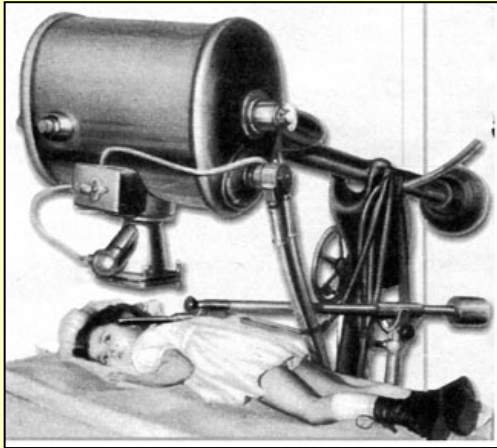
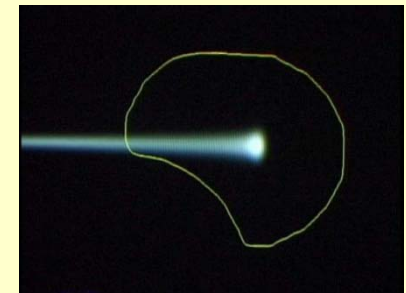
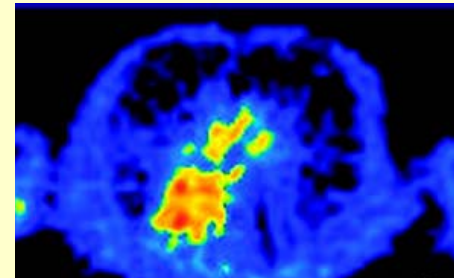
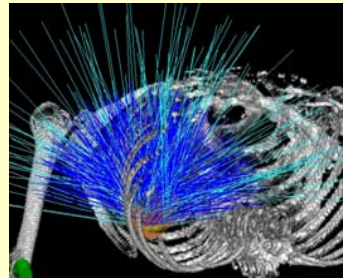
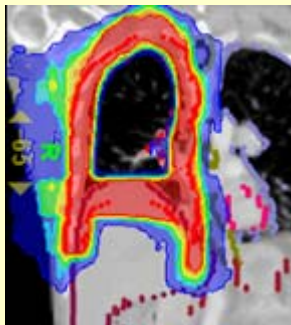


*G.O.L.F.  
8-11 septembre 2009*



# Perspectives de la radiothérapie externe

*J.M. Bachaud, C. Massabeau  
Institut Claudius Regaud*



# La radiothérapie aujourd'hui



- Les rayonnements utilisés en RT externe : photons RX (et électrons)
- Technique standard : RT conformationnelle

# Radiothérapie conformationnelle

ACQUISITION DES  
DONNEES ANATOMIQUES  
*Scanner*

*Transfert des images*

ELABORATION DU PLAN DE TRAITEMENT  
*Treatment Planning System*

*Transfert :*  
*-des paramètres techniques*  
*- des images de contrôle*

TRAITEMENT  
*Accélérateur*

# 1ère étape : scanner

## *Acquisition des données anatomiques*



### 1. Détermination de la position de traitement

- *Confection éventuelle de moules de contention*

### 2. Réalisation du scanner (APC)

- *Patient en position de traitement, dans le système de contention*

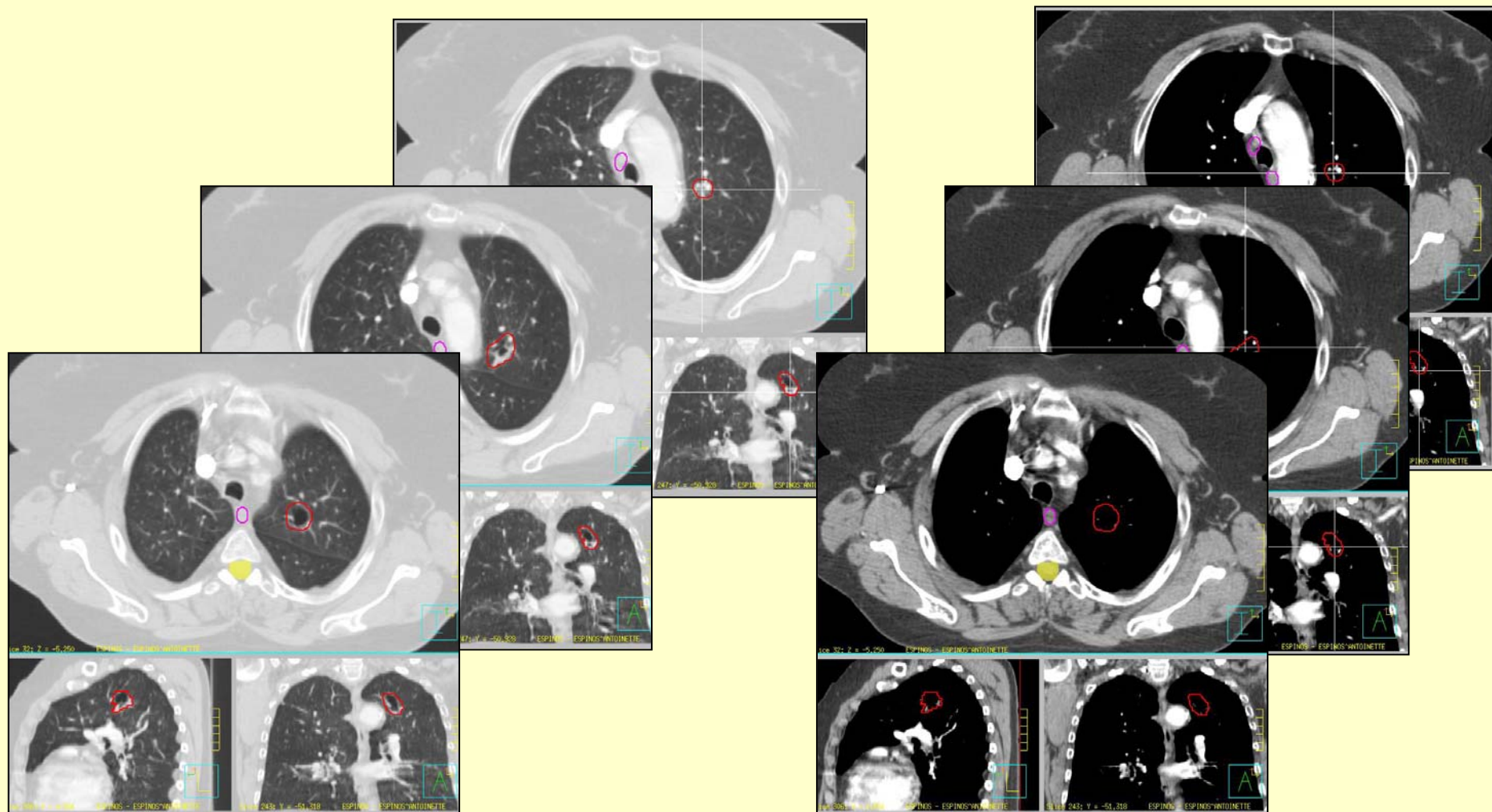
Transfert des images sur le TPS



# 2ème étape : TPS

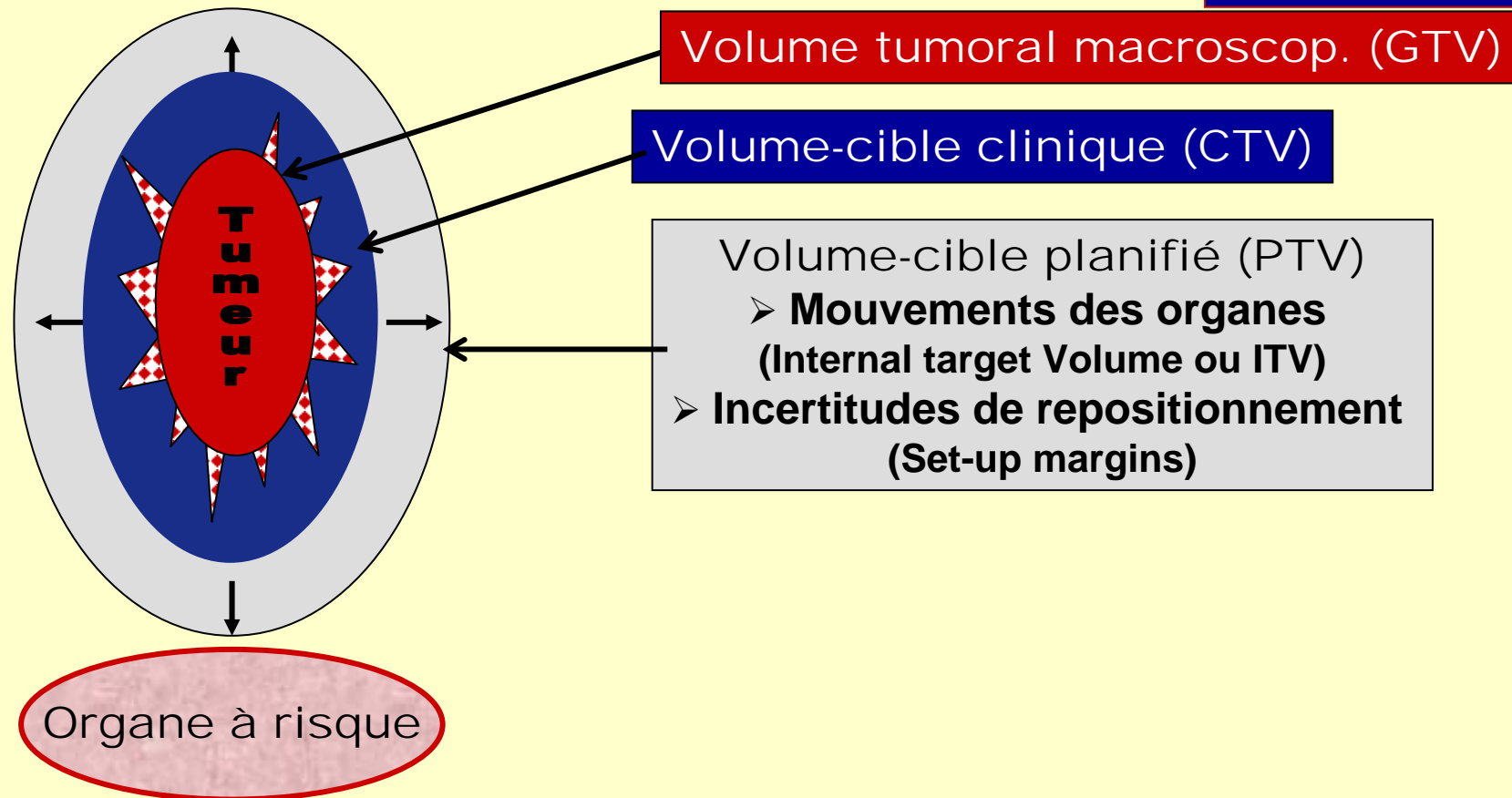
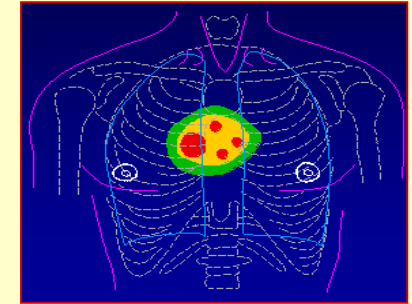
## Élaboration du plan de traitement en 3D

### 1- Délimitation sur les coupes TDM de la tumeur et des organes « à risque »



## 2ème étape : TPS Élaboration du plan de traitement en 3D

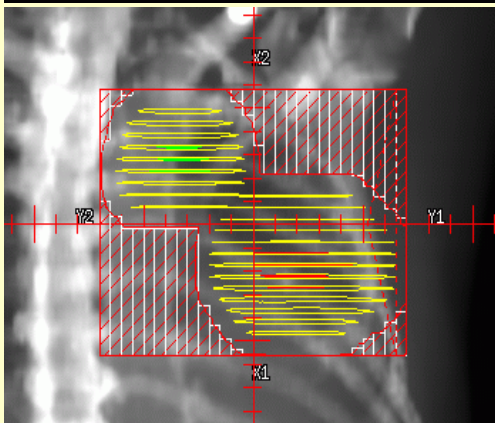
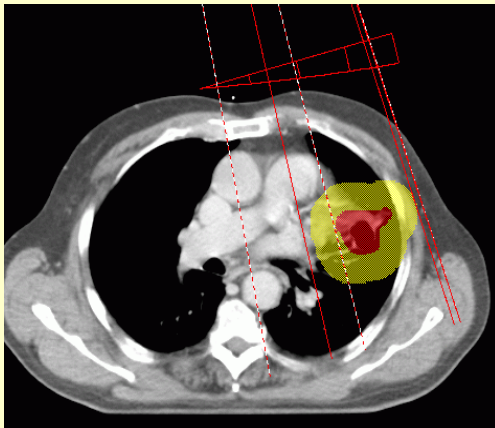
### 2- Application de marges de sécurité autour de la tumeur primitive et des ganglions pathologiques



