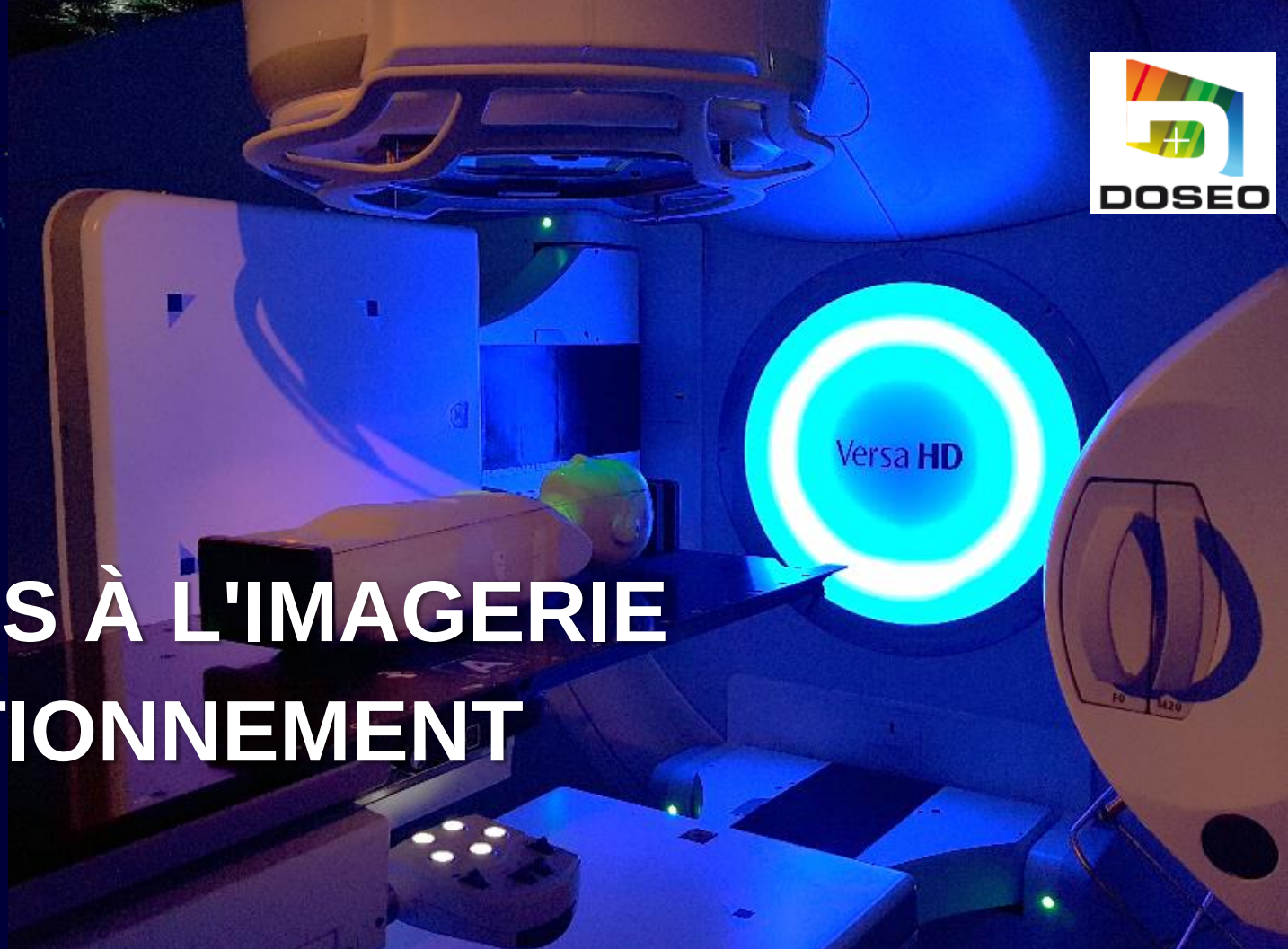
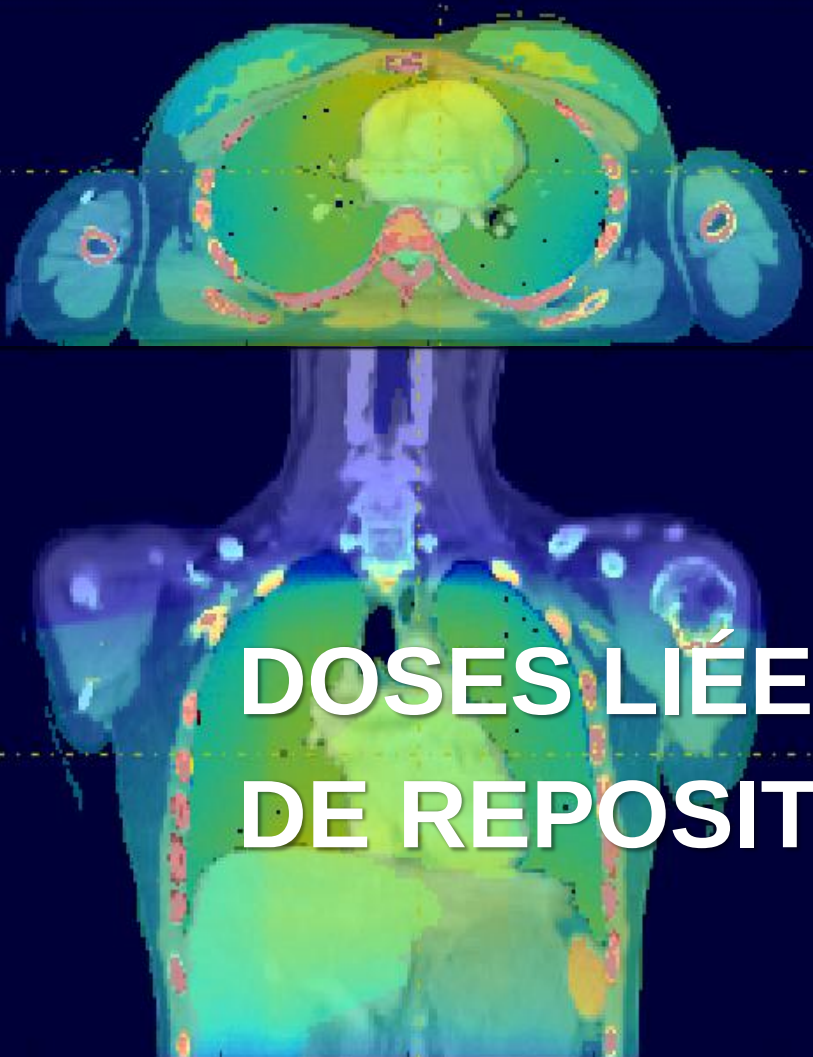




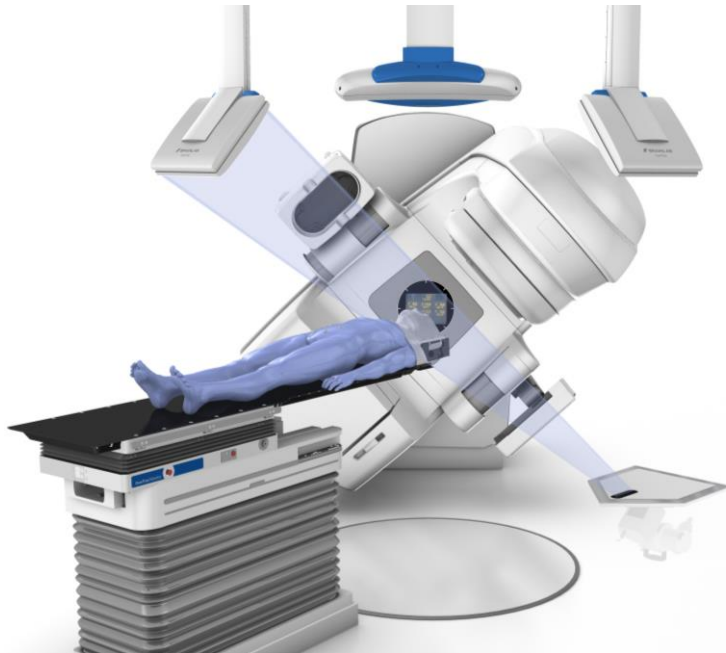
# DOSES LIÉES À L'IMAGERIE DE REPOSITIONNEMENT

