



Radiothérapie guidée par l'image

Jocelyne TROCCAZ
Directrice de Recherche CNRS
Laboratoire TIMC-IMAG, Grenoble

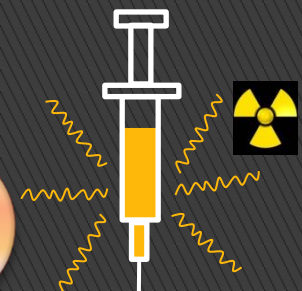
La radiothérapie

- ▶ Environ 150K patients traités par an en France
- ▶ Concerne environ 70% des patients atteints de cancer

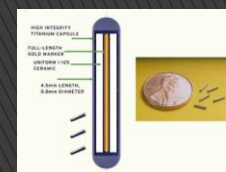
Radiothérapie externe



Radiothérapie métabolique



Curiethérapie HDR/LDR



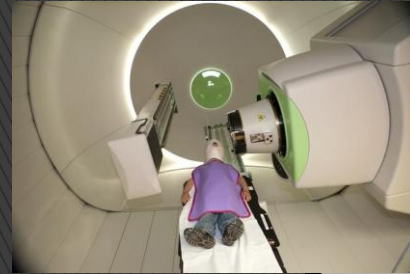
Le processus du traitement

- ▶ Diagnostic et décision thérapeutique
- ▶ Simulation-planification
 - Installation du patient en position de traitement
 - Imagerie (scanner)
 - Définition de la cible et des organes à risques
 - Planification dosimétrique
- ▶ Traitement éventuellement fractionné
 - Installation du patient
 - Irradiation
- ▶ Suivi
 - Une place prépondérante de l'imagerie tout au long du processus et pour son contrôle qualité

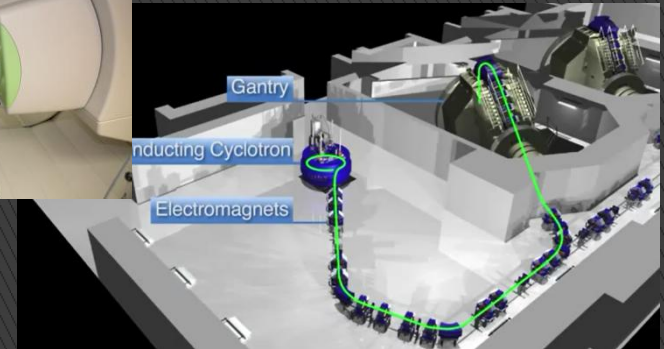
Les sources de rayonnement



Electrons
Photons



Institut Curie
Orsay, F



Protons



Centre de Saga
Japon



Ions lourds

Volumes d'intérêt

- ▶ GTV: gross tumor volume (visible/palpable)
 - ▶ CTV: clinical target volume (extension)
 - ▶ PTV: planning target volume
 - CTV + **marges** « internes » (variations de forme, taille, etc.) + marges de positionnement
 - ▶ Volume traité VT (V95)
 - ▶ Volume irradié VI
 - ▶ OAR: organes à risques
-
- Détermination statistique des marges (ex. [VanHerk et al]) basée sur imagerie