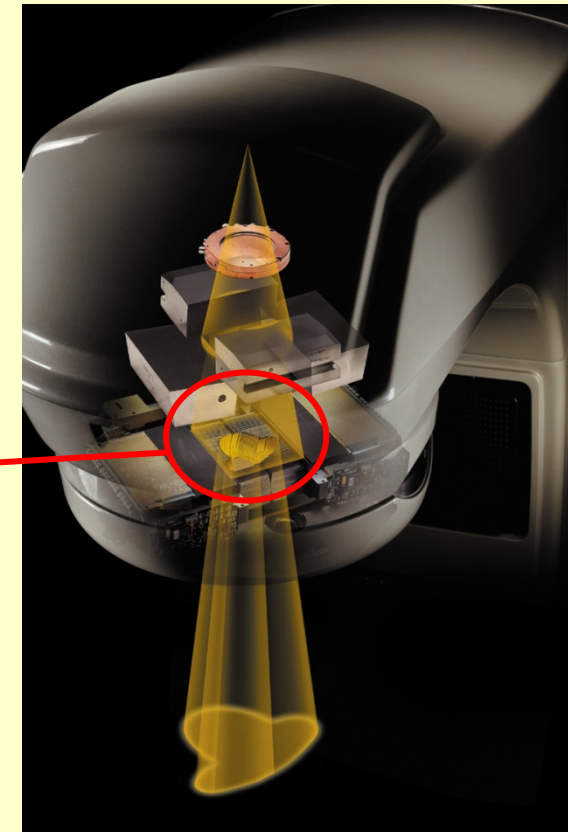
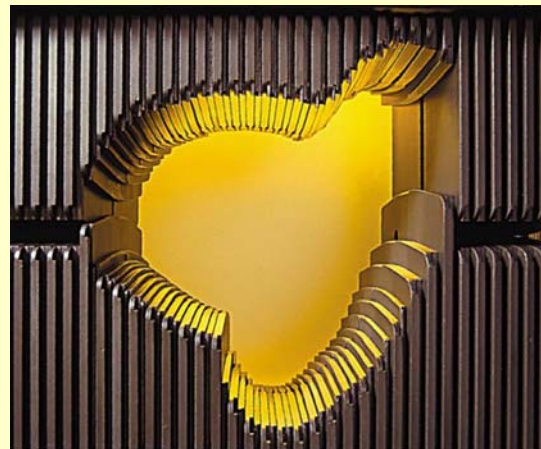
## 2ème étape : TPS Élaboration du plan de traitement en 3D

### 3- Simulation de la géométrie des faisceaux

- *Nombre de faisceaux, angulation, énergie, filtres éventuels*
- *Conformation des fx à la forme de la cible*



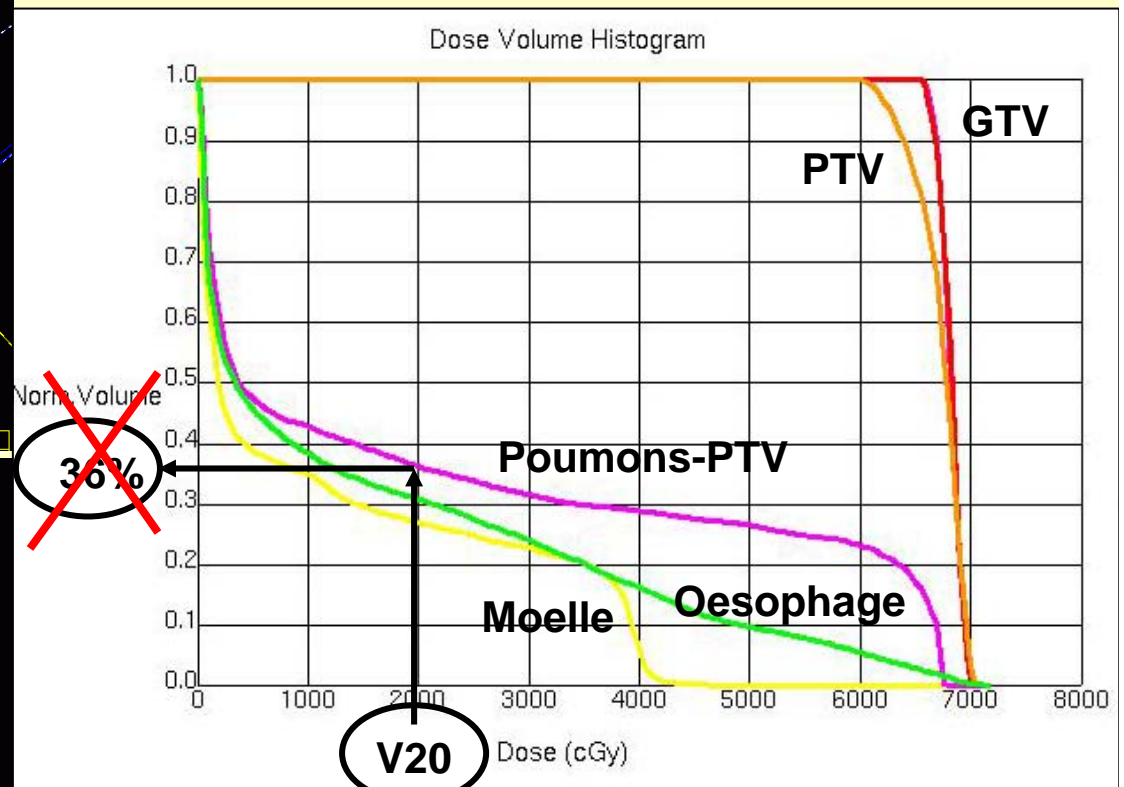
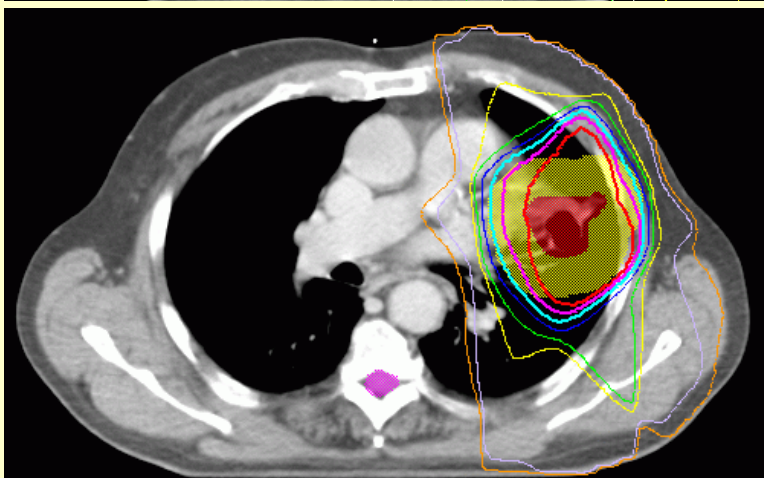
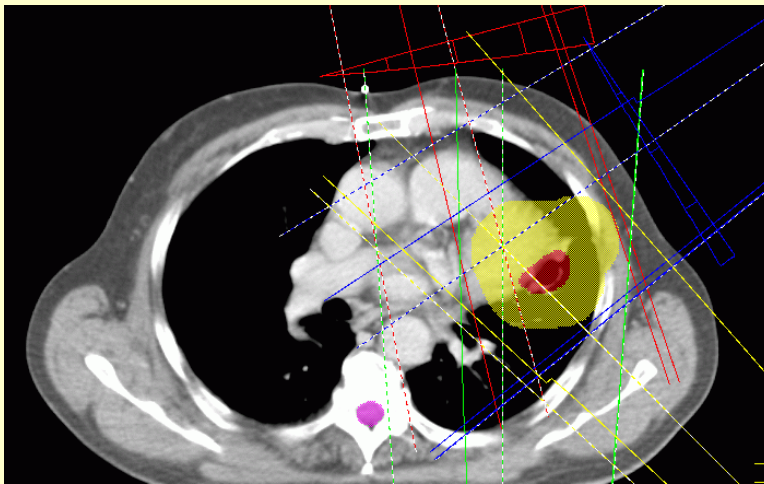
Collimateur multi-lames



## 2ème étape : TPS Élaboration du plan de traitement en 3D

### 4- Étude de la distribution de dose

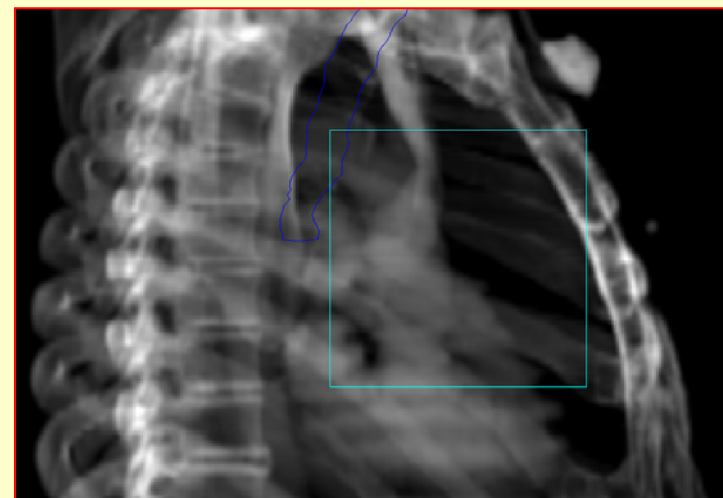
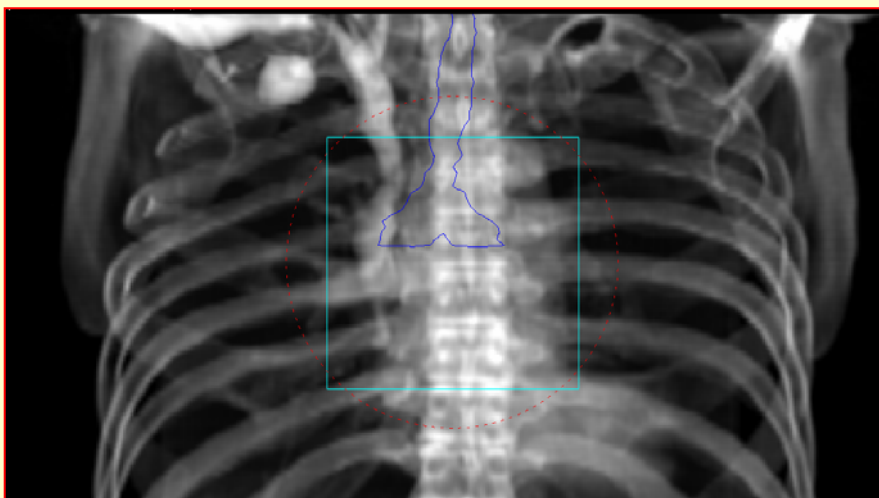
- **Modifications successives de la géométrie jusqu'à obtenir une distribution de dose correcte => histogrammes dose-volume**



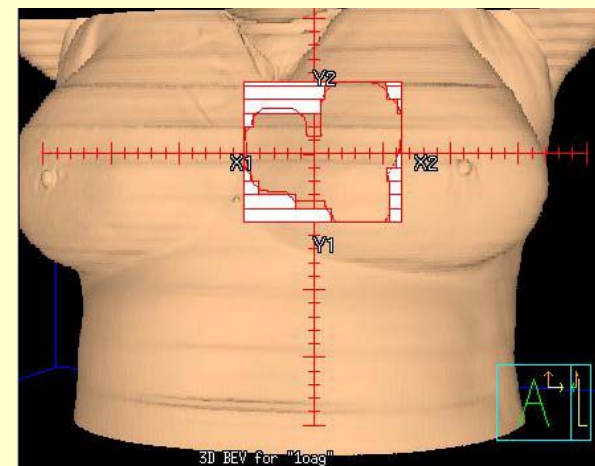
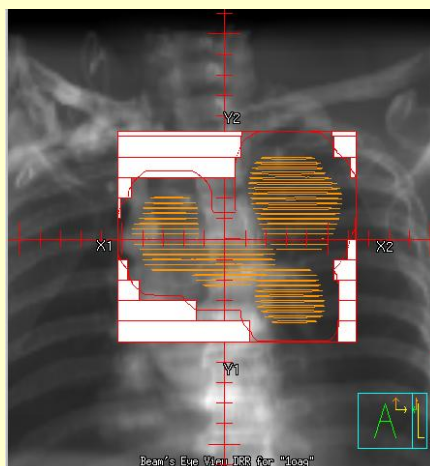


## 2ème étape : TPS *Élaboration du plan de traitement en 3D*

### 5- Transfert des paramètres et des images de référence (DRR) sur l'accélérateur



### Exemples de DRR



# 3ème étape : accélérateur

## *Réalisation du traitement*

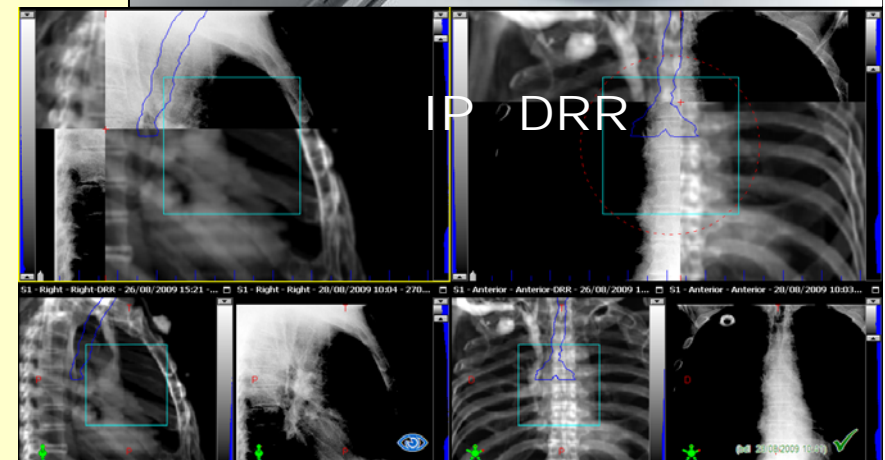
### 1. Installation du patient en position de traitement

### 2. Appel des paramètres de l'irradiation

- Angulation du bras
- Énergie des faisceaux
- Position des lames du collimateur
- Filtres éventuels

### 3. Contrôle du positionnement du patient

- Images « portales » (IP)
  - MV
  - kV
- Dosimétrie in vivo
  - Capteurs à l'entrée ou à la sortie du faisceau