Delphine LAZARO  
*CEA Saclay – Plateforme DOSEO*

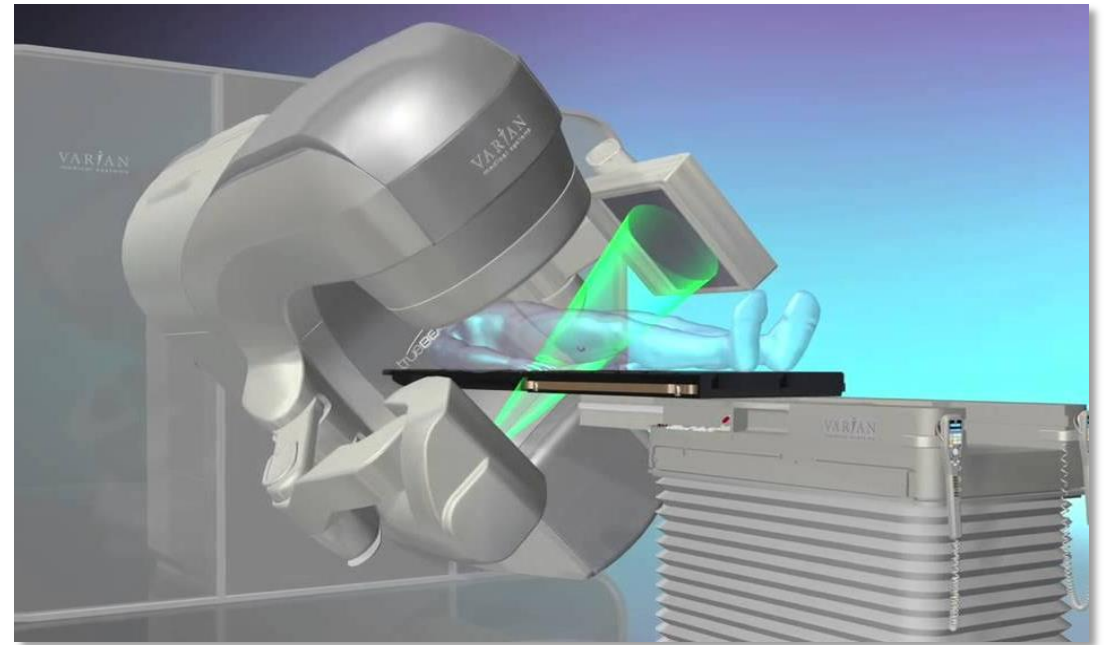
Journée technique SFRP | 26 septembre 2019

# POURQUOI S'INTÉRESSER AUX DOSES DÉLIVRÉES PAR L'IMAGERIE EMBARQUÉE ?

- Augmentation générale de l'exposition médicale aux RX
- Evolution croissante de la Radiothérapie guidée par l'image
  - ▣ fréquence d'utilisation de l'imagerie RX de positionnement en augmentation
    - 2012 – 2017 : 46% → 89% (*ASN, Observatoire national de la radiothérapie 2015*)
    - utilisation hebdomadaire à quotidienne



*Imagerie 2D périphérique (ExacTrac)*



*Imagerie 3D conique kV : kV-CBCT*

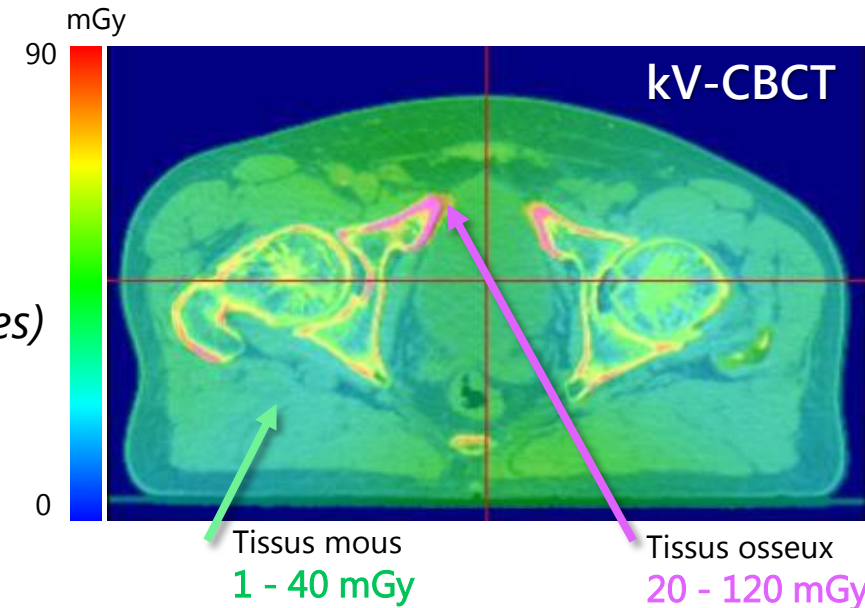
# POURQUOI S'INTÉRESSER AUX DOSES DÉLIVRÉES PAR L'IMAGERIE EMBARQUÉE ?

- Augmentation générale de l'exposition médicale aux RX
- Evolution croissante de la Radiothérapie guidée par l'image
- Caractéristiques des doses délivrées

☐ 1 examen kV-CBCT  $\approx$  **1 - 120 mGy**

☐ 1 traitement complet  $\approx$  **1 à 3 Gy**

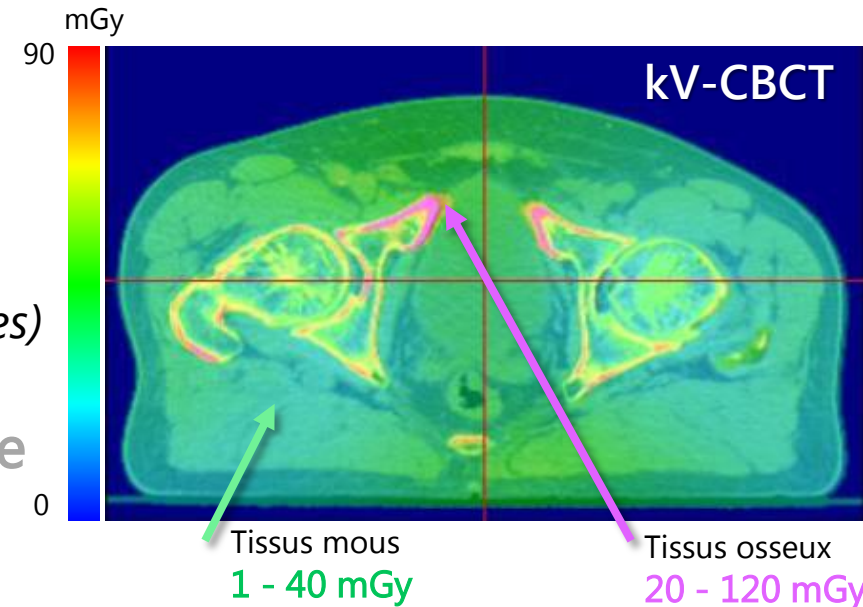
*(Alaei et al 2015) (1 kV-CBCT par séance, 40 séances)*



# POURQUOI S'INTÉRESSER AUX DOSES DÉLIVRÉES PAR L'IMAGERIE EMBARQUÉE ?

- Augmentation générale de l'exposition médicale aux RX
- Evolution croissante de la Radiothérapie guidée par l'image
- Caractéristiques des doses délivrées

- ▣ 1 examen kV-CBCT  $\approx$  **1 - 120 mGy**
- ▣ 1 traitement complet  $\approx$  **1 à 3 Gy**  
(Alaei et al 2015) (1 kV-CBCT par séance, 40 séances)
- ▣ Dépendance des doses avec la morphologie
  - doses 2 à 3 fois supérieures chez l'enfant

