

Evolution des outils de radiothérapie : mutation technologique et apport du numérique

Patrice ROCH

Direction des rayonnements Ionisants et de la Santé

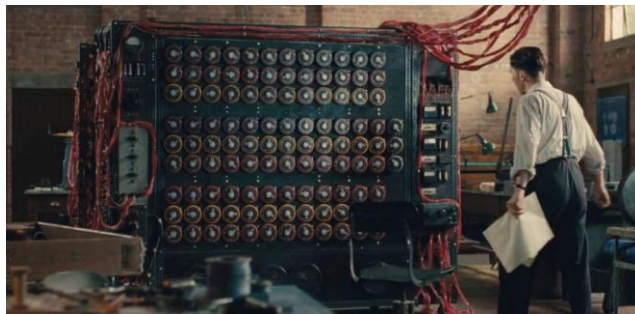
[...] dans un horizon de 5 à 10 ans, la radiothérapie va être entièrement automatisée. Aujourd'hui, si vous regardez l'impact des experts qui sont soit des physiciens, soit des médecins, soit des dosimétristes, [il] est minime. [...]

[...] dans un horizon de 5 à 10 ans, ce domaine-là [l'IA] vont[va] remplacer l'homme avec une meilleure précision, une standardisation, [...]

(www.actuia.com, Congrès AI PARIS juin 2019)

« Confondre une autruche et tante Adèle n'a pas le même niveau de gravité que confondre sur une radiographie du sein des microcalcifications et des tumeurs naissantes. »

(Robotique et intelligence artificielle : parlons-en ! CNRS le journal, J.P. LAUMONT, sept. 2019)

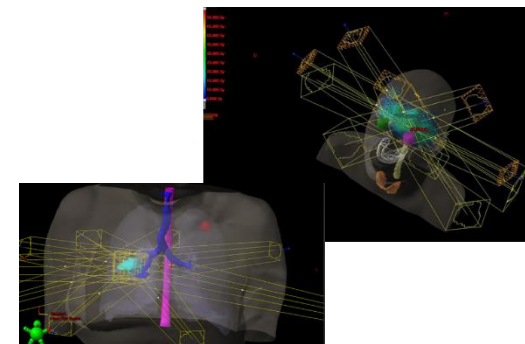
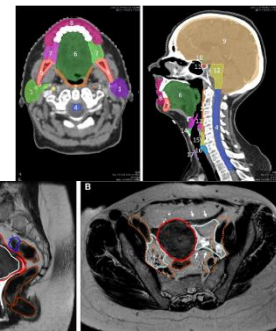


“Machines take me by surprise with great frequency.”

Turing, A.M. (1950). Computing machinery and intelligence. Mind, 59, 433-460.



- Pratique médicale visant à **irradier un tissu ou un organe**, siège d'une **pathologie cancéreuse** (sauf rares exceptions), dans un **environnement de tissus sains** (à préserver)
- **Place majeure dans le traitement du cancer**
 - ~200 000 patients/an (60 % cancers)
 - ~50 % des guérisons
 - Exclusive ou associée à chirurgie, chimiothérapie, hormonothérapie
- **Comment ?**
 - au moyen de rayonnements ionisants (X, γ , e⁻, p⁺, ions)
 - en faisant concourir des faisceaux de rayonnement dans un volume à irradier
 - en délivrant de fortes doses « ciblées » et fractionnées
 - selon une succession d'étapes : imagerie, simulation, calcul de dose, irradiation
 - >95 % par accélérateurs linéaires d'électrons (~470 en France)



K. Gnep, R. Mazon, <https://doi.org/10.1016/j.canrad.2013.06.028>.
Brouwer, Charlotte et al., 117, 10.1016/j.radonc.2015.07.041.
<https://www.varian.com/oncology/products/software/treatment-planning/eclipse-treatment-planning-system?cat=overview>