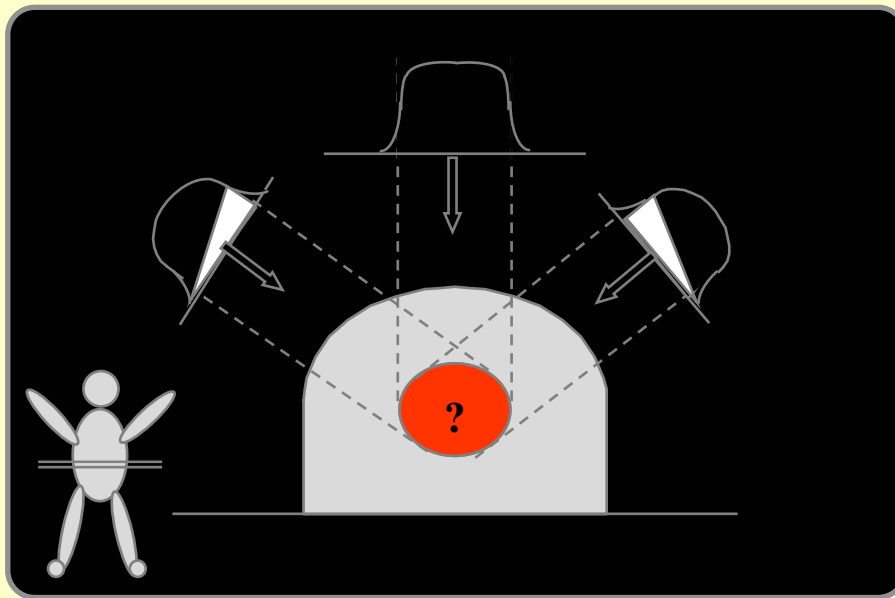
### 4. Traitement

# Les avancées technologiques

# **1/ Modulation de l'intensité des faisceaux de traitement**

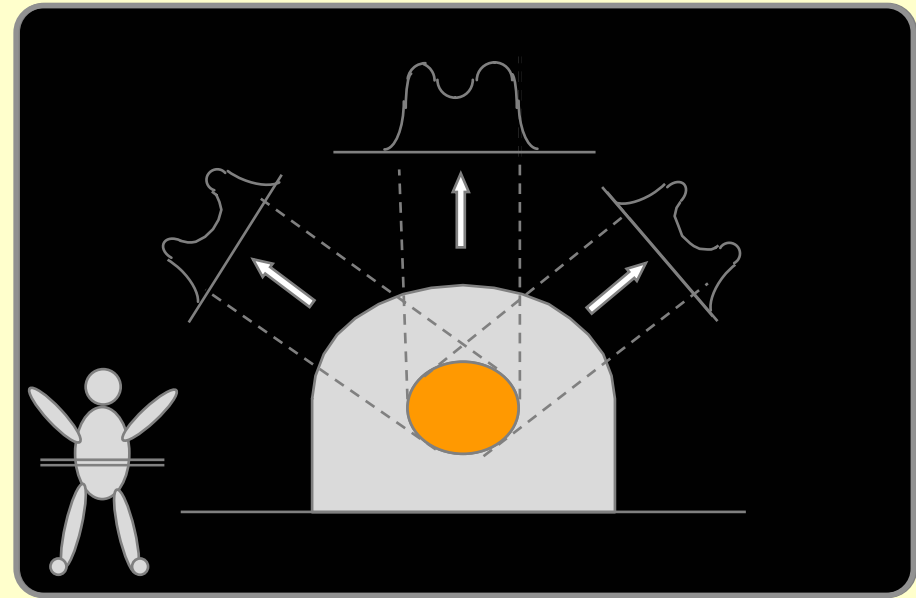
# Modulation de l'intensité des faisceaux

RTC 3D

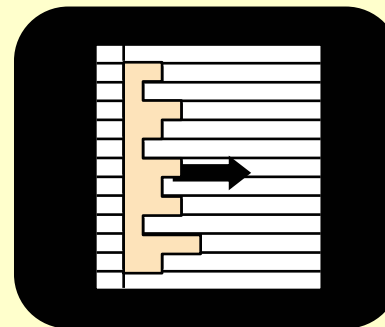


**Planification  
DIRECTE**

RTC 3D avec modulation d'intensité



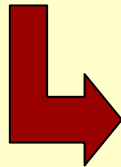
**Planification  
INVERSE**



# Modulation de l'intensité des faisceaux

- La modulation d'intensité :

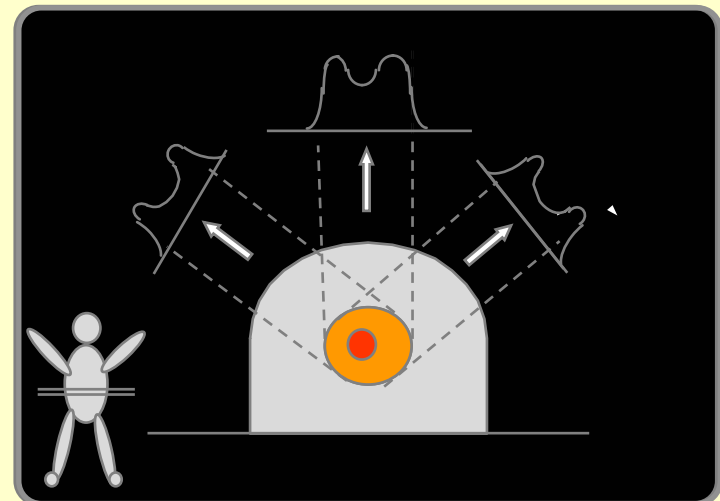
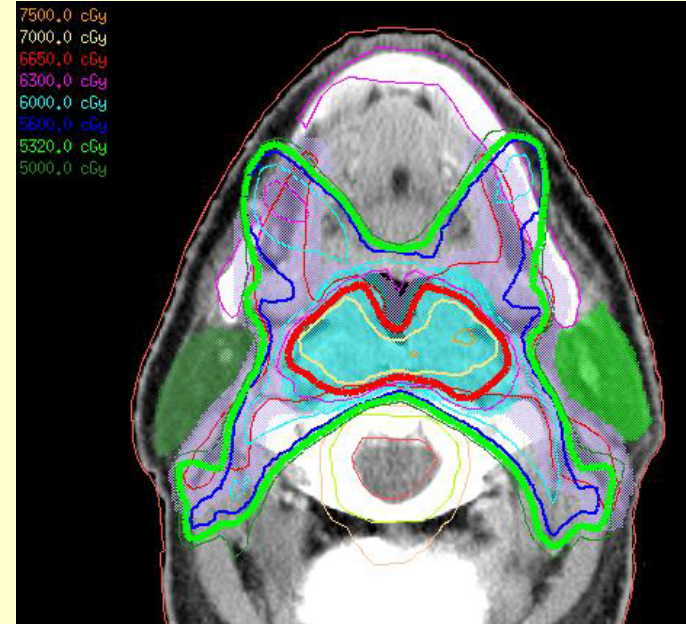
- améliore la conformité entre le volume-cible et le volume traité (concavités ++)
- homogénéise la dose au sein du volume-cible
- permet de créer des gradients de dose élevés dans des zones précises



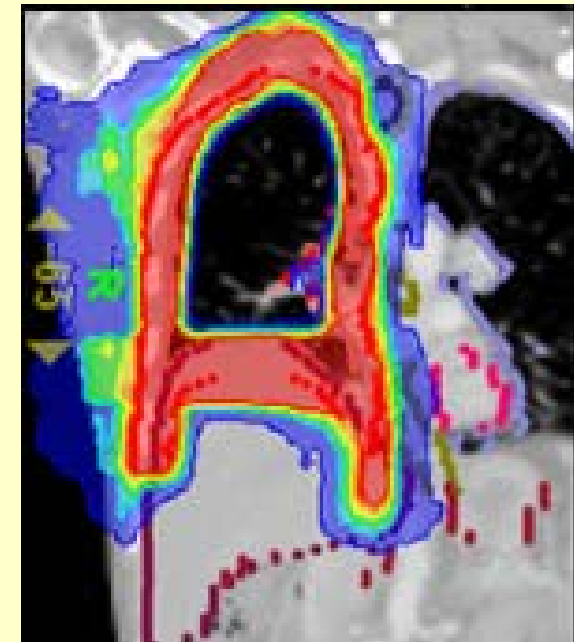
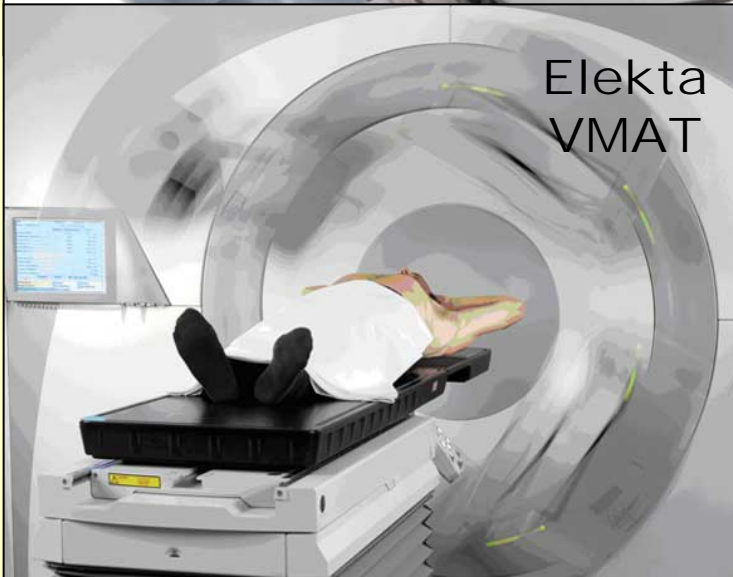
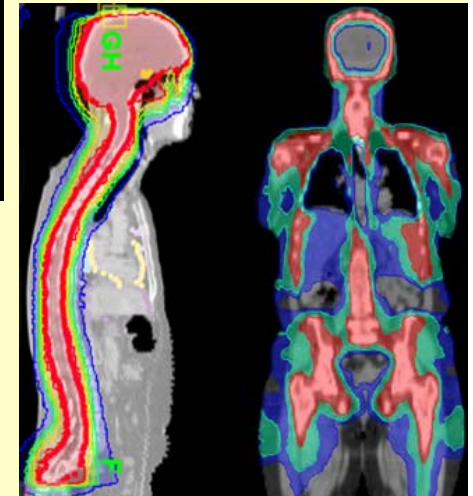
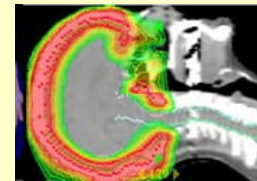
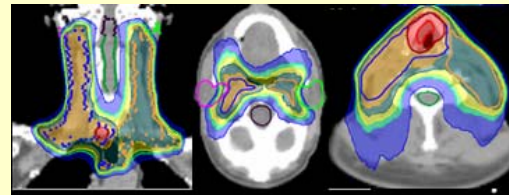
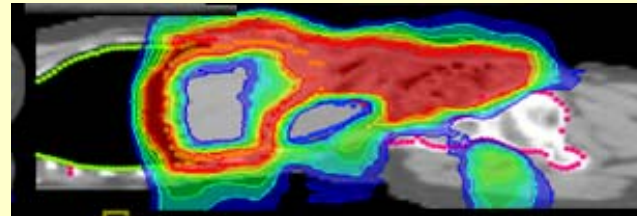
Intérêt potentiel de l'imagerie métabolique ou fonctionnelle !

- Mais ...

- Techniquement complexe
- ↑ dose intégrale
- Long (x 1,5 à 3 le temps de traitement)
- Problème des cibles mobiles (++)



# Modulation de l'intensité des faisceaux



## 2/ Irradiation des cibles mobiles



# Irradiation des cibles mobiles

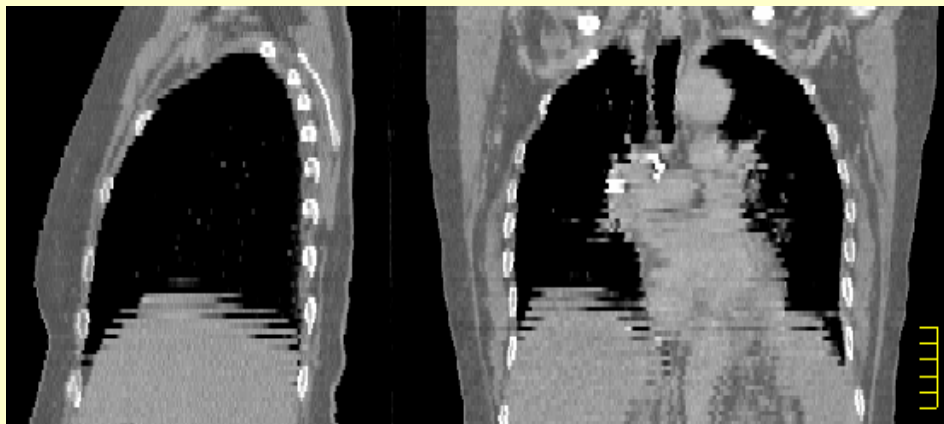
*Mobilité de la tumeur en respiration libre*