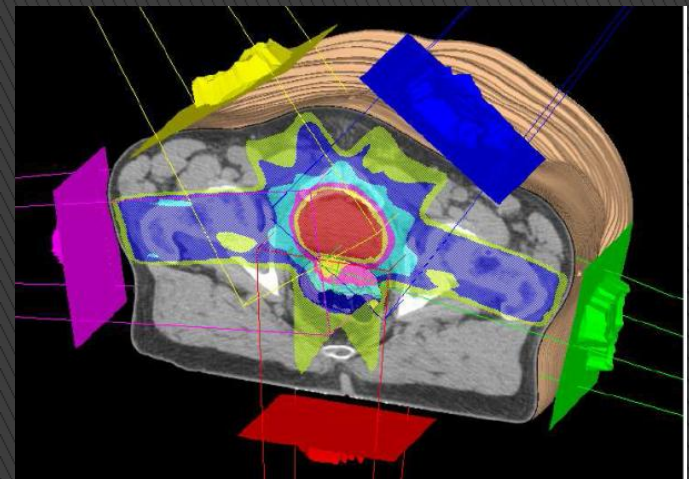
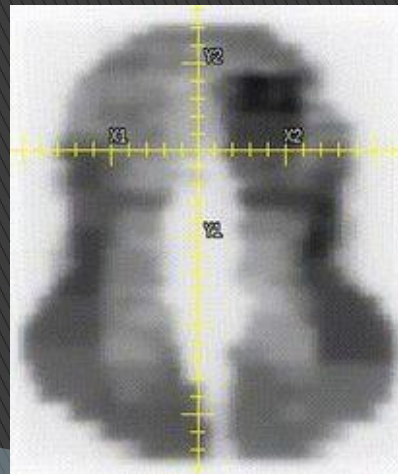
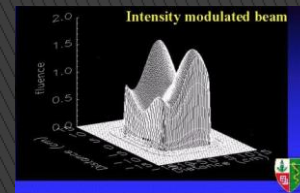
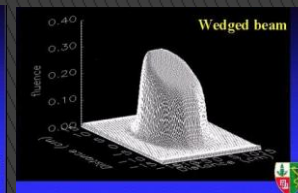
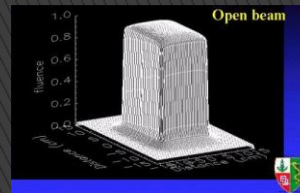
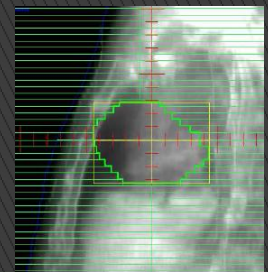
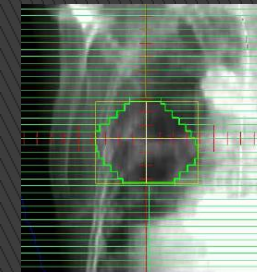


La planification

- ▶ Inconnues: énergie des faisceaux, nombre, orientation, forme, pondération, accessoires, technique utilisée
- ▶ Contraintes de dose sur PTV – min et max – et sur OAR – max
 - Au moins XX% du volume reçoit YY Gy
 - Moins de TT% du volume reçoit ZZ Gy
- ▶ Objectif clinique: contrôle de la maladie sans effets secondaires.
- ▶ Dosimétrie directe/inverse

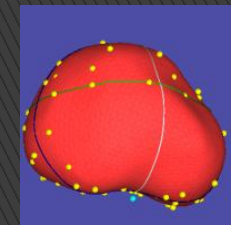
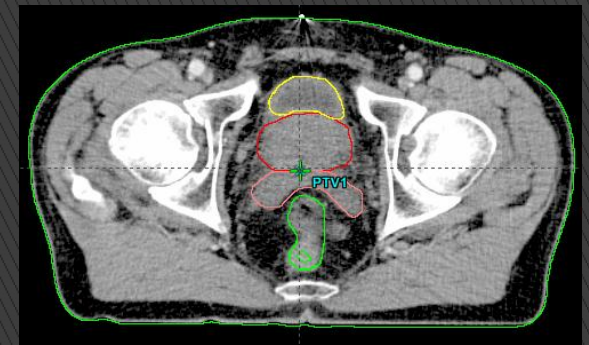
Dispositifs de conformation

- ▶ Collimateurs multi-lames
- ▶ Modulation d'intensité (IMRT/RCMI)
 - Statique/dynamique
- ▶ Dosimétrie inverse

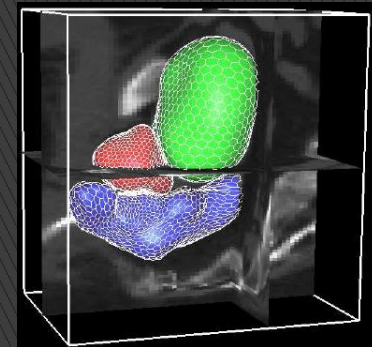


Imagerie et planification

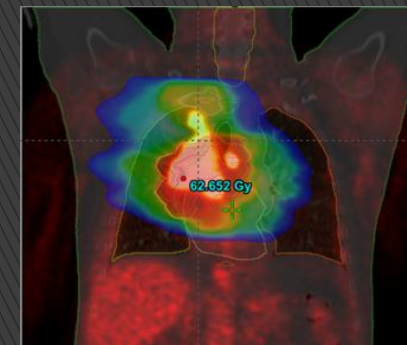
- ▶ Calculs de doses sur scanner X
- ▶ Définition des volumes cibles et organes à risque à très fort impact
- ▶ Difficultés de la segmentation des images
 - Temps limité
 - Quantité de données (3D voire 4D)
 - Tissus mous
 - Structures tubulaires (ex: rectum)
- Variabilité intra et inter-utilisateurs
- Fort potentiel de la multi-modalité et des segmentation et recalage automatiques ou semi-automatiques