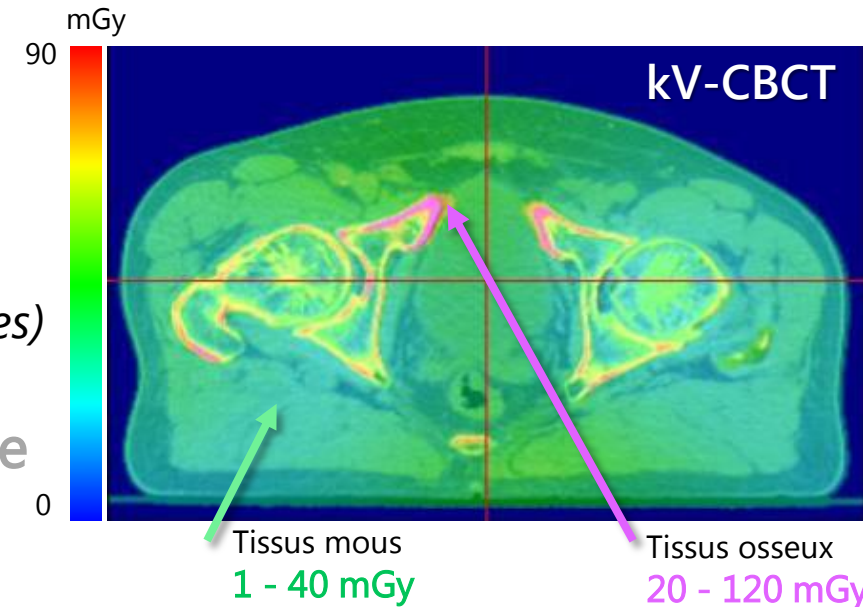


# POURQUOI S'INTÉRESSER AUX DOSES DÉLIVRÉES PAR L'IMAGERIE EMBARQUÉE ?

- Augmentation générale de l'exposition médicale aux RX
- Evolution croissante de la Radiothérapie guidée par l'image
- **Caractéristiques des doses délivrées**

- ▣ 1 examen kV-CBCT  $\approx$  **1 - 120 mGy**
- ▣ 1 traitement complet  $\approx$  **1 à 3 Gy**  
(Alaei et al 2015) (1 kV-CBCT par séance, 40 séances)

- ▣ Dépendance des doses avec la morphologie
  - doses 2 à 3 fois supérieures chez l'enfant



- ▣ Large volume de tissus sains irradiés à faible dose
- ▣ Effets biologiques et risques mal connus (Pearce et al 2012, Mathews et al 2013, ...)
  - zone de forte incertitude : dose < 100 mSv
  - risques de seconds cancers (Kim et al 2013) et de complications (enfants)

# ÉTAT DES LIEUX EN ROUTINE CLINIQUE

## ■ AAPM 2018 : vers une gestion des doses liées à l'imagerie embarquée (Ding et al 2018)

Estimation  
précise des  
doses délivrées

Manque d'outils dédiés



Mesures ponctuelles,  
 $CTDI_{vol}$ , DLP, etc.



Mesures *in vivo* en fantômes  
anthropomorphes



Dosimètres OSL

Films  
XRQA2

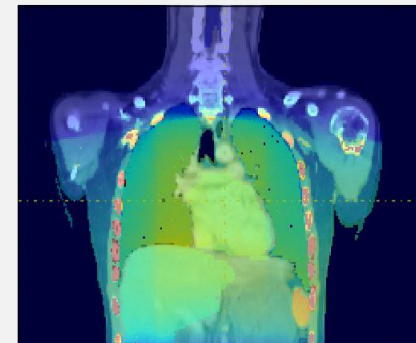
Mesures expérimentales



- Mesures chronophages et complexes (dosimètres dépendants en énergie)
- Dosimétrie d'une morphologie standard



(Alaei and Spezi, Phys. Med. 2015)



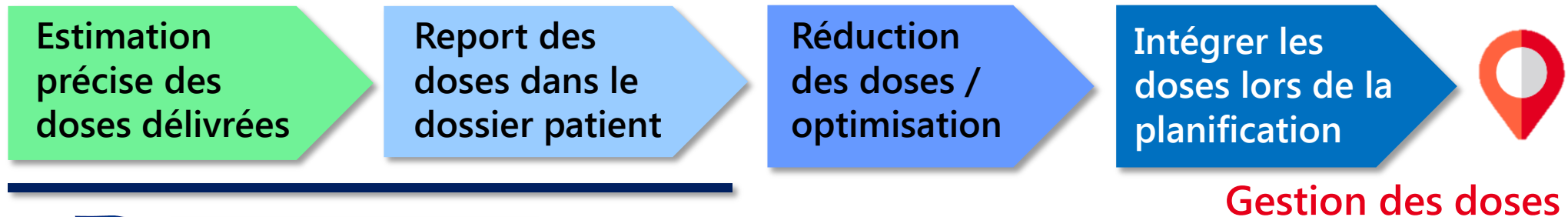
Simulations Monte Carlo  
Logiciels TPS

Calculs numériques 3D



Dosimétrie précise  
et personnalisée

## ■ AAPM 2018 : vers une gestion des doses liées à l'imagerie embarquée (Ding et al 2018)



Agence Nationale de la Recherche  
**ANR**

Projet AID-IGRT

2015 - 2019

**Fournir une approche intégrée** de gestion des doses liées à l'imagerie embarquée

- protocoles de mesures de dose *in vivo*
- développer un **logiciel de calcul dosimétrique 3D personnalisé** basé sur la méthode Monte-Carlo



DOSI<sup>+</sup>soft

**iC** Institut de  
Cancérologie  
de l'Ouest  
René Gauducheau

 Centre  
Eugène Marquis  
RENNES

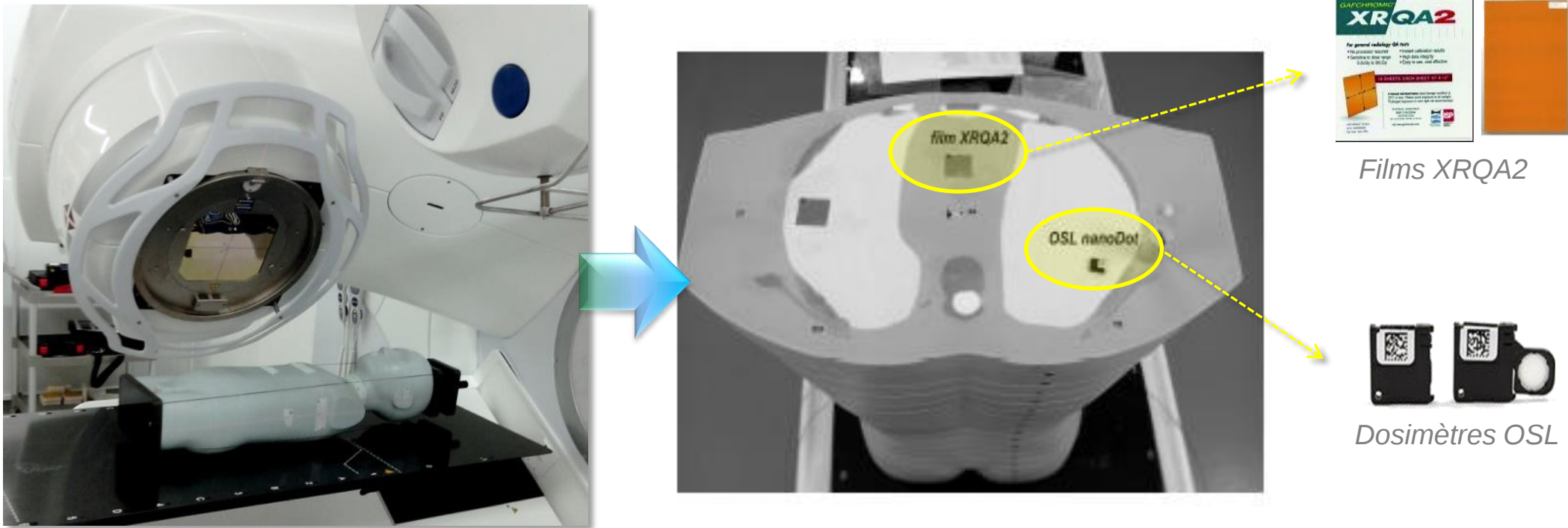


Assistance Publique  
Hôpitaux de Marseille

 Centre  
**JEAN PERRIN**

# MÉTHODES EXPÉRIMENTALES D'ÉVALUATION DOSIMÉTRIQUE

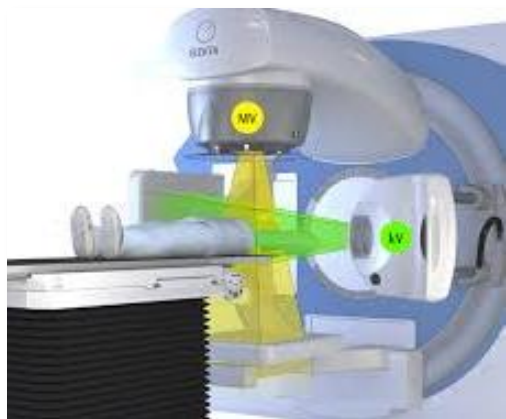
- Développement d'un protocole dosimétrique de mesures in vivo par OSL et films XR-QA2 (*Chesneau et al 2015, 2016*)