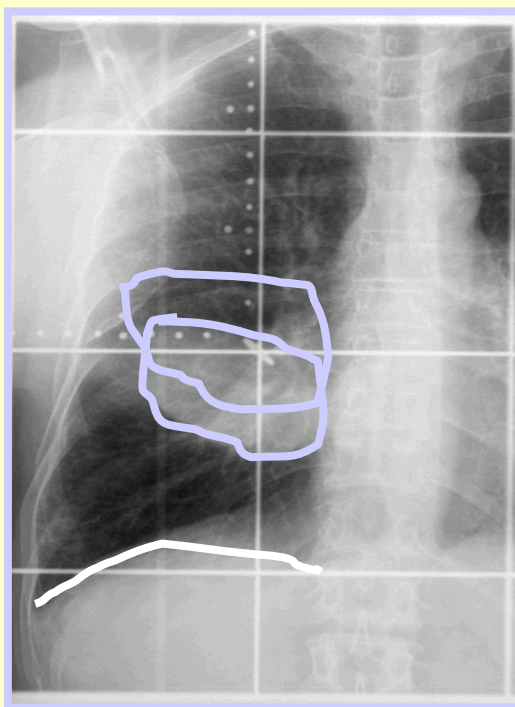
Courtoisie de P. Giraud, Institut Curie

# Irradiation des cibles mobiles

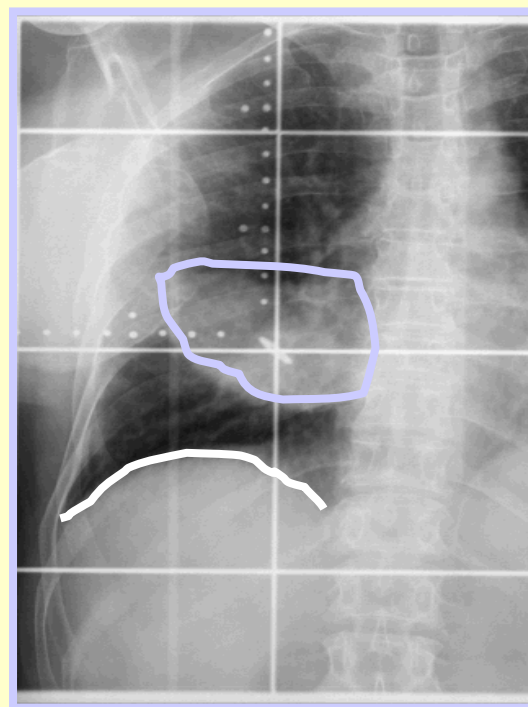
## *Mobilité de la tumeur en respiration libre*



**Respiration  
libre**

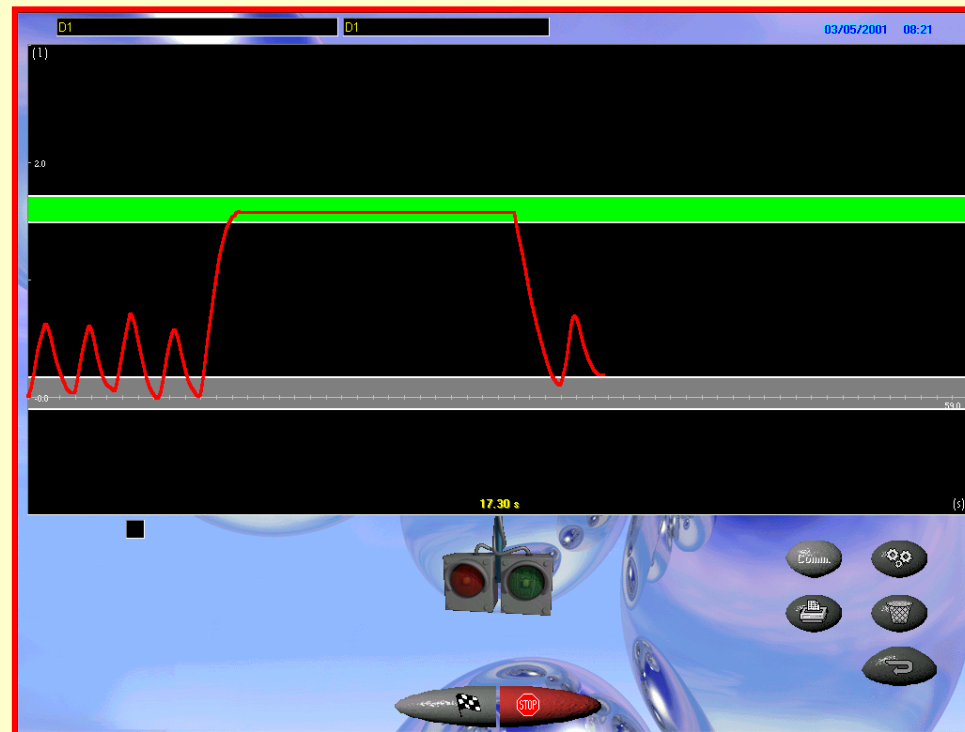
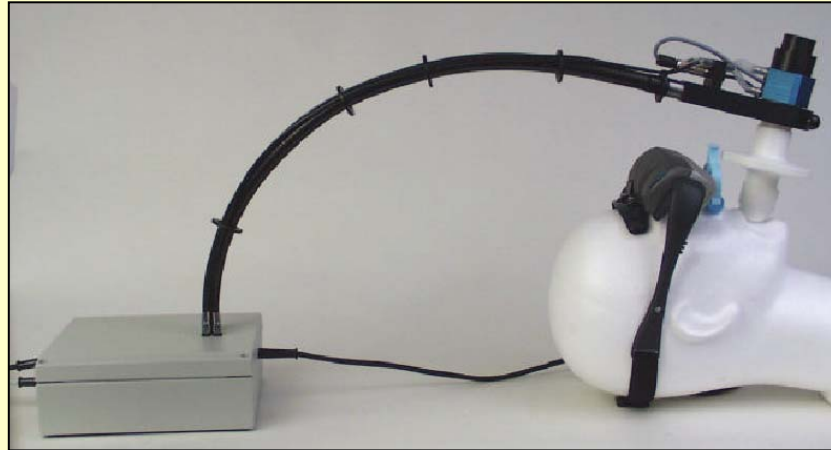


**Respiration  
bloquée**



# Irradiation des cibles mobiles

## *Blocage respiratoire volontaire : système Dyn'R*



Scanner

Accélérateur

# Irradiation des cibles mobiles

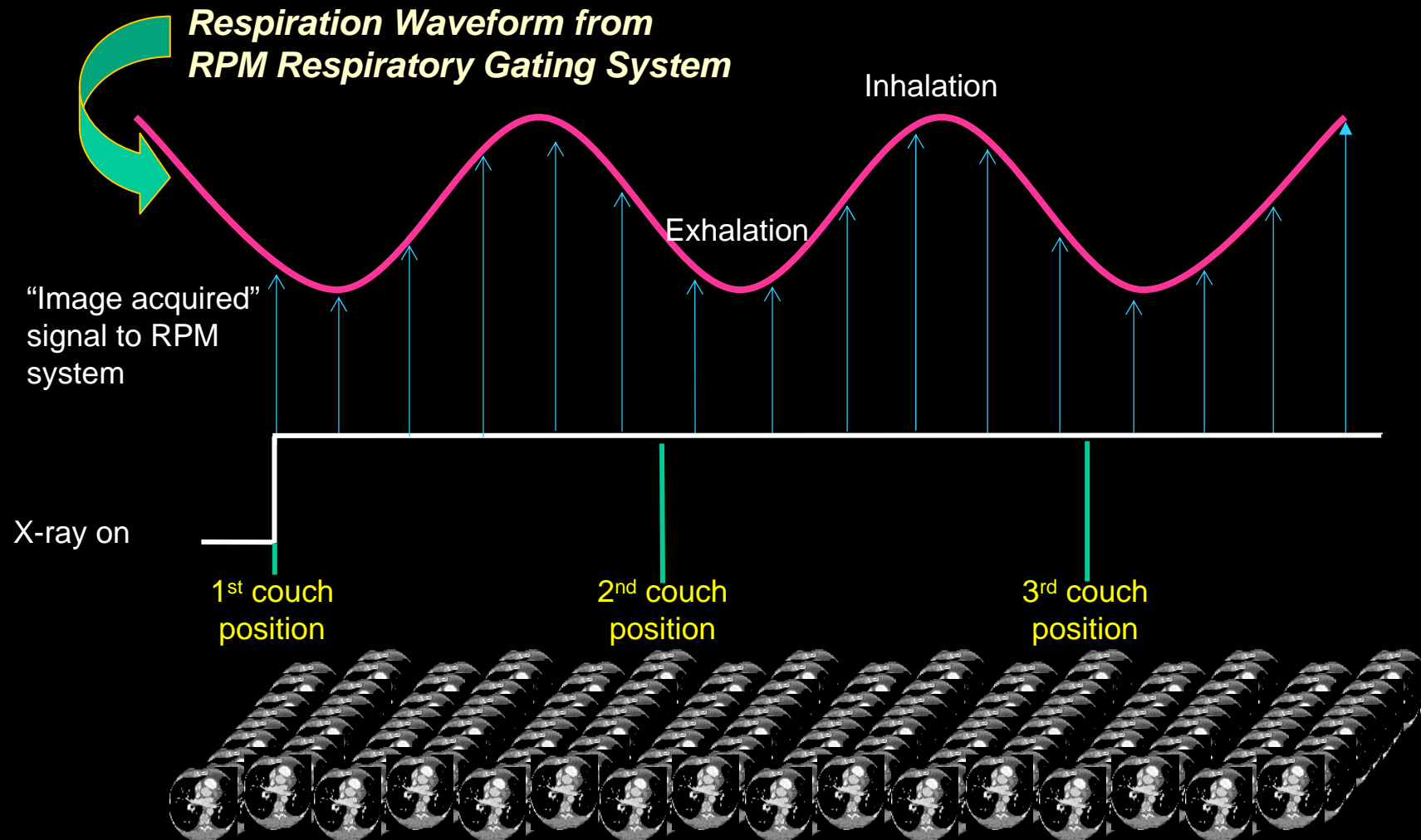
*Blocage respiratoire volontaire : système Dyn'R*



# Irradiation des cibles mobiles

## *Synchronisation à la respiration : système Varian*

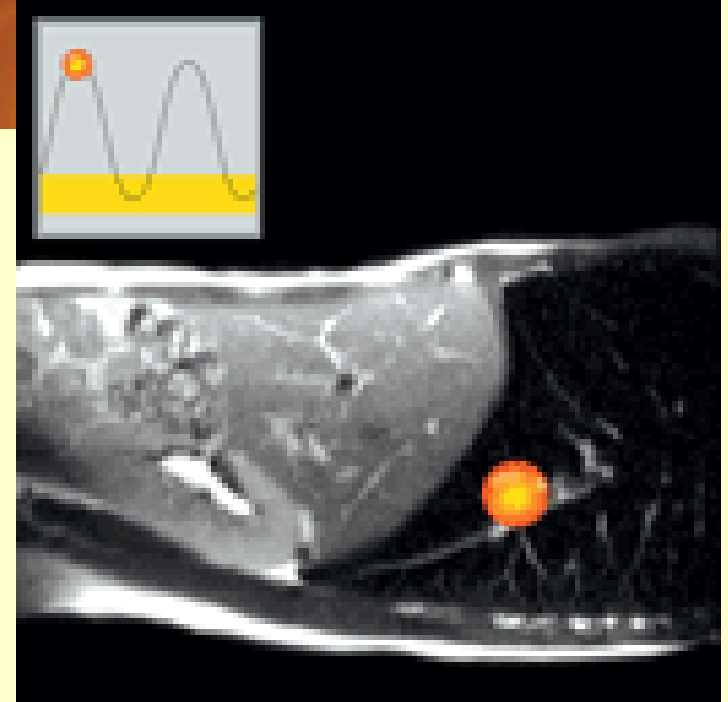
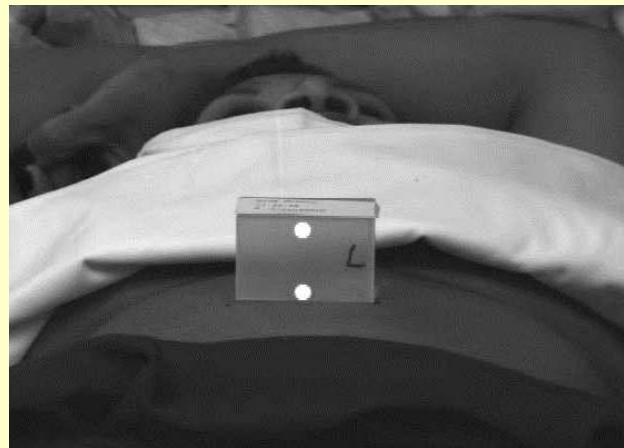
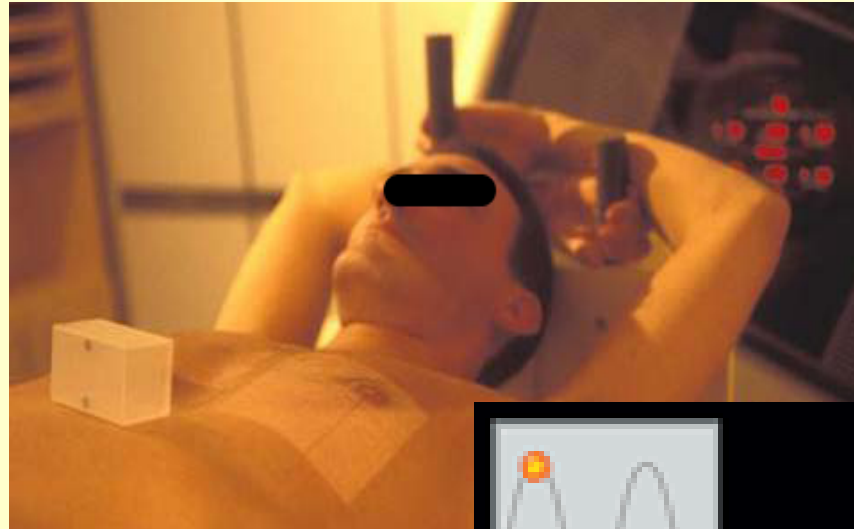
*Informations 4D : spatiales et temporelles*



