height (cm) Position (mm) Orientation (deg) Synchrony Model Standard Error (mm)

Uncertainty A (%) Uncertainty B (%) d4d6 (mm)

Time (Sec)

Images

Acquired	586	Expected	824
Exposed	115	Expected	18.3

Estimated Imaging Dose (cGy)

In Progress

Création d'un modèle de synchronisation

But: Créer une série de radios pour localiser le volume-cible corrélativement au cycle respiratoire repéré par des diodes fixées sur le thorax.

Pour obtenir un modèle optimal:

- Avoir 8 phases respiratoires différentes

- Une couverture $> 85 \%$ (couvrir tout le cycle respiratoire)

- Erreur de corrélation $< 2 \text{ mm}$ (variation autour du modèle)

Pour obtenir un modèle sub-optimal (conditions minimales pour traiter):

- Avoir entre 3-6 phases respiratoires différentes

- Une couverture $> 40 \%$

- Erreur de corrélation $< 5 \text{ mm}$

Mise en route de la machine

QA du matin:

- Warm up linac/tubes

- Vérification des constantes de la machine

- Dosimétrie

- Vérification du centre d'imagerie

Patients traités

- Crâne

- Colonne

- Poumon avec tumeur statique → Xsight Spine

A venir ... début décembre:

- Mise en route de synchrony avec l'ingénieur d'application

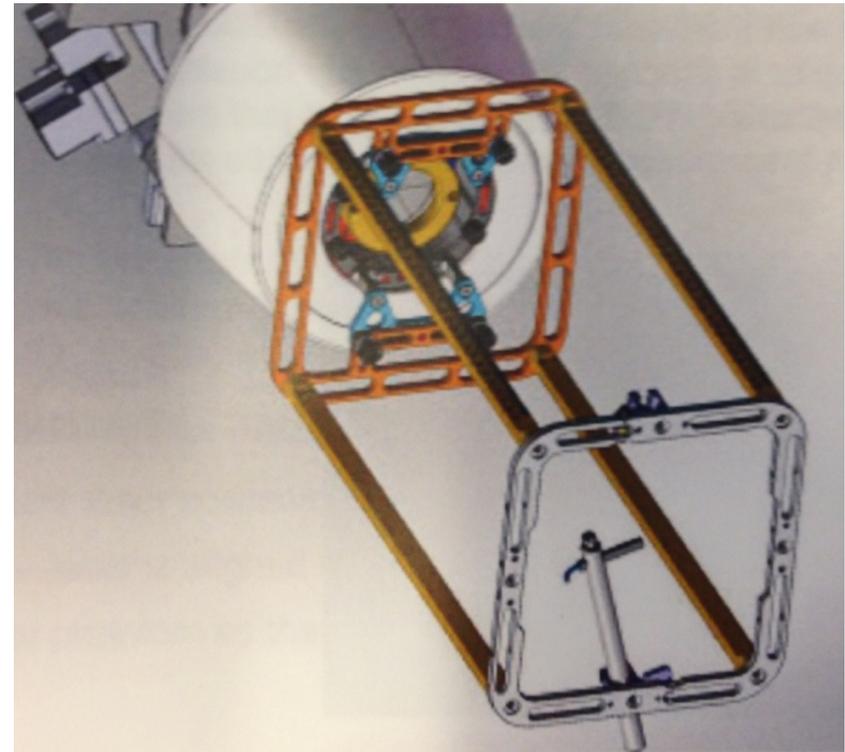
- Réception du multilames

Contrôle de qualité journalier

SAD = 800 mm

Utilisation de la « bird cage » munie d'une chambre d'ionisation

Mesures avec collimateur fixe , Iris et collimateur multilames en alternance



CE QU'IL FAUT RETENIR

- Un accélérateur linéaire monté sur un bras robotisé
- Nombreux faisceaux non coplanaires pour une séance de ttt permettant de diminuer la dose aux organes sains et de la concentrer sur les volumes-cibles en diminuant les marges
- Traitements hypofractionnés avec dose/séance élevée
- La taille des volumes cibles limite les indications
- Les traitements sont longs
- Le robot peut suivre les mouvements de la cible, en particulier les mouvements respiratoires
- Imagerie pendant la séance de ttt

Bibliographie, remerciements

(1).LE CYBERKNIFE® AIME LES DÉFIS ! Aperçu d'indications pour la radiothérapie extracrânienne robotisée Z. Jánváry (1), N. Jansen (2), P. Coucke (3) Rev Med Liège 2014; 69 : Supp. I : 87-93

Remerciements à V. Vallet et à A. Yamasathien, pour les diapos que je leur ai empruntées.