Martin
2008



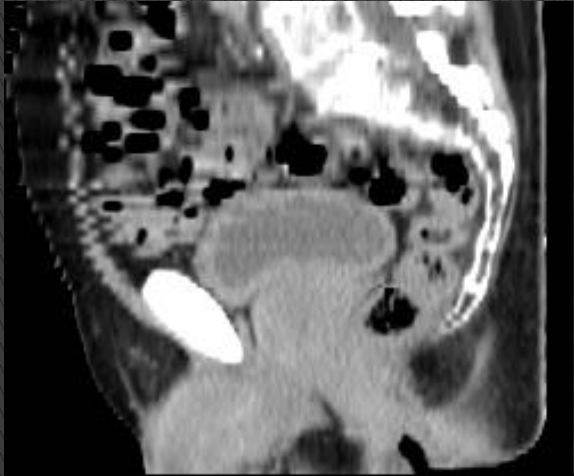
Costa
2008



Imagerie et traitement

- ▶ Transfert du planning en condition de traitement
 - **Positionnement** de la cible par rapport à la machine
 - ou introduction des sources aux positions planifiées
- ▶ La mobilité anatomique
 - Causes: activité cardiaque, respiratoire, péristaltisme, position du patient, bouger, action externe (aiguille, antenne IRM, sonde US, etc.)
 - Vitesse?
 - Caractère prédictif?
- ▶ Nécessité d'un **suivi** de la cible ?

Des exemples

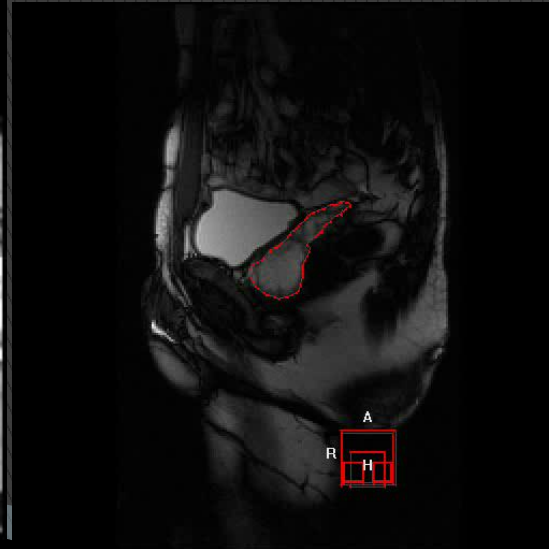
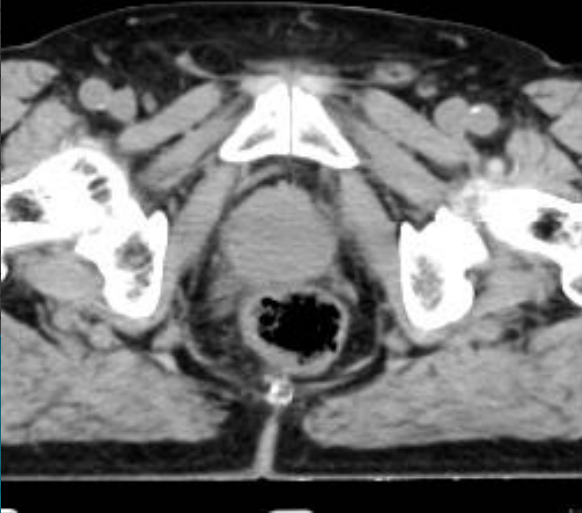


Inter-
fraction

VanHerk
Artignan, NKI



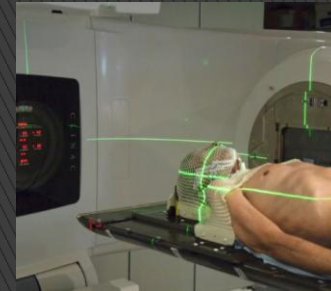
Sarrut et al,
Creatis, CLB



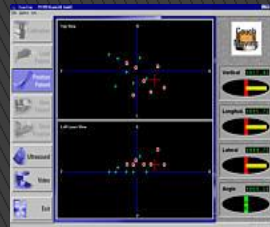
Intra-
fraction

Changement de paradigme : du patient ...