# Irradiation des cibles mobiles

## *Synchronisation à la respiration : système Varian*

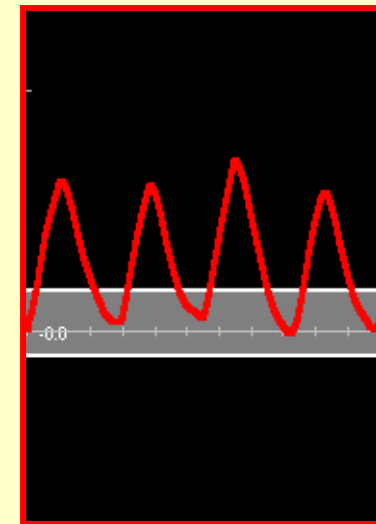
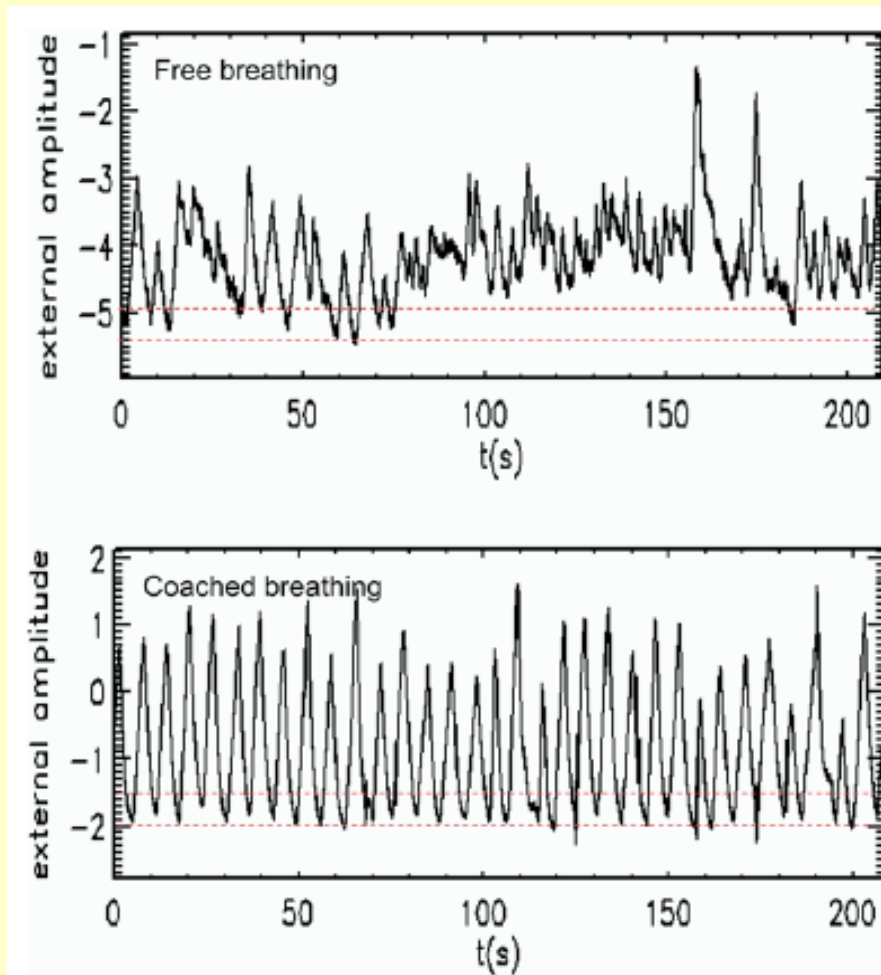
### *Varian Real-time Position Management (RPM)*



# Irradiation des cibles mobiles

## *Synchronisation à la respiration : système Varian*

### *Le « coaching » du patient*

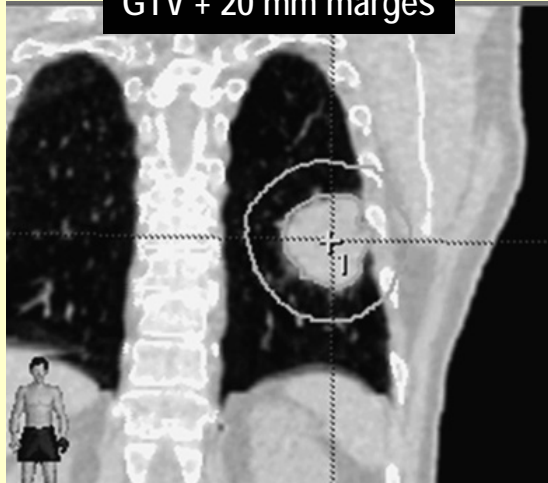


**Gating en fin d'expiration (système RPM)**

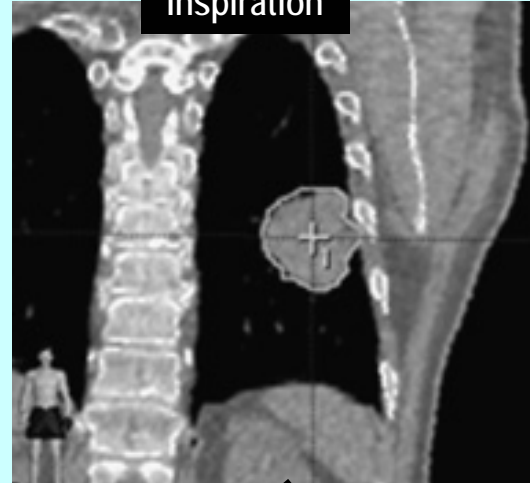
# Irradiation des cibles mobiles

*Scanner 4D (C. Haasbeek et al. Lung Cancer 2009)*

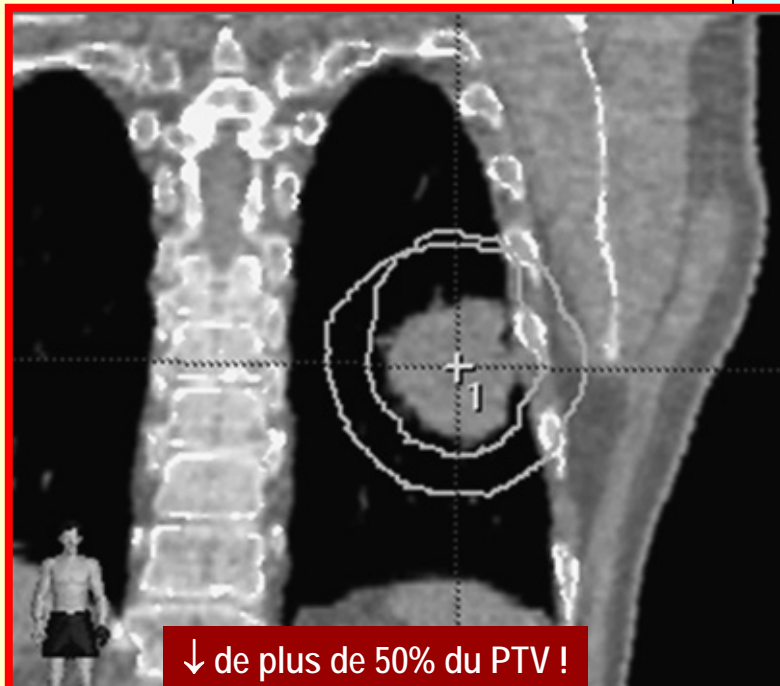
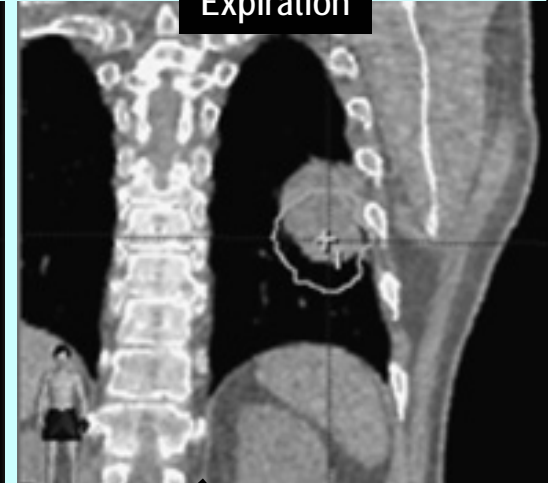
GTV + 20 mm marges



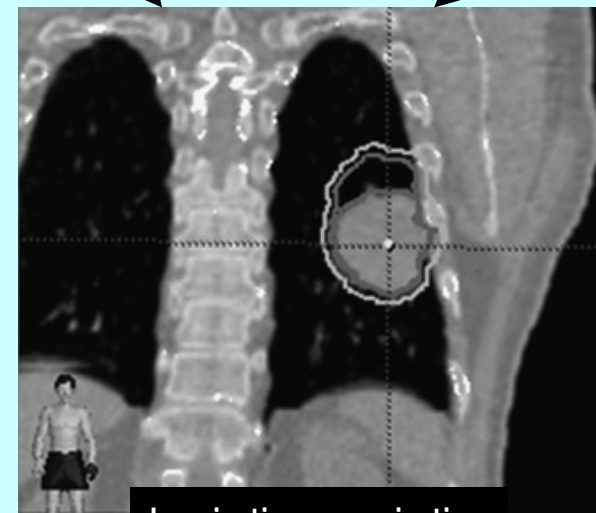
Inspiration



Expiration



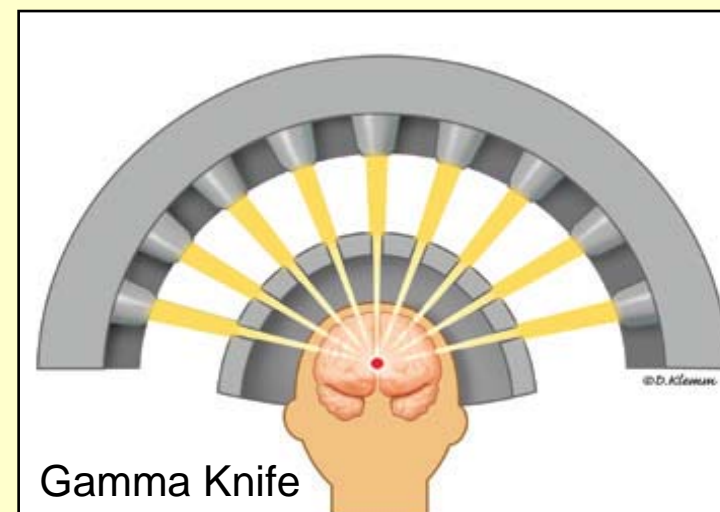
↓ de plus de 50% du PTV !



Inspiration + expiration  
+ 5 mm marges



### 3/ La radiothérapie extra-crânienne en conditions stéréotaxiques



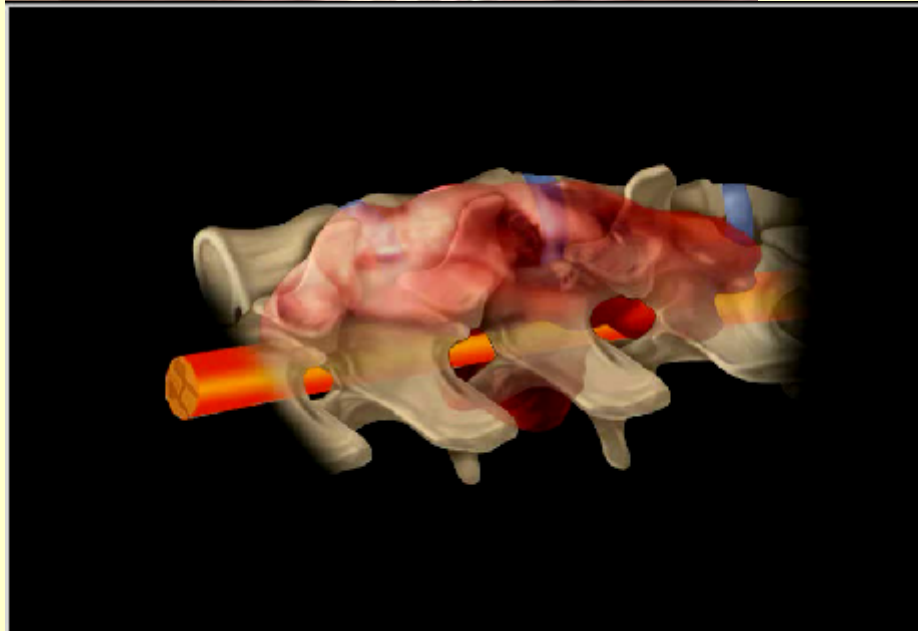
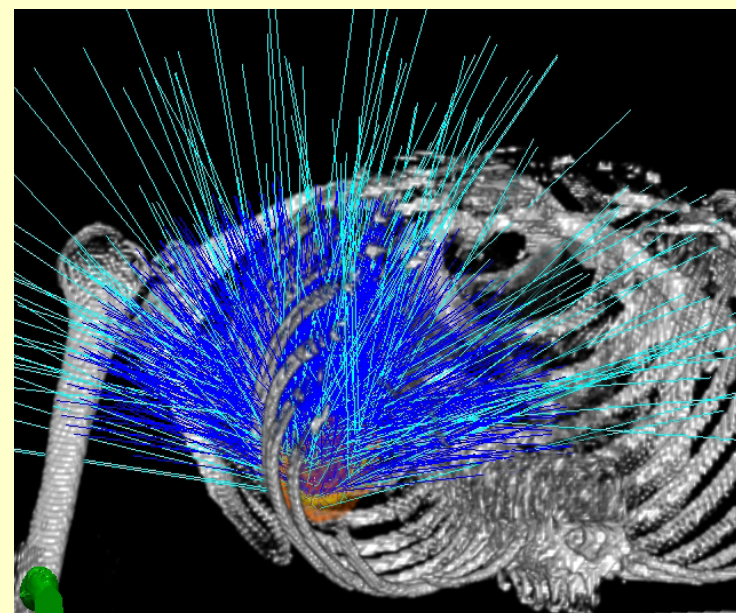
# Radiothérapie stéréotaxique extra-crânienne

## *Principe*

- Irradiation radicale aussi bien de la tumeur que des tissus sains
  - Tumeur bien délimitée  $\leq 5-7$  cm
  - Plutôt périphérique, loin des gros vaisseaux
- Nécessite
  - Immobilisation parfaite
  - Repositionnement très précis
  - Prise en compte des mouvements respiratoires
  - Conformation parfaite de la dose au volume-cible => pratiquement pas de tissu sain inclus
  - Système de repérage (marqueurs ..) reliant la position de la tumeur à la délivrance de la dose
- Délivre un faible nombre de fortes fractions
  - 1-5 fractions de 6-30 Gy