- Mesures dans les centres cliniques avec le protocole OSL : XVI CBCT Elekta, OBI CBCT Varian, ExacTrac 2D-kV Brainlab et 2D-kV CyberKnife Accuray + MV-CT Tomotherapy

# DÉVELOPPEMENT DU LOGICIEL IDCS (IMAGING DOSE COMPUTING SYSTEM)

Modèles des  
dispositifs d'imagerie

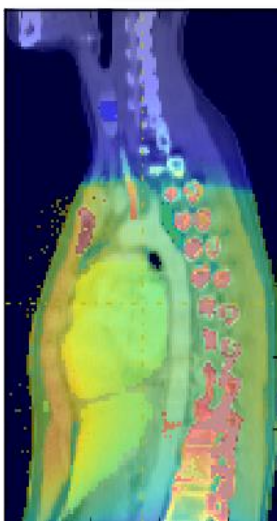


Code PENELOPE

Moteur de calcul  
dosimétrique basé sur la  
méthode Monte-Carlo



Modèle du fantôme  
/ patient



Objectif

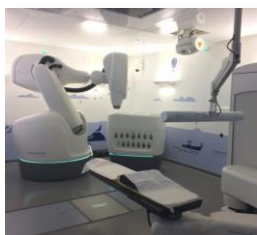
Calcul de la distribution de  
dose 3D du patient

# DÉVELOPPEMENT DU LOGICIEL IDCS (IMAGING DOSE COMPUTING SYSTEM)

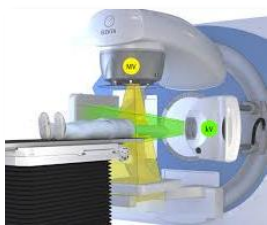
## Modèles des dispositifs d'imagerie



2D ExacTrac



2D Cyberknife



3D XVI Elekta



3D OBI Varian

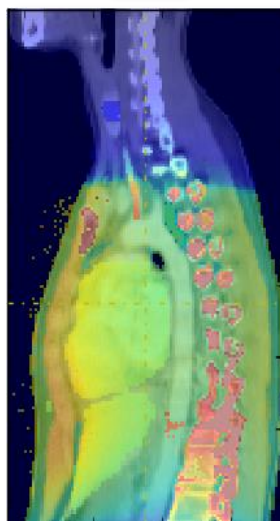


3D MVCT Tomotherapy



Code PENELOPE

Moteur de calcul  
dosimétrique basé sur la  
méthode Monte-Carlo



Objectif

Calcul de la distribution de  
dose 3D du patient



## Modèle du fantôme / patient



Image TDM initiale

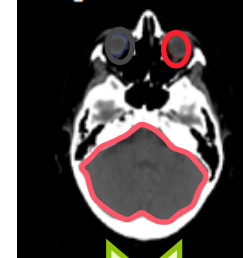
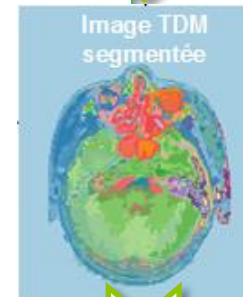


Image TDM  
segmentée



Modélisation du  
patient



Assignation des tissus  
biologiques

# LE LOGICIEL IDCS : FONCTIONNEMENT



Centre clinique

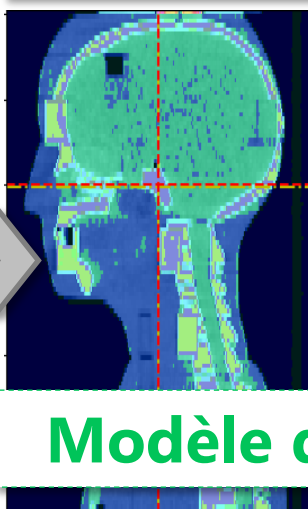
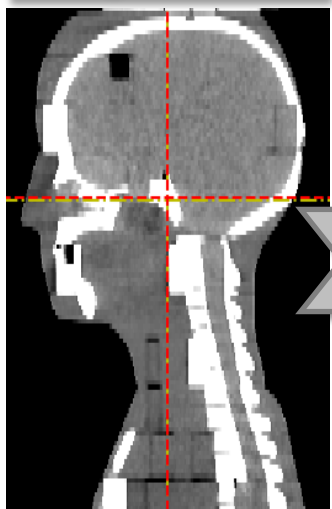
Dossier patient