- ▶ Marques cutanées et laser
- ▶ Marqueurs externes



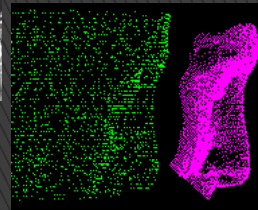
Exactrac



Calypso

- ▶ Capteur de surface

Vassal et al
1995

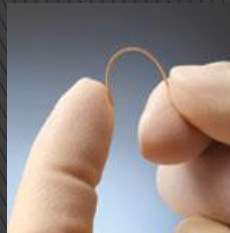


AlignRT

... à la cible

▶ Localisation indirecte par marqueurs internes

- RX

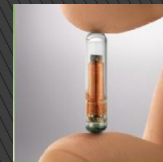


Visicoil

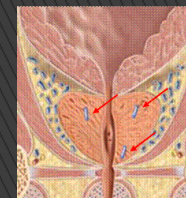


[DeBoer12]

- Localisation magnétique



Calypso

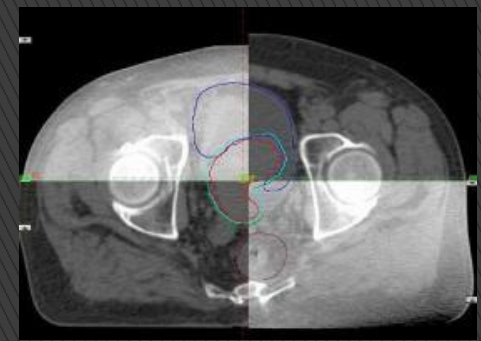
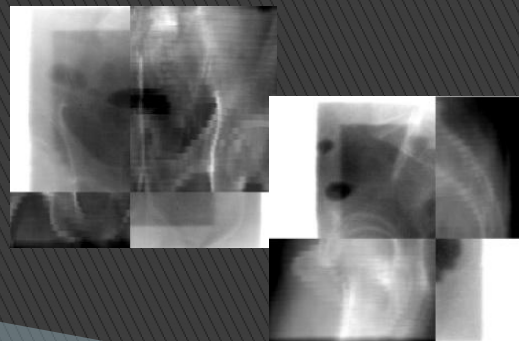


www.oncolink.org

▶ Localisation directe ou indirecte par repères osseux

- 2x2D (kV/MV)

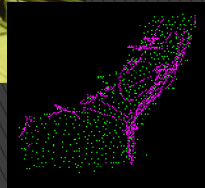
- 3D (CBCT)



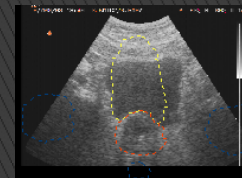
Localisation directe des tissus mous

► Imagerie ultrasonore

Troccaz et al 93



BAT
(Nomos)



Sonarray
(Varian)



► IRM (émergent)