# Radiothérapie stéréotaxique extra-crânienne

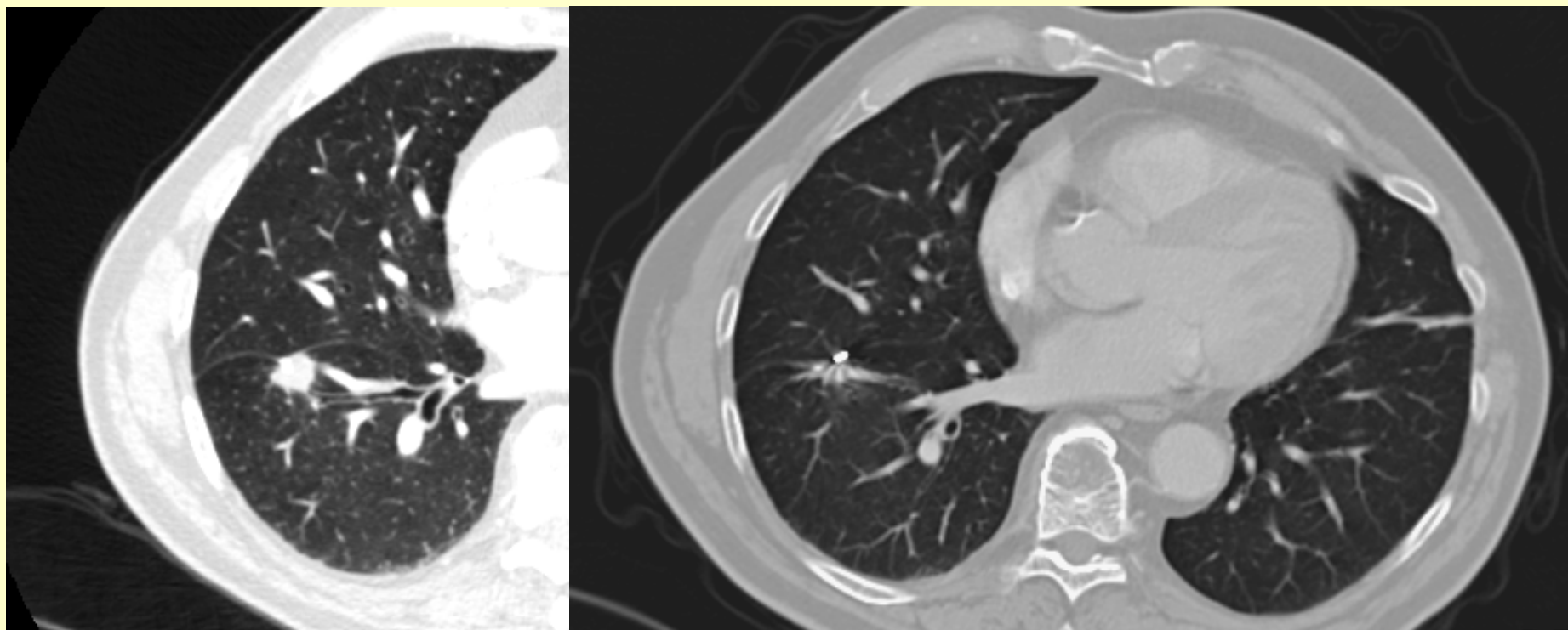
## *Cyberknife*



# Radiothérapie stéréotaxique extra-crânienne *Cyberknife*



# Radiothérapie stéréotaxique extra-crânienne *Cyberknife*



T1N0 (2 ans après traitement)

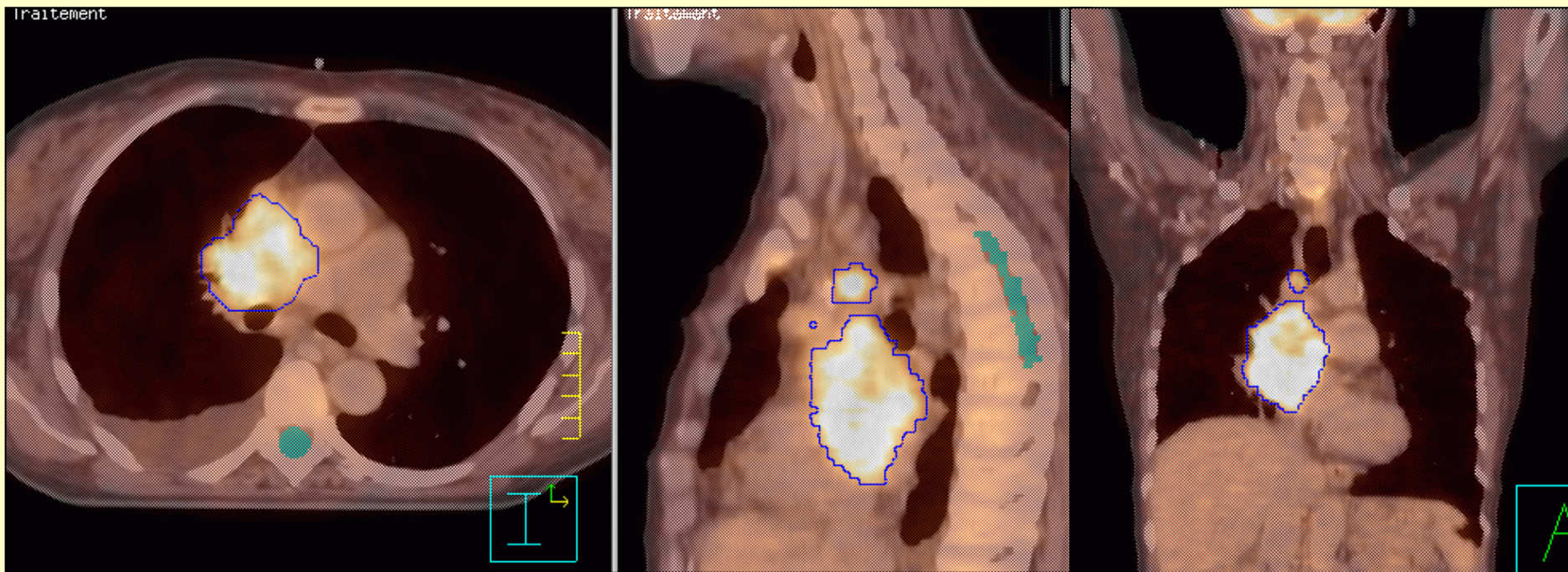
*Courtoisie de P.Y. Bondiau*

**4/ Détermination du volume-cible  
Apport de l'imagerie fonctionnelle**

# Détermination du volume-cible

## *TEP-FDG sur TDM*

### Notion de « Biological Target Volume »



Prouvé

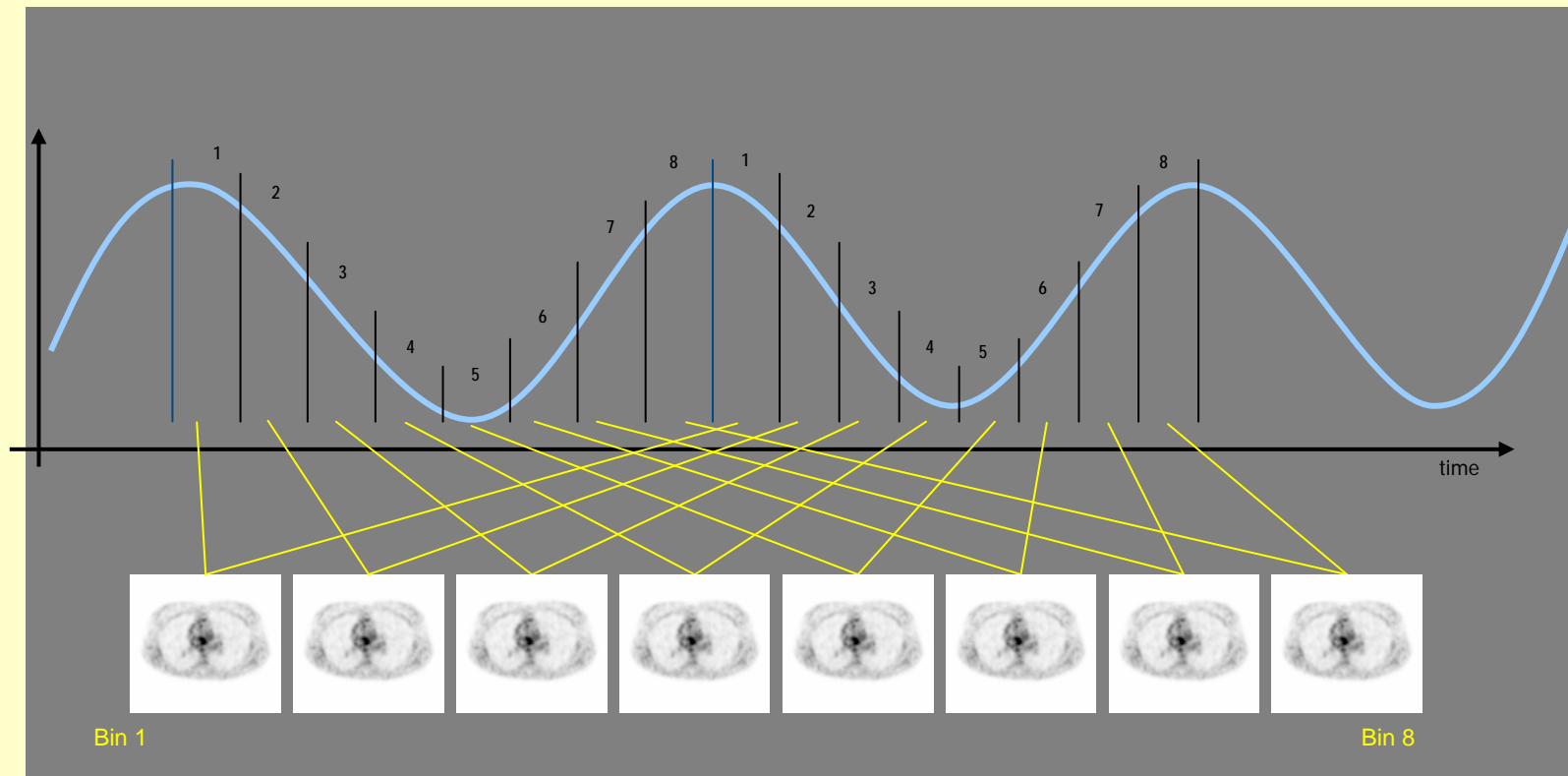
- Intégration dans le volume-cible de ganglions <10 mm mais fixant le FDG
- Exclusion du volume-cible de ganglion >10 mm mais ne fixant pas le FDG
- Détermination de la limite tumorale en cas d'atélectasie
- Réduction de la variabilité inter-individuelle dans la délinéation du GTV

Non prouvé

- Complément de dose sur les zones initialement fortement fixantes (SUV) ou restant fixantes après chimiothérapie