Protocole d'imagerie

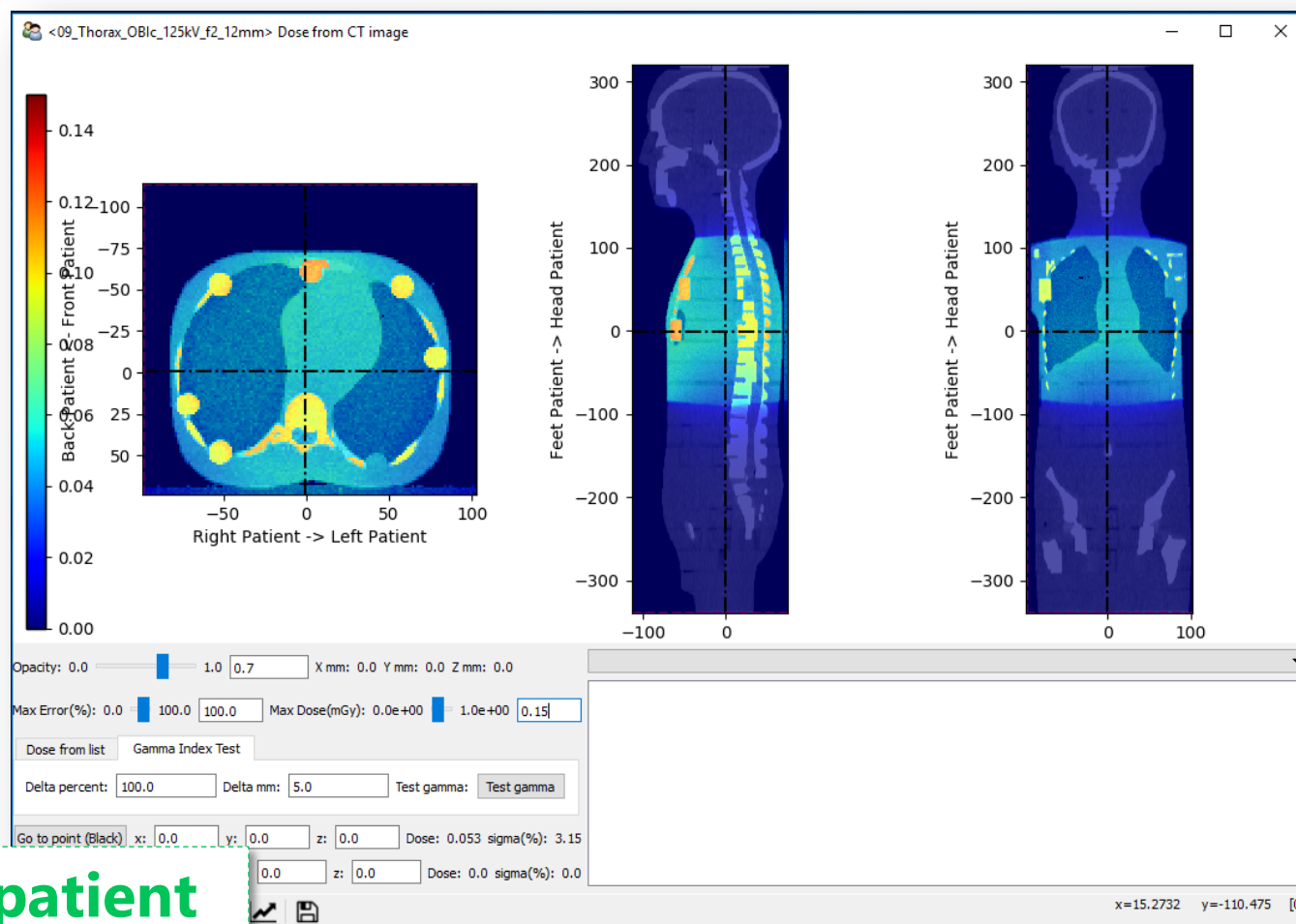
Image scanner

Carte tissus

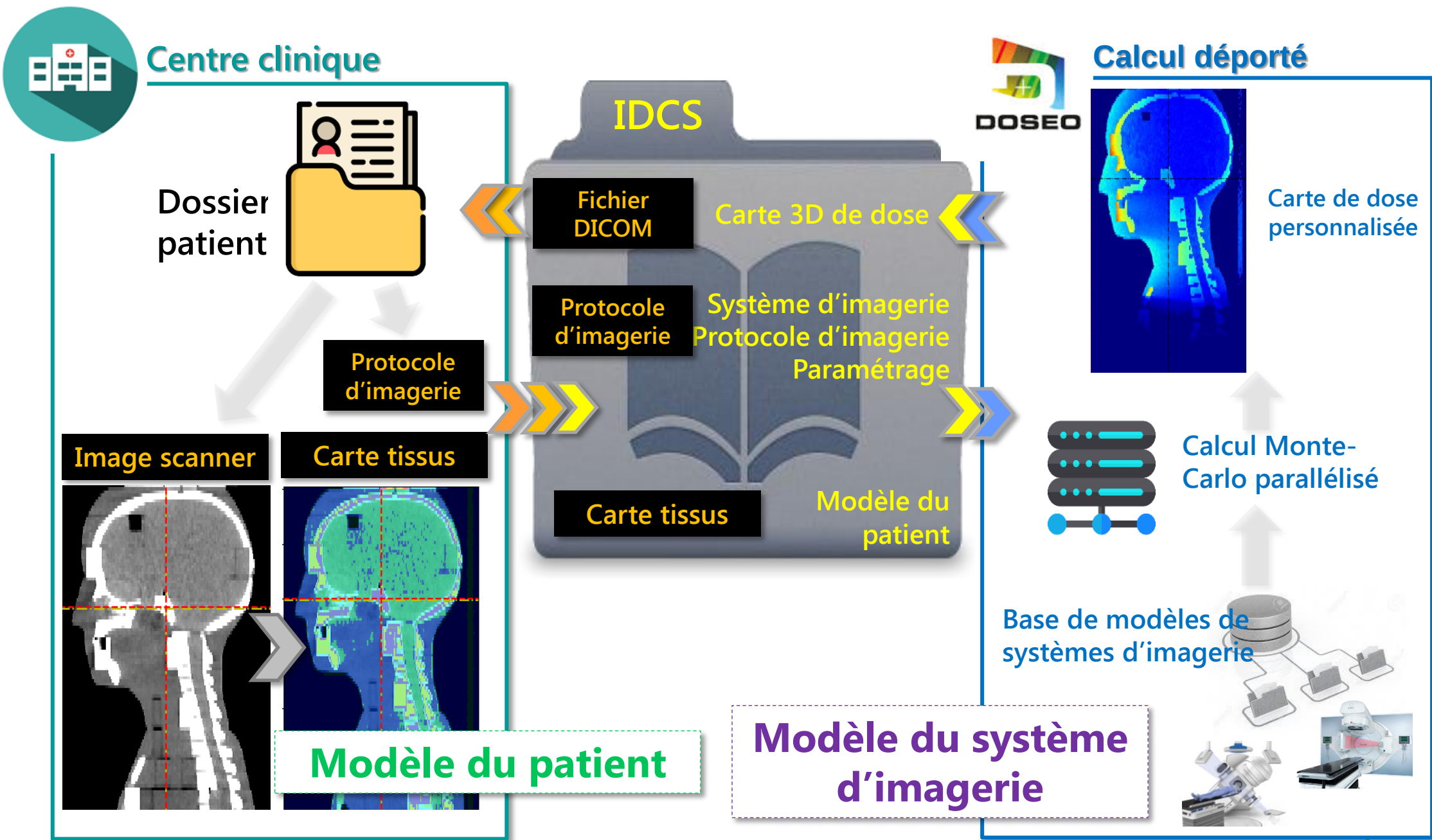


Modèle du patient

Interface graphique du logiciel installé dans le centre clinique

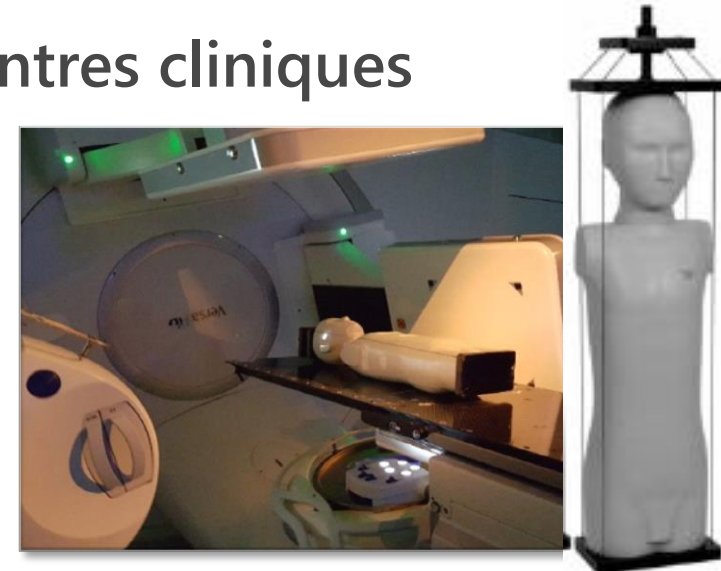


# LE LOGICIEL IDCS : FONCTIONNEMENT

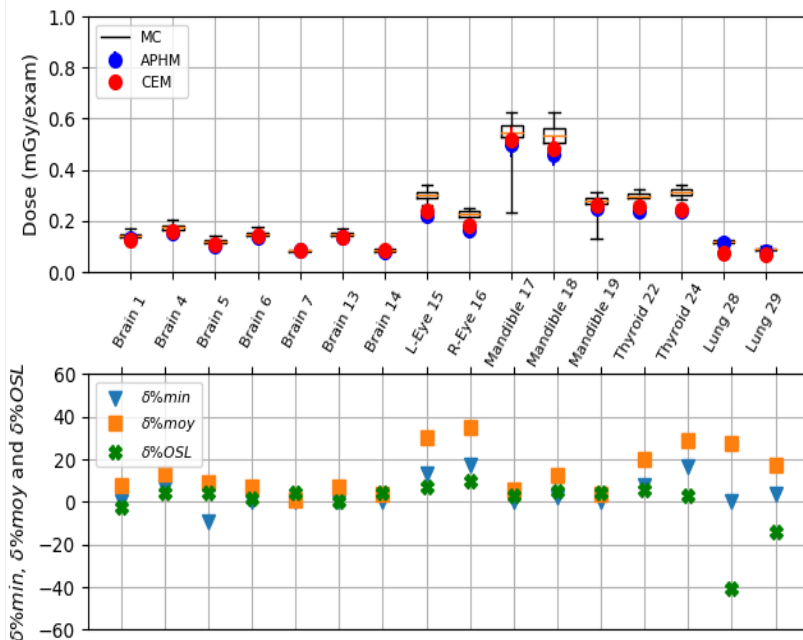


## Campagne de mesures OSL *in vivo* dans les centres cliniques

- ☐ Protocole dosimétrique mis au point et validé
- ☐ Irradiation du fantôme anthropomorphe enfant (5 ans, CIRS ATOM)
- ☐ Protocoles d'imagerie standards pour les différents systèmes d'imagerie
- ☐ Trois localisations : tête, thorax, pelvis