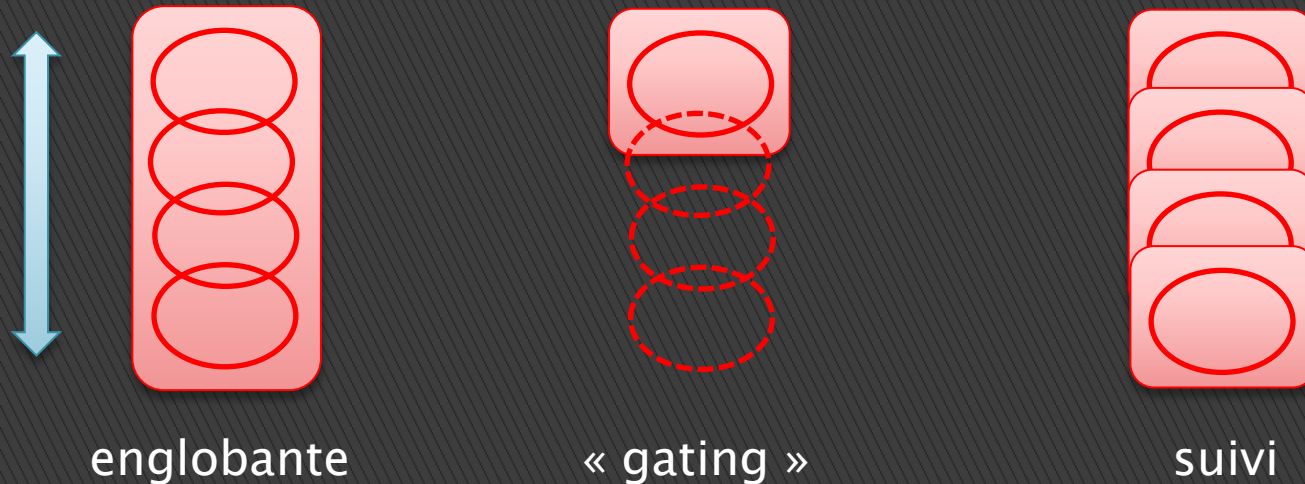
ViewRay, Co⁶⁰+IRM 0.35T
Siteman Cancer Center
1^{er} patient 01-2014



Linac+IRM
Alberta University

Mouvement respiratoire

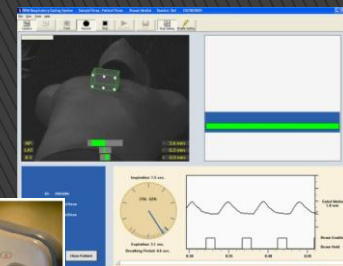
▶ Stratégie de traitement



- ▶ « Gating » et suivi requièrent:
 - Des informations (directes ou non) issues de **capteurs**
 - Des **modèles**

Mouvement respiratoire

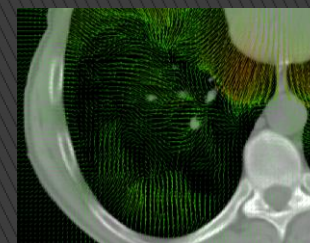
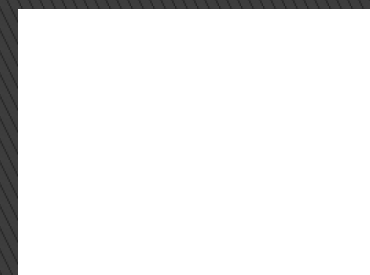
- ▶ « Gating »
 - Respiration contrôlée: apnée / « Jet ventilation » / contrôle actif
 - Respiration libre
 - Signal 1D (RPM – Varian)
- ▶ Suivi: construction de **modèles** de corrélation
 - Marqueurs externes+internes (Cyberknife)
 - Scanner 4D + Imagerie CBCT
 - Scanner 4D + Surface (ToF)



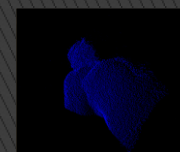
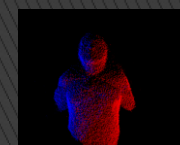
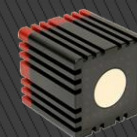
RPM