# Détermination du volume-cible

## *Le « gating » respiratoire du TEP*

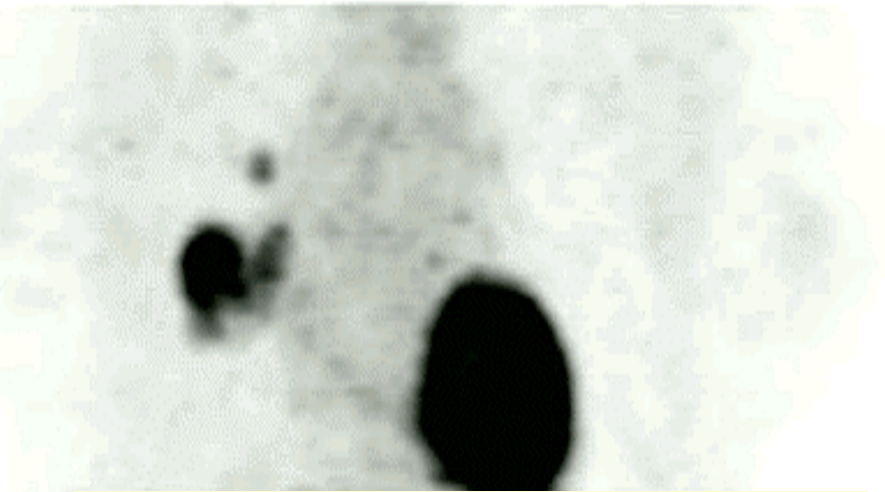
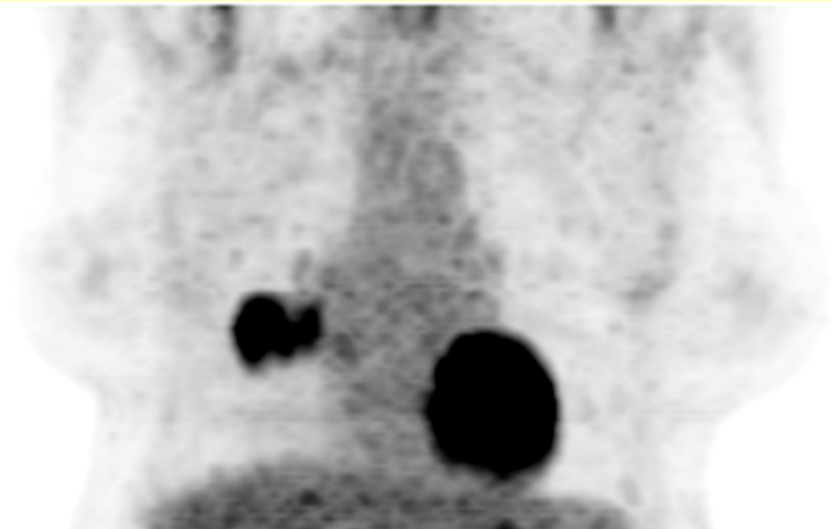
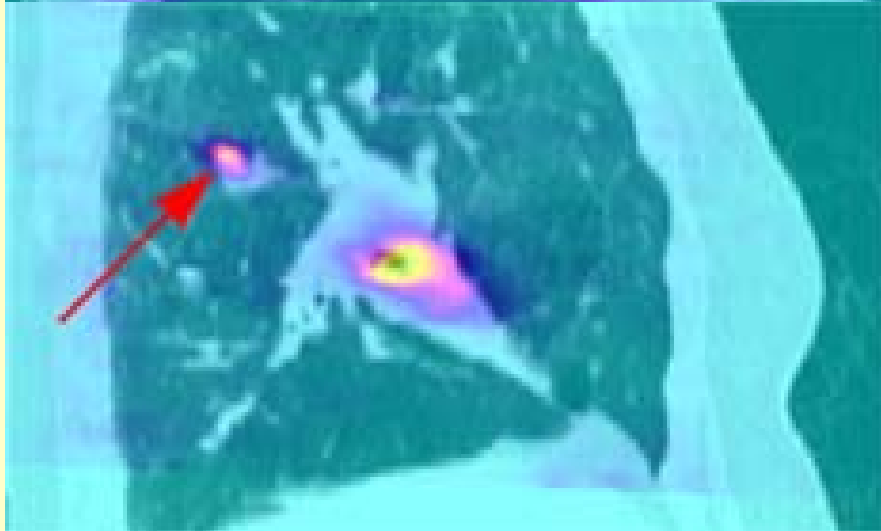
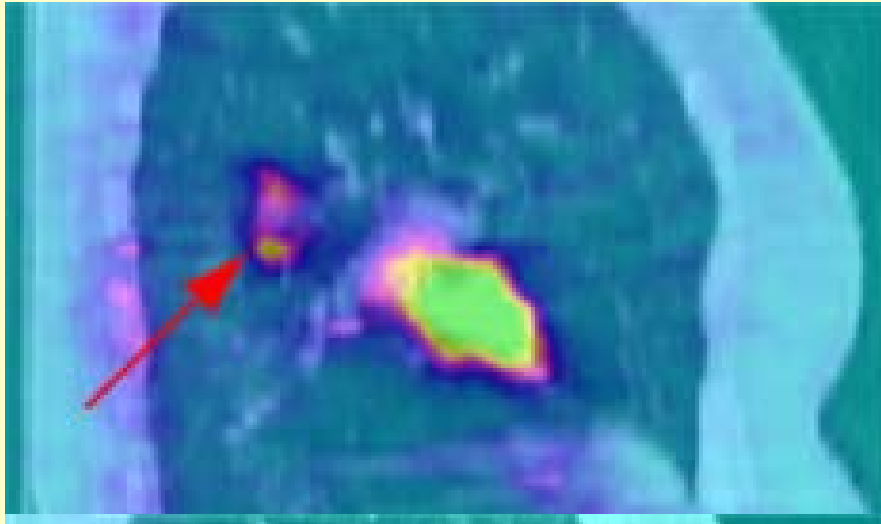


Courtoisie de la société General Electric Health Care



# Détermination du volume-cible

*Le « gating » respiratoire du TEP*



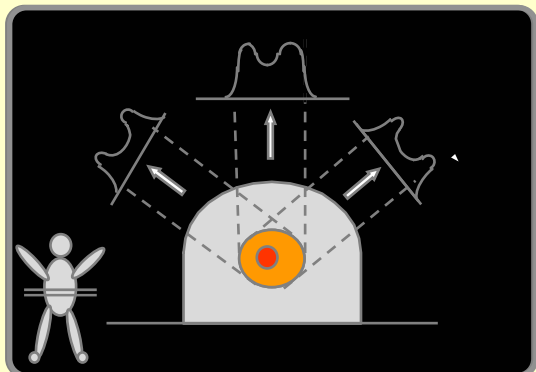
*Courtoisie de la société General Electric Health Care*

# Détermination du volume-cible

## *Apport potentiel de l'imagerie métabolique*

- Spectro-IRM : choline/citrate

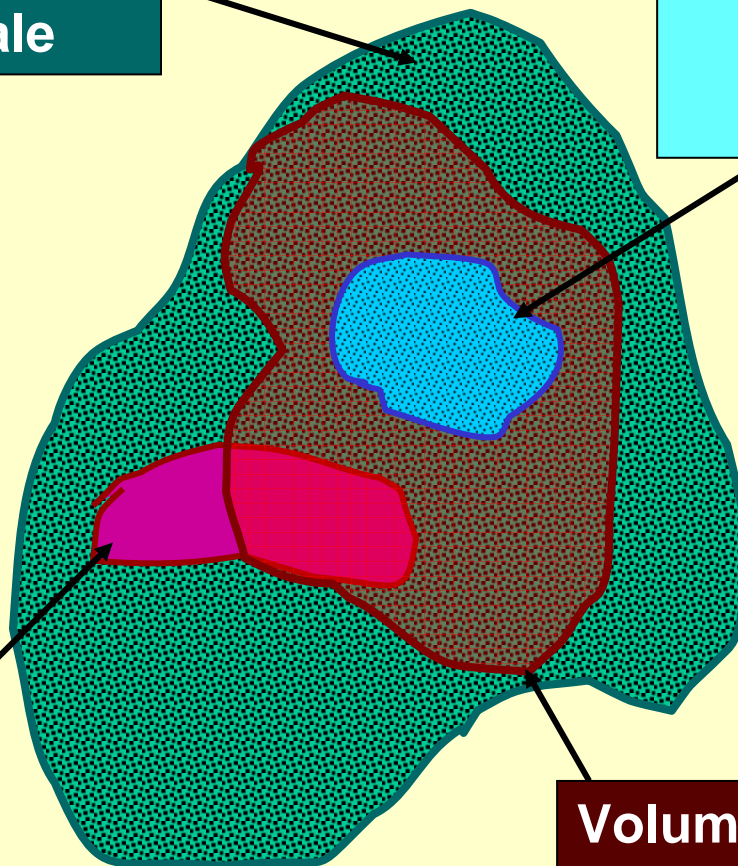
**Présence tumorale**



- Spectro-IRM : lactates

- TEP : F-Miso

**Hypoxie**



- Spectro-IRM : créatine
- IRM de perfusion
- TEP : Lmethyl11C méthionine

**Prolifération tumorale**

**Volume Anatomique**

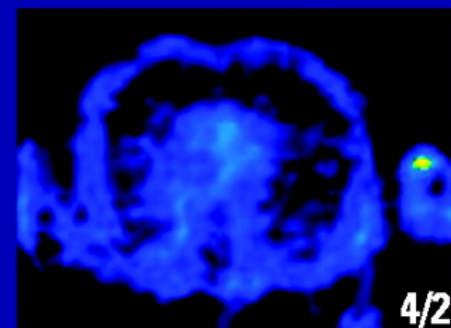
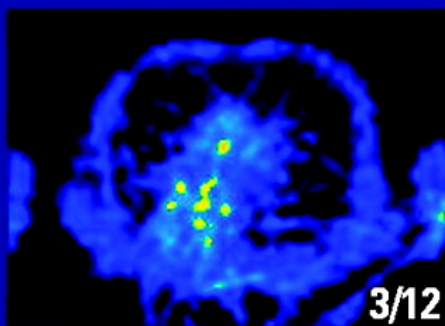
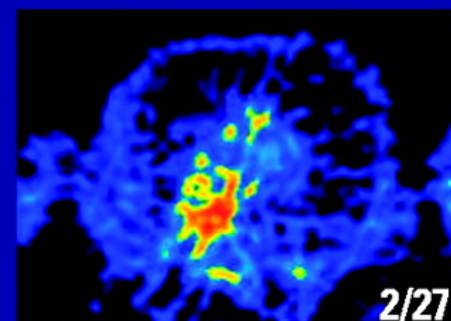
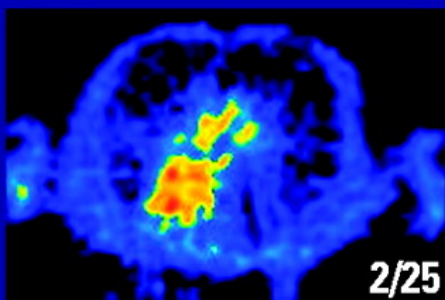
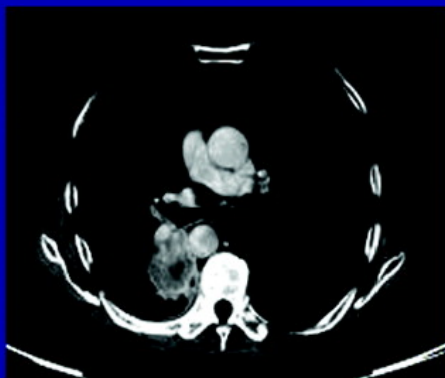
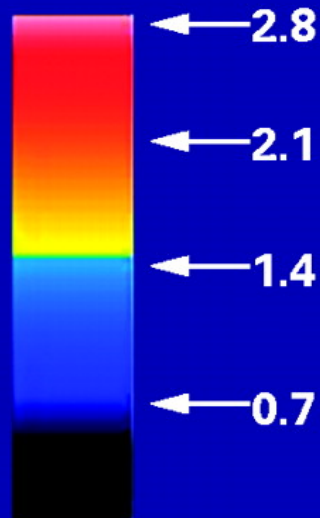
- IRM
- Scanner

# Réduction de l'hypoxie en cours de RT

*TEP-scan successifs au F-18 fluoromisonidazole*

LK Shankar (JCO mai 2005)