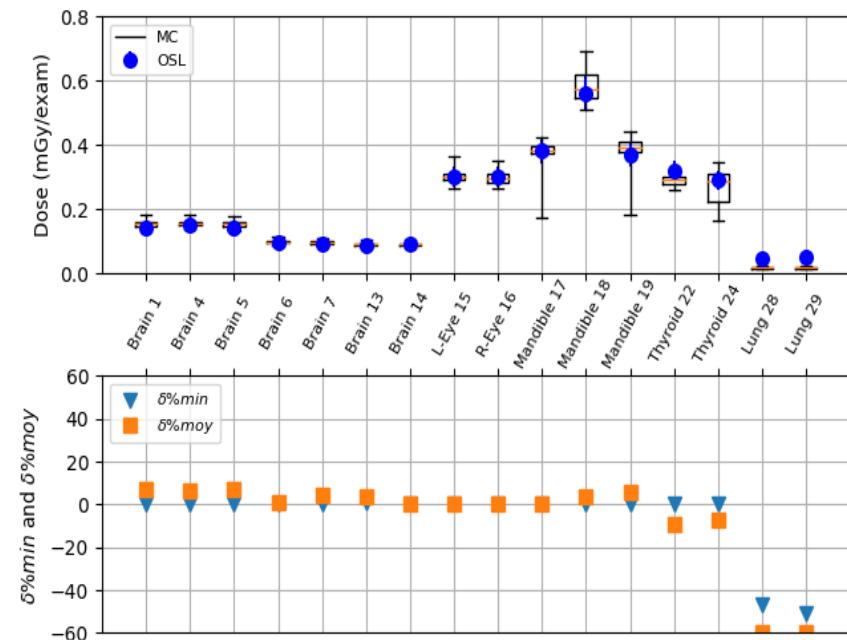


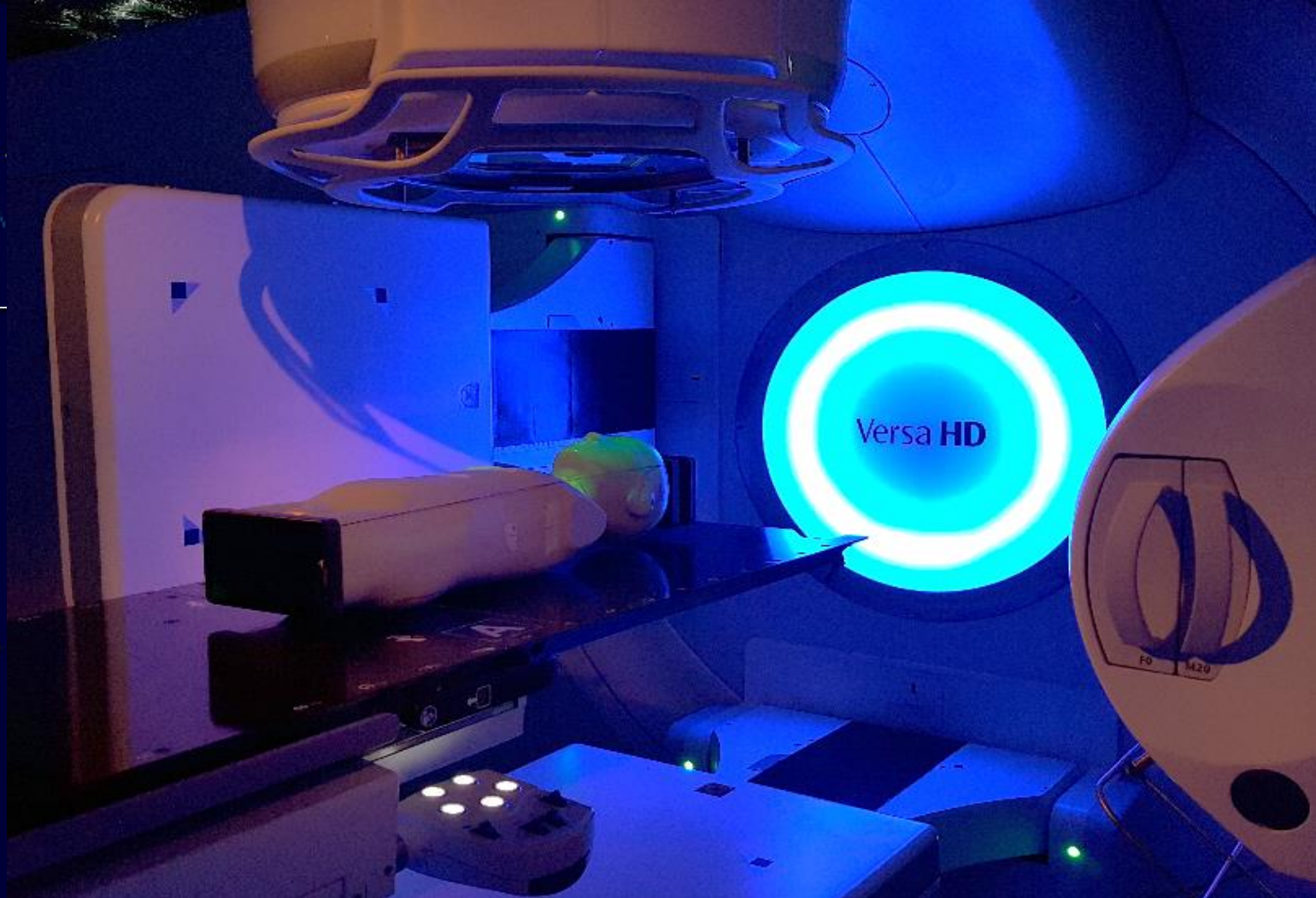
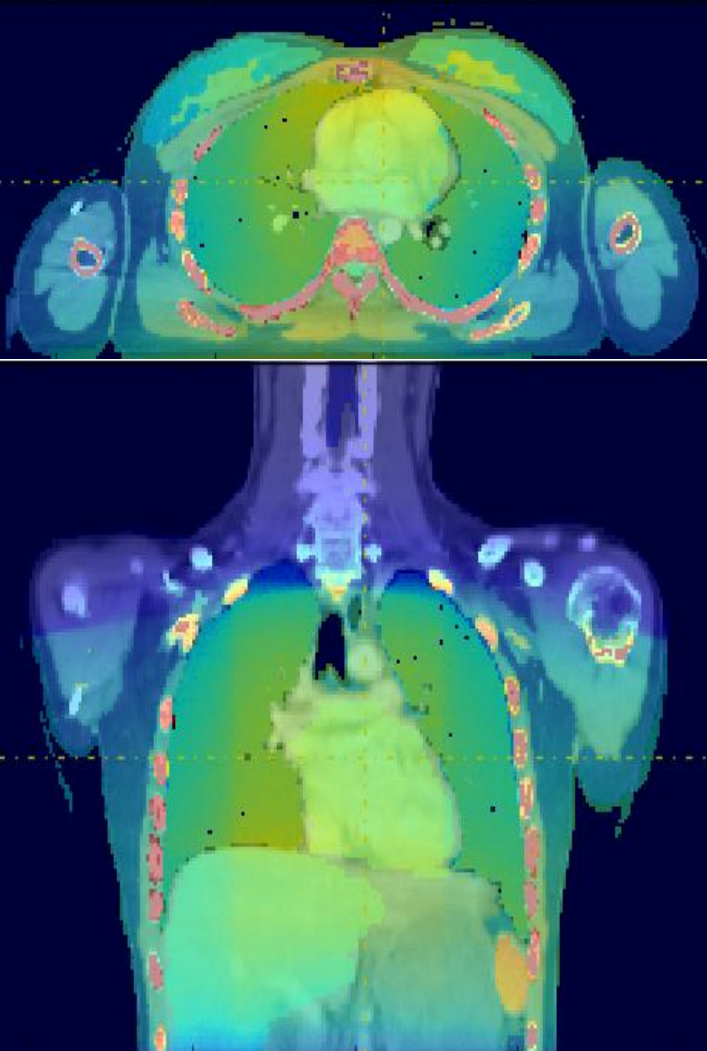
Head Exam XVI 70kV F0 (200 degrees left) 18.3mAs



Validation du logiciel dans un ensemble de conditions variées

Head Exam Cyberknife 100kV 20mAs





## QUELQUES EXEMPLES DE DOSIMÉTRIES...

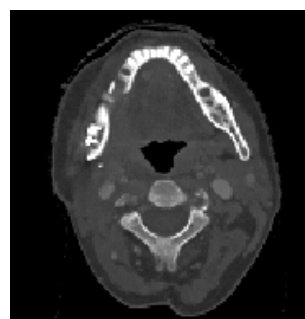
Journée technique SFRP | 26 septembre 2019