Evolution des outils

1900

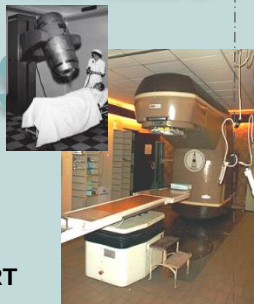
Radium
RX basse E



1896 : 1^{er} traitement par RT

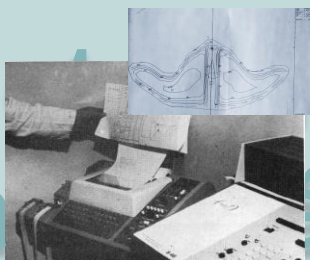
1950

Cobalt 60
RX/e- haute E



1970

1ers TPS



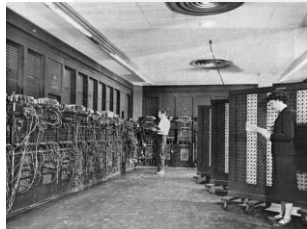
Calcul de dose informatisé

1995-

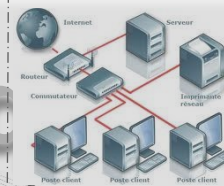
RX/e- haute E, p+, ions



Radiothérapie assistée par ordinateur



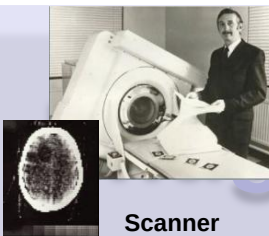
Micro-ordinateurs



DICOM, Internet et réseaux



IA



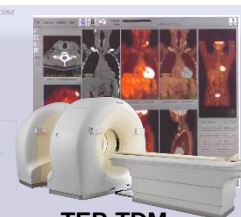
Scanner



IRM



PACS



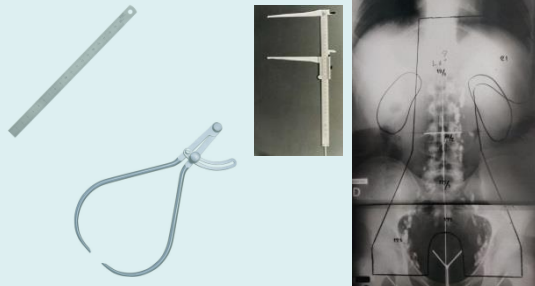
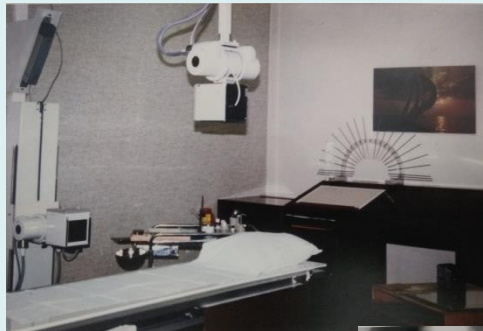
TEP-TDM



Crédit Image : I Stock |

Transferts et enregistrements écrits/papier

Repérage

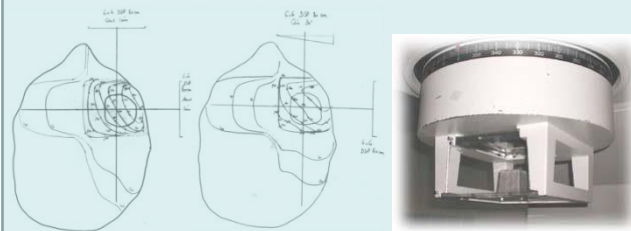


Clichés radiographiques (non systématiques)

Définition des champs

Relevés de contours et d'épaisseurs

Dosimétrie & préparation

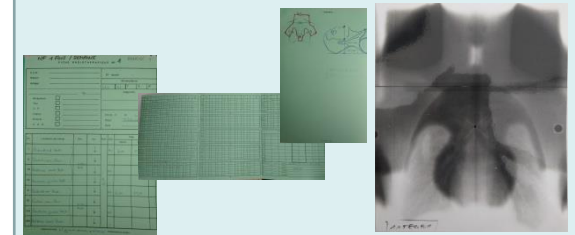


Fabrication des protections

Calcul des distributions de dose

Calcul des temps de traitement

Traitement



Programmation manuelle des paramètres de traitement

Imagerie de contrôle : films argentiques

Enregistrements papier



Transferts et enregistrements via un SI

Imagerie



Positionnement du patient

Acquisition de données anatomiques

Repérage des points de référence

Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN

Simulation



Délinéation des structures

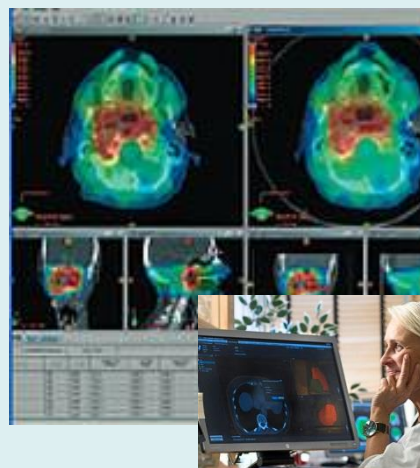
Placement des faisceaux

Définition des protections (caches, collimateur multi-lames)

Radiographies reconstruites (DRR)