Tissue:Blood  
Ratio

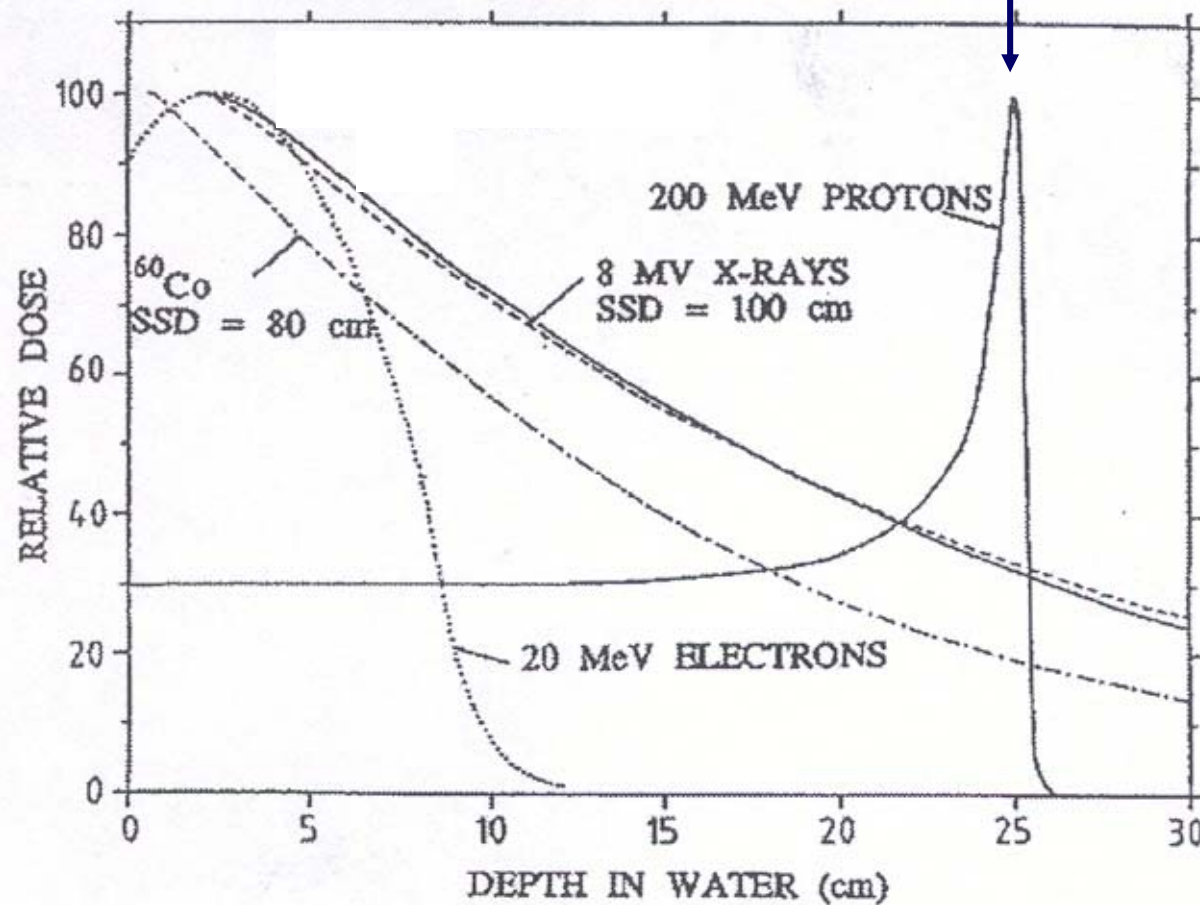


**5/ Nouveaux faisceaux de traitement  
Les protons, les ions carbone**

# Les protons, les ions carbone

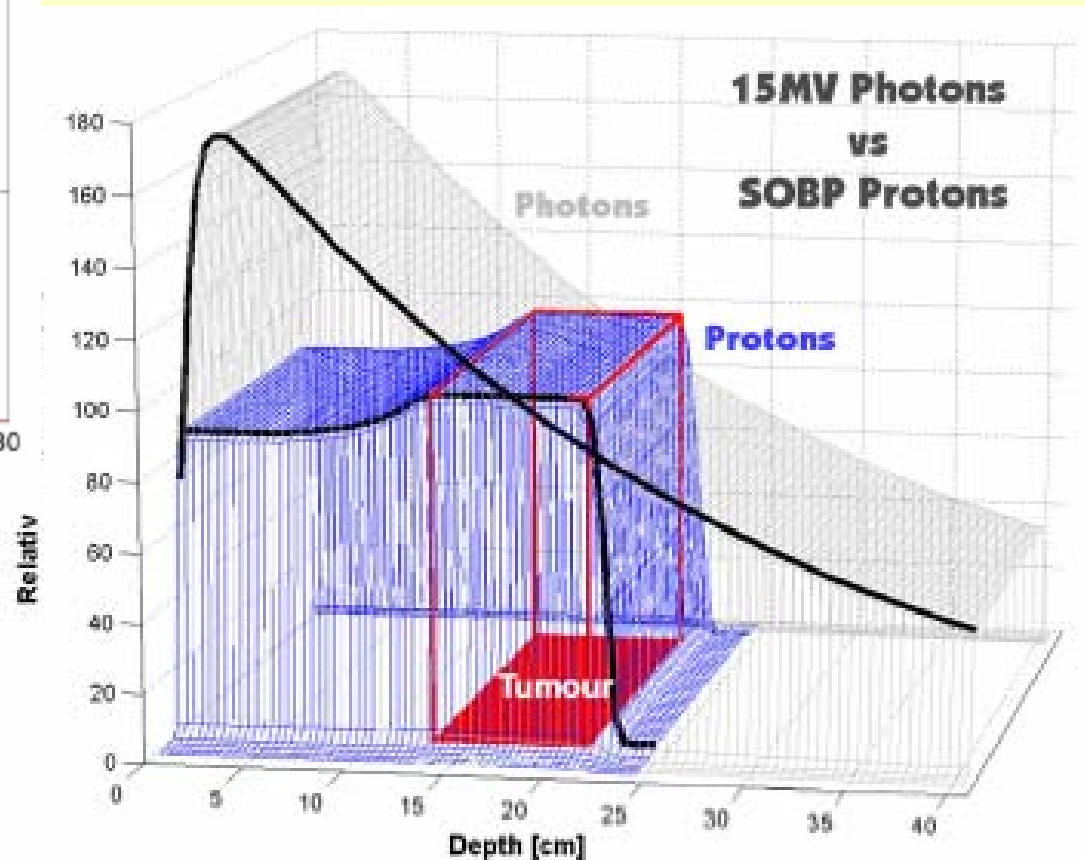
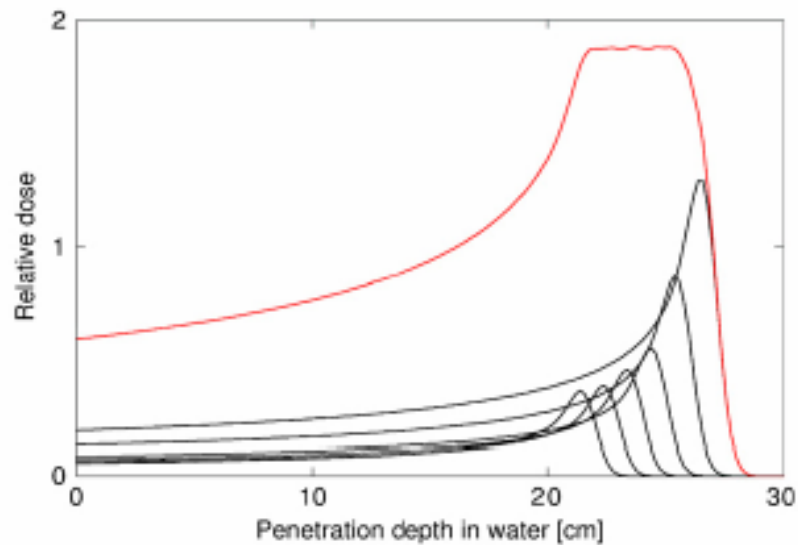
*Avantage balistique : le pic de Bragg*

Pic de Bragg



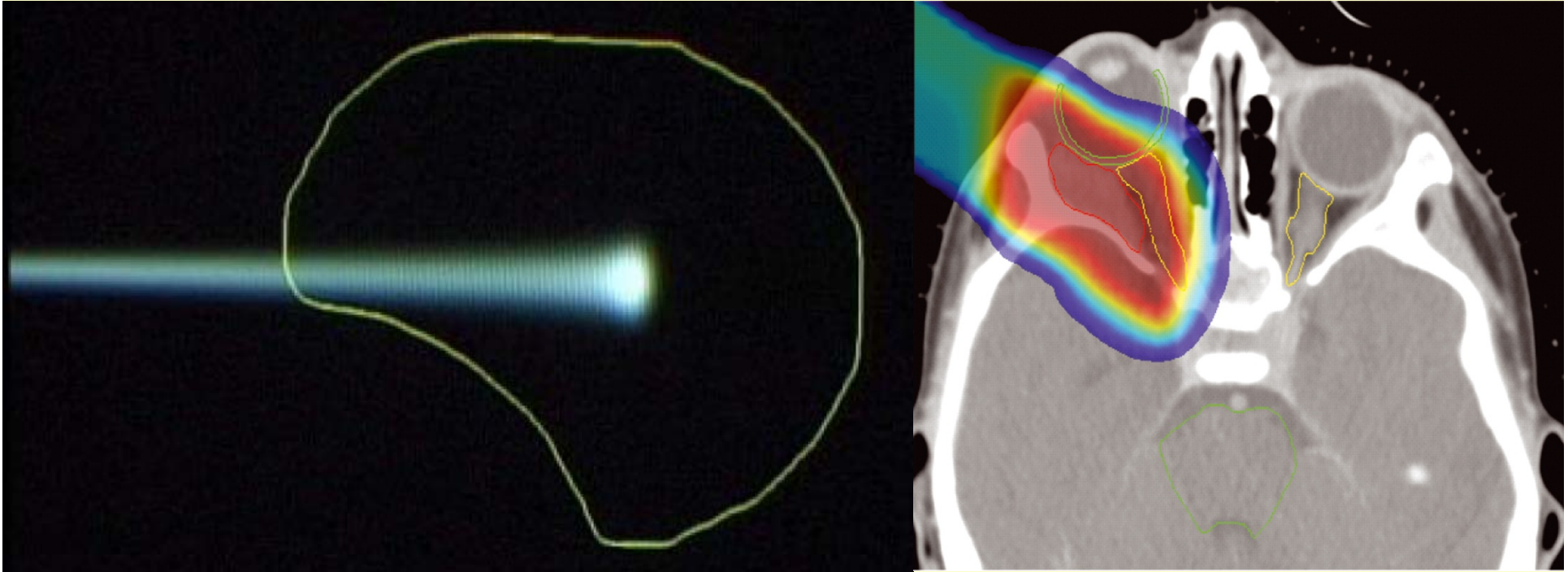
# Les protons, les ions carbone

## *Avantage balistique : le pic de Bragg*



# Les protons, les ions carbone

*Avantage balistique : le pic de Bragg*

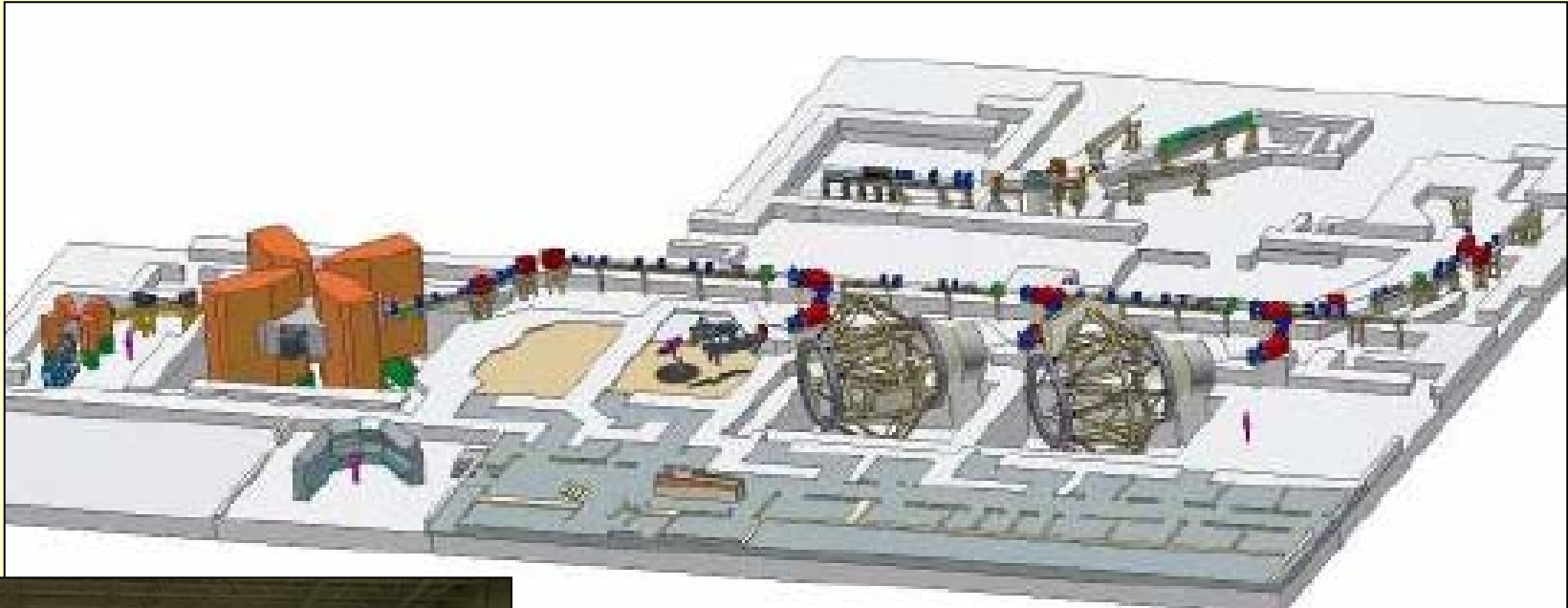


## Radiobiologiquement :

- **PROTONS** : très proches des RX et électrons (EBR=1,1)
- **Ions CARBONE** : plus efficaces que RX et électrons (EBR = 1,5 à 2,5)
  - ↓↓ des capacités de réparation des radiolésions
  - ↓↓ de l'effet O<sub>2</sub>

# Les protons, les ions carbone

*Avantage balistique : le pic de Bragg*



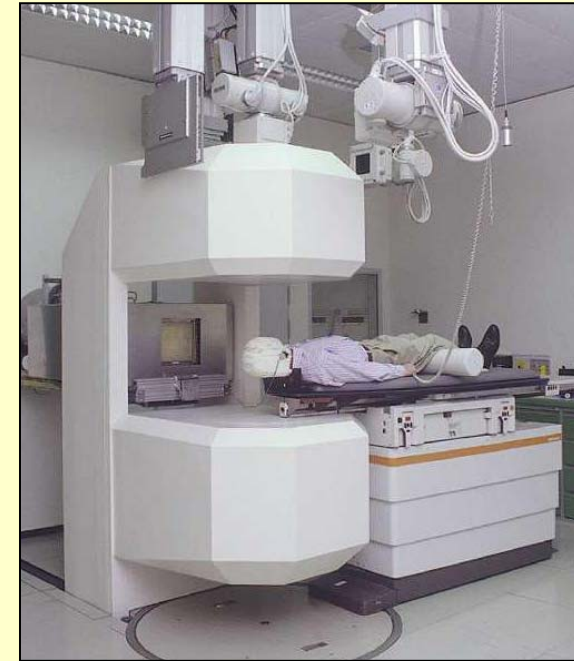
Indiana University



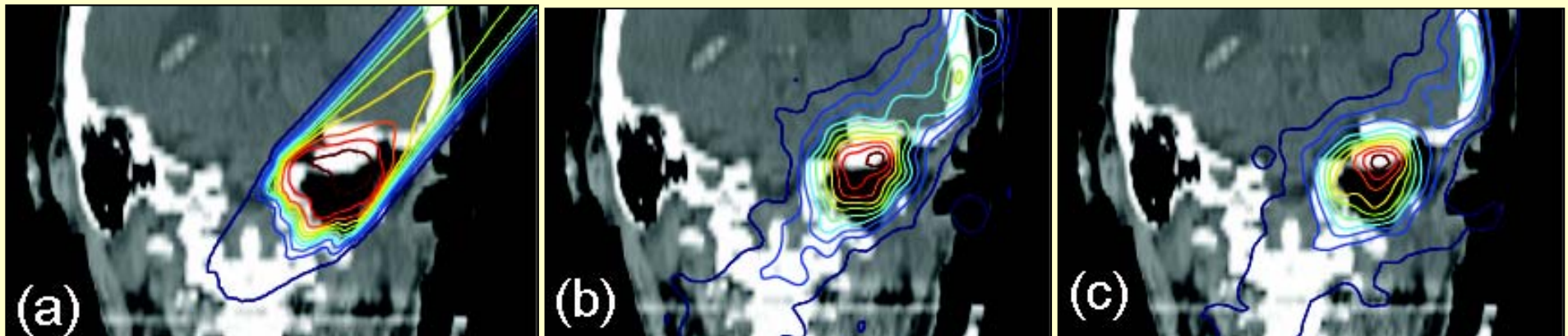
# Les protons, les ions carbone

## *Contrôle en ligne par TEP*

Production noyaux instables  
↓  
Émission de positons ( $^{11}\text{C}$ )  
↓  
TEP



GSI-Darmstadt (*G. Kraft & W. Enghardt*)



# Conclusions

- Utilisation en semi-routine
  - Prise en compte des mouvements respiratoires
  - TEP-FDG
- Technique accessible
  - Tomothérapie : RTMI (grands volumes complexes)
  - Cyberknife : stéréotaxie extra-crânienne (T1-2 N0)
- Futur
  - Autres traceurs que le FDG
  - Protons
  - Ions carbone