# ÉTUDE DOSIMÉTRIQUE MULTICENTRIQUE : MÉTHODE

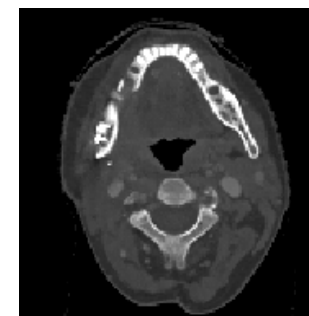
## Plusieurs cohortes en cours d'étude



**Cohorte 20 patients**  
« prostate »



**Cohorte 15 patients**  
« tête et cou »



**Cohorte 25 enfants**

### Protocoles d'imagerie\*

#### PROSTATE

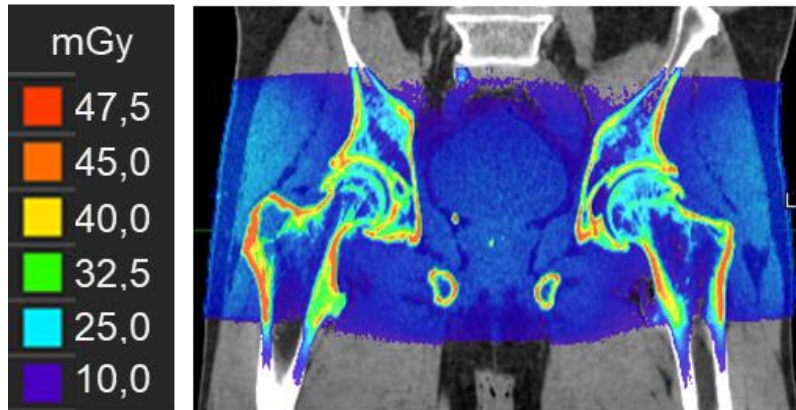
#### TETE ET COU

| Modalité d'imagerie | kV  | Filtre   | mAs  | Taille champ<br>(cm x cm) | kV   | Filtre    | mAs  | Taille champ<br>(cm x cm) |
|---------------------|-----|----------|------|---------------------------|------|-----------|------|---------------------------|
| CBCT XVI            | 120 | F1       | 1690 | M15                       | 120  | F1        | 264  | M20                       |
| CBCT OBI            | 125 | Half fan | 1080 | 30,3 x 20,6               | 100* | Full fan* | 150* | 22,2 x 16,6*              |
| 2D-kV ExacTrac      | 120 | aucun    | 51   | 12,9 x 12,9               | 100  | aucun     | 12.8 | 12,9 x 12,9               |
| 2D-kV CyberKnife    | 120 | aucun    | 32   | 14,0 x 22,0               | 120  | aucun     | 20   | 14,0 x 22,0               |

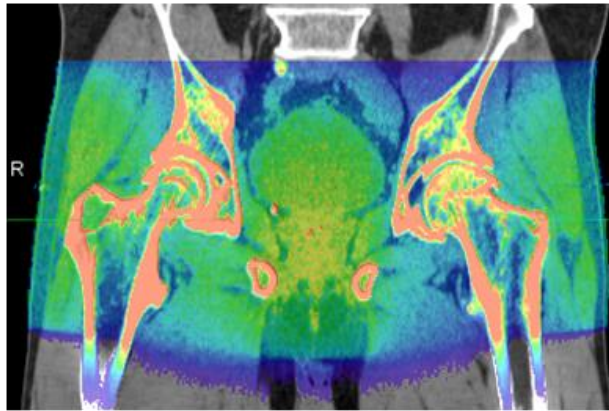
\*issus d'un recueil des pratiques des centres Jean Perrin, René Gauducheau, Eugène Marquis et de l'Assistance Publique - Hôpitaux de Marseille.

# ÉTUDE DOSIMÉTRIQUE MULTICENTRIQUE : RÉSULTATS DE LA COHORTE PROSTATE

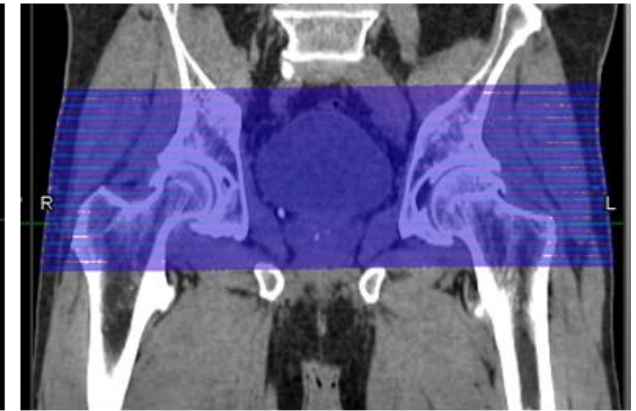
CBCT-kV XVI



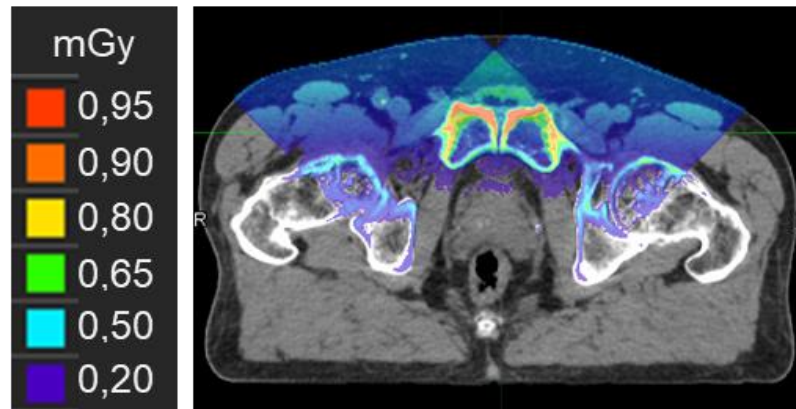
CBCT-kV OBI



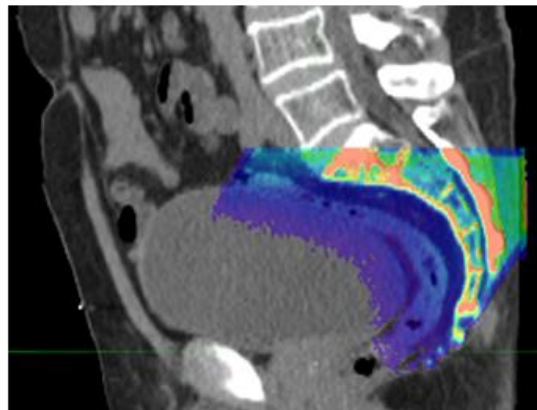
CT-MV TomoTherapy



2D-kV CyberKnife



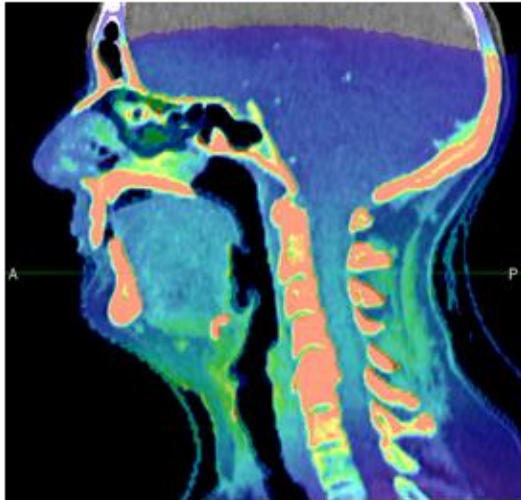
2D-kV ExacTrac



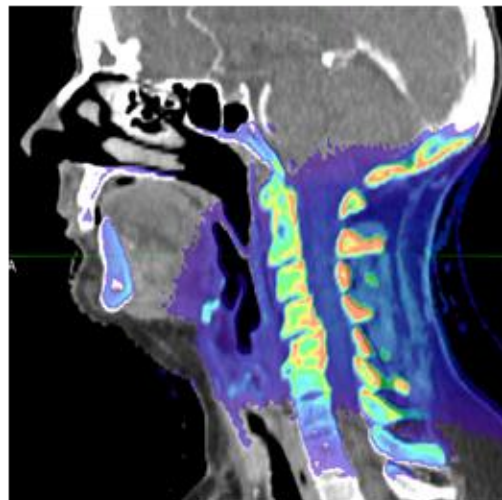
- **Examen CBCT** : dose homogène délivrée aux tissus mous et surdose hétérogène aux tissus osseux
- **Examen CT-MV** : dose homogène à tous les tissus
- Dose délivrée en **2D-kV** rapidement atténuée et fortement absorbée par les os