Philippe Castano/Médiathèque IRSN

Planification



Calcul de dose

Optimisation

Evaluation des plans

<https://www.raysearchlabs.com/raystation/>

Traitement



Rappel des paramètres de traitement transférés

Imagerie de contrôle

Contrôle et suivi de la délivrance du traitement

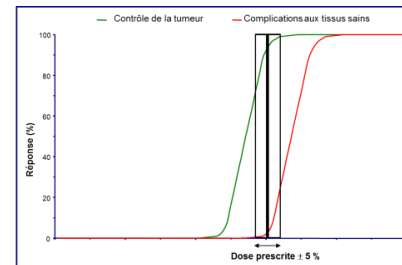
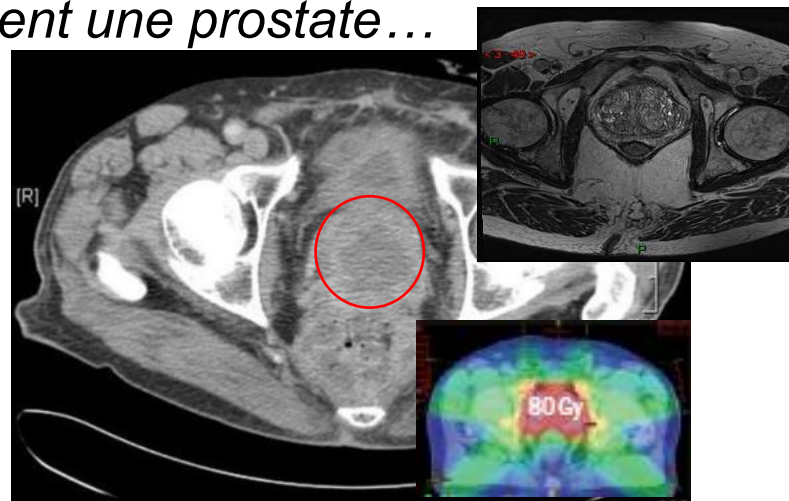
- **Préparation du traitement : l'imagerie**

- Radiothérapie = compromis

- « destruction » de la tumeur vs préservation des organes sains

- ➔ **Imagerie plus précise = meilleur ciblage de la tumeur**

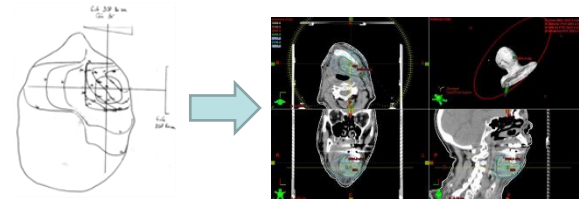
Exemple : Ces 2 images contiennent une prostate...



- ➔ Grâce à l'imagerie en coupes, **adaptation des faisceaux à la forme de la cible** (radiothérapie conformationnelle)

- ➔ Augmentation de la dose à la tumeur, diminution des toxicités

- **Traitement : logiciels et appareils**



- *Logiciels de planification (TPS) : algorithmes plus puissants*
 ➤ prise en compte de la nature des tissus et ➤ précision du calcul

- *Appareils de traitement :*
 - Collimateurs multi-lames
 - Irradiation « dynamique »
 - Robotisation
 - Machines spécifiques



- *Systèmes d'information de radiothérapie (ROIS, OIMS, SIRT...) :*
 - Pilotage des appareils : contrôle des paramètres
 - Suivi du déroulement du traitement et enregistrement des séances
 - Dossier médical, prescription, calendrier...
 - Support du workflow, transferts, communication entre professionnels...

➔ **Augmentation de la précision et de la sécurité des traitements**

- **Traitement : l'imagerie de contrôle**

- Objectif = vérification du positionnement du patient et de la géométrie des champs d'irradiation en salle de traitement

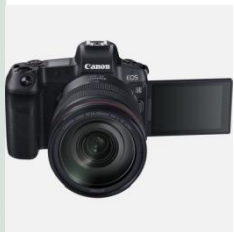
- ***De la méthode argentique...***



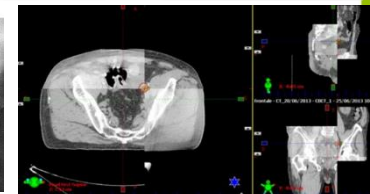
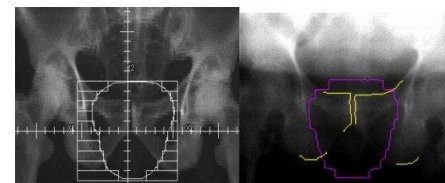
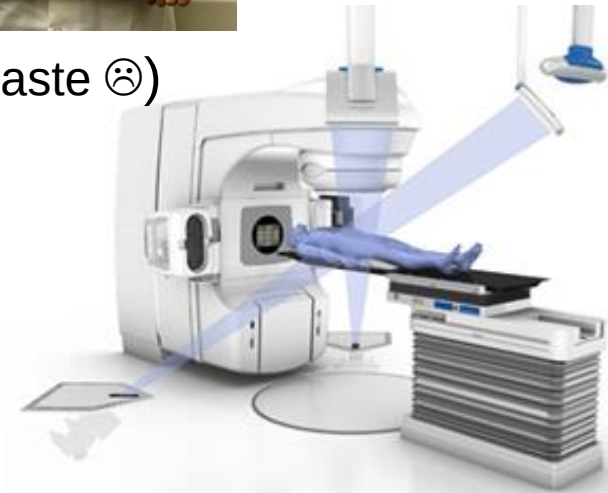
- Manipulation
- Développement chimique
- Lecture différée
- Faisceau de traitement (haute énergie, contraste ☹)