Synchrony



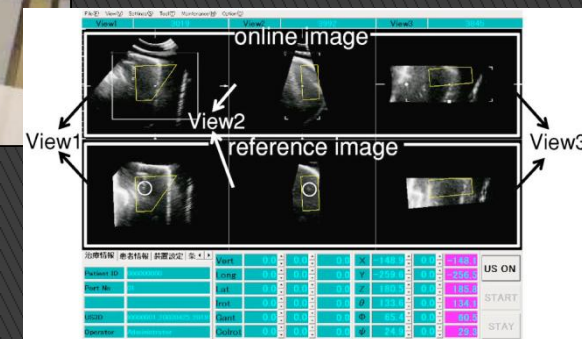
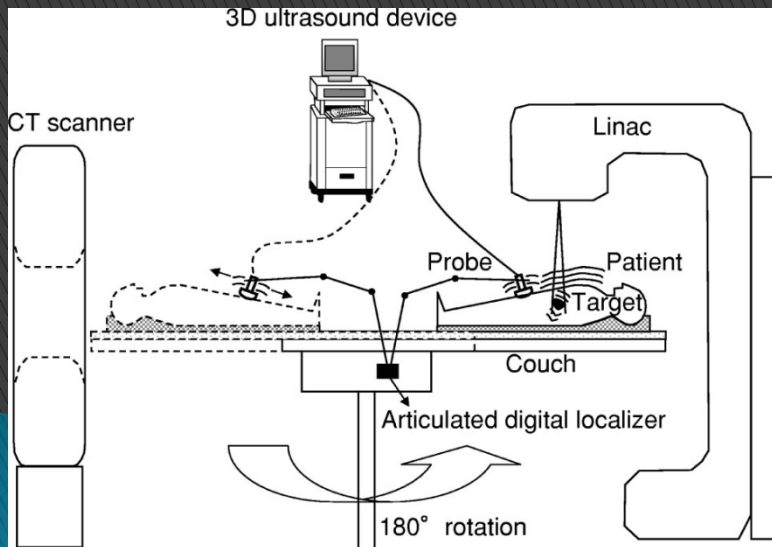
[Sarrut et al]



[Visvikis et al]

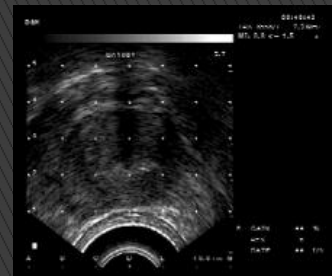
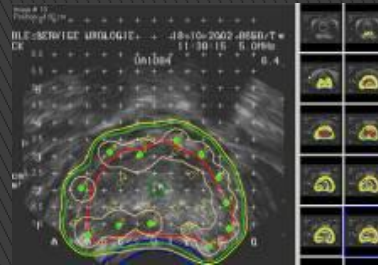
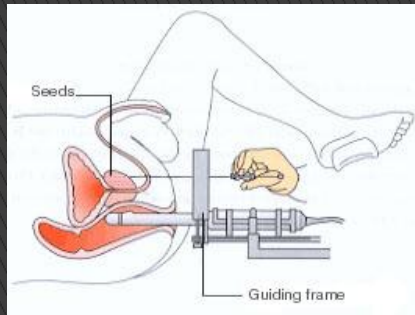
« Gating » à partir des ultrasons

- ▶ Travail très original de Sawada et al 2004
 - Echographie 3D et 4D (GE Voluson 730)
 - Recalage US3D/US3D: idée d'une corrélation maximum entre données au moment du cycle respiratoire choisi pour le « gating »
 - Faisabilité sur fantôme

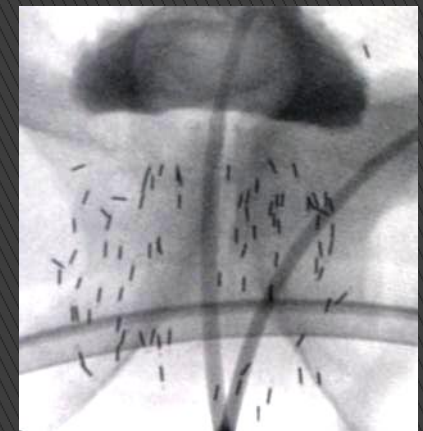
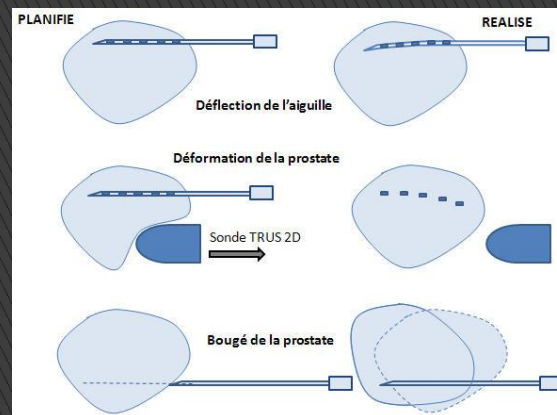