# ÉTUDE DOSIMÉTRIQUE MULTICENTRIQUE : RÉSULTATS DE LA COHORTE TÊTE ET COU

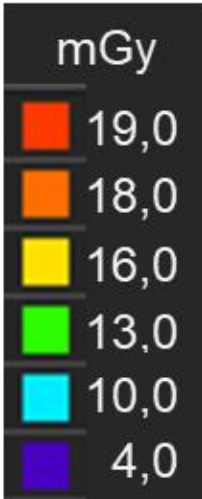
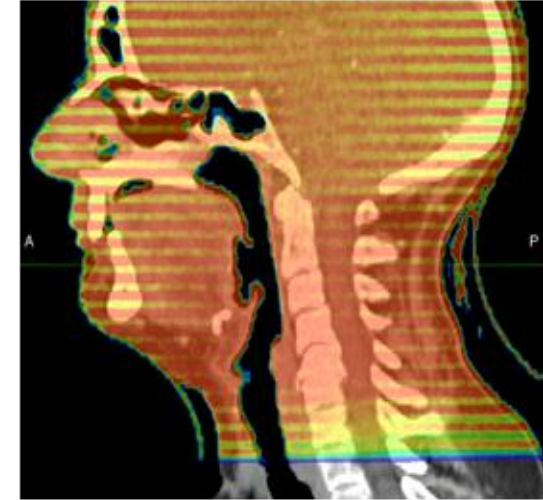
CBCT-kV XVI



CBCT-kV OBI

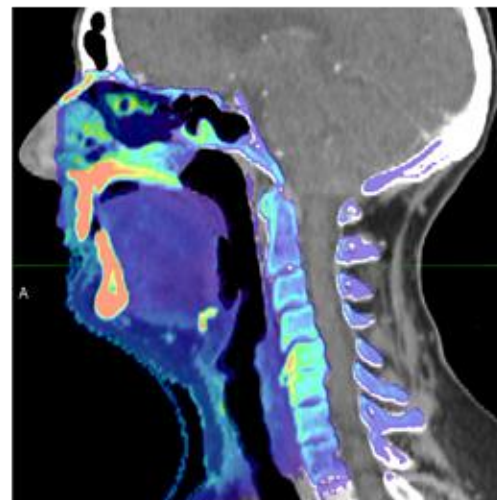


CT-MV TomoTherapy

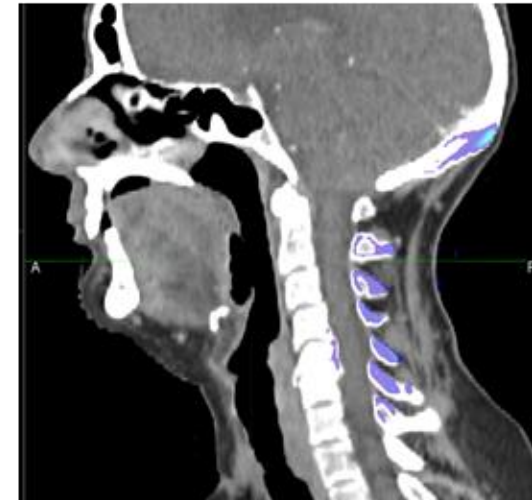


- **Examen CBCT** : dose homogène délivrée aux tissus mous et surdose hétérogène aux tissus osseux
- **Examen CT-MV** : dose homogène à tous les tissus
- Dose délivrée en **2D-kV** rapidement atténuée et fortement absorbée par les os

2D-kV CyberKnife



2D-kV ExacTrac



# DOSE DUE A L'IMAGE CUMULÉE POUR UN TRAITEMENT AVEC IMAGERIE QUOTIDIENNE POUR LES 5 IMAGEURS

**D50% moyenne (min;max)** en **mGy** aux organes à risque (OAR), avec **IGRT quotidienne**

|                      | 40 séances                               |                                           | 35 séances              |                         |
|----------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                      | Cohorte prostate                         |                                           | Cohorte tête et cou     |                         |
| OAR                  | Rectum                                   | Têtes fémorales                           | Parotides               | Cochlées                |
| CBCT XVI             | 1097,5<br>(630,4; 1363,8)                | 1720,6<br>(1154,8; 2161,7)                | 290,8<br>(73,6; 362,6)  | 618,6<br>(146,3; 816,8) |
| CBCT OBI             | <b>1338,6</b><br>(911,4; <b>1613,6</b> ) | <b>1785,1</b><br>(1214,4; <b>2249,5</b> ) | 122,6<br>(7,7; 192,3)   | 201,4<br>(21,1; 378,0)  |
| CT-MV<br>TomoTherapy | 535,9<br>(475,8; 581,1)                  | 537,2<br>(472,7; 589,3)                   | 638,2<br>(588,5; 664,7) | 565,5<br>(554,7; 581,6) |
| 2D-kV ExacTrac       | 28,6<br>(17,7; 37,9)                     | 4,8<br>(2,6; 8,0)                         | 1,9<br>(0,5; 3,7)       | 3,4<br>(0,9; 7,1)       |
| 2D-kV<br>Cyberknife  | 38,0<br>(17,6; 157,5)                    | 55,4<br>(29,1; 87,5)                      | 29,4<br>(1,7; 40,8)     | 51,0<br>(4,5; 74,7)     |

**2 paires / séance**

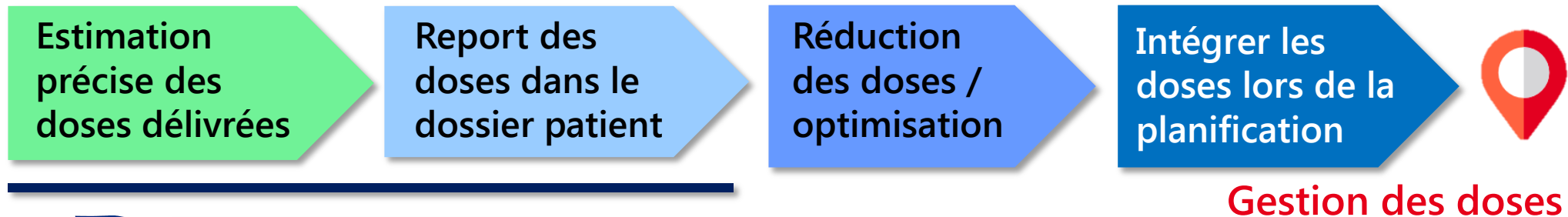
*Prostate*  
**6 séances | 480 paires**

*Tête et cou*  
**3 séances | 120 paires**

- Modalité la moins irradiante : ExacTrac ( $< 100$  mGy quelque soit l'OAR)
- CBCT quotidiens : au pelvis, ils apportent une dose non négligeable aux OAR (2% de la dose physique thérapeutique)
- Cyberknife : la totalité des images réalisées apporte une dose aux OAR comparable à celle d'un CBCT (30 – 50 mGy en moyenne)
- La variabilité de la dose inter-patient est importante pour les CBCT (jusqu'à 50%) et moindre pour un CT-MV (20%)

# PERSPECTIVES : VERS LA GESTION DES DOSES INTÉGRALES ?

## ■ AAPM 2018 : vers une gestion des doses liées à l'imagerie embarquée



Projet AID-IGRT

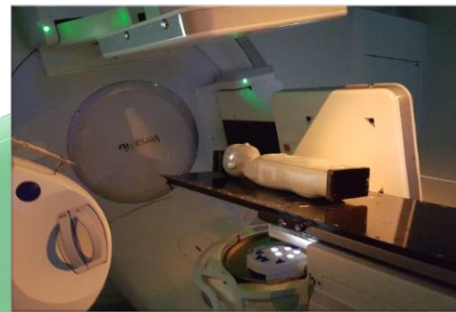
2015 - 2019



Questions radiobiologiques :

« cumul » des doses, impact biologique et impact des irradiations concomitantes...

Logiciel disponible et en cours de valorisation industrielle



Estimation des doses intégrales

(thérapie + imagerie)



Projet ELISA

2018 - 2020



Projet HARMONIC

2019 - 2024

## Remerciements

Lucie Berger



Caroline Lafond  
Coralie Le Deroff  
Olivier Henry  
Julien Bellec



Grégory Delpon  
Vincent Passal



Julie Desrousseaux  
Stéphanie Gempp  
Laetitia Padovani



Guillaume Boissonnat  
Hélène Chesneau



François Husson



Contact :  
[delphine.lazaro@cea.fr](mailto:delphine.lazaro@cea.fr)

... et tous nos supers stagiaires !!!