Un autre exemple de suivi par US

▶ Curiethérapie de la prostate écho-guidée



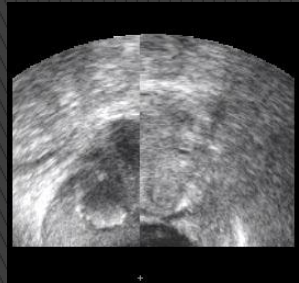
▶ Sources d'imprécisions potentielles



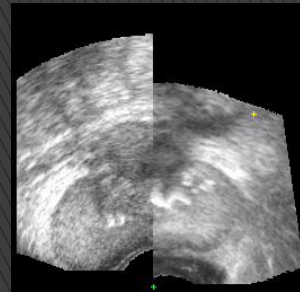
Une approche de localisation/correction itérative

- ▶ Sonde échographique 3D
- ▶ Robotisation de l'insertion des aiguilles (V2 clinique)
- ▶ Recalage élastique US3D/US3D [Baumann12]

Volumes non recalés

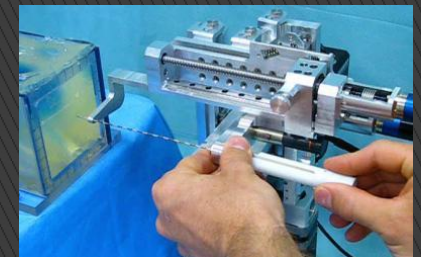


Recalage élastique

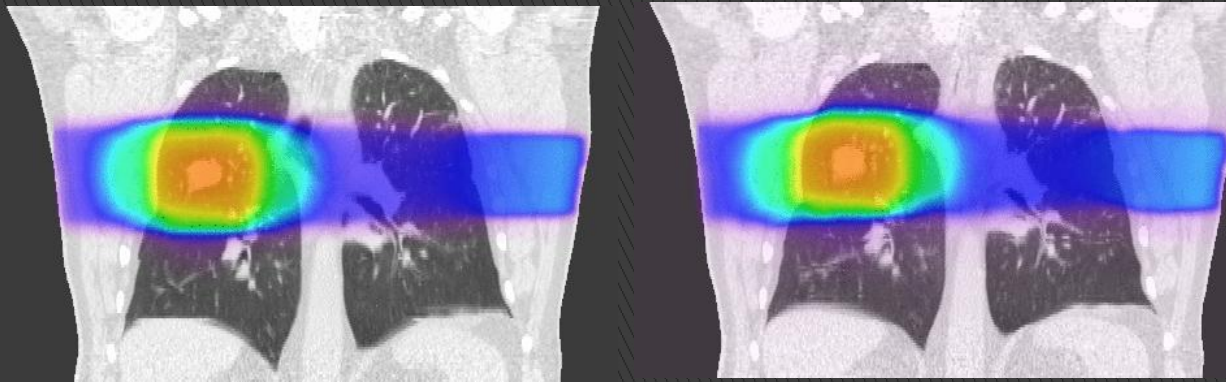


- ▶ Travail en cours sur localisation des grains sur images US

[Hungri4]



Vers la radiothérapie adaptative



Sarrut et al.

- ▶ Pouvoir corriger **en temps réel** la planification dosimétrique en fonction des bougés mesurés
 - Capacité à détecter les bougés de façon mini-invasive
 - Capacité à recalculer le plan dosimétrique
 - A portée de main en curiethérapie?

Conclusion

- ▶ L'**image** est **au cœur de la radiothérapie** depuis très longtemps
- ▶ Elle a accompagné les évolutions matérielles très nombreuses jusqu'à des systèmes hybrides traitement-imagerie
- ▶ **Encore beaucoup de challenges** concernant la modélisation, détection et prise en compte des mouvements
- ▶ Egalement dans le diagnostic, la planification et l'évaluation des traitements
- ▶ **Et toujours le besoin de validation clinique** des apports scientifiques et technologiques

Remerciements

- ▶ Prs Michel BOLLA, Jacques BALOSSO, Drs Camille VERRY, Jean-Yves GIRAUD, CHU Grenoble
- ▶ Drs Xavier ARTIGNAN, Philippe FOURNERET
- ▶ Dimitris VISVIKIS, LATIM
- ▶ David SARRUT, Creatis
- ▶ Et les nombreux chercheurs et étudiants ayant contribué à ces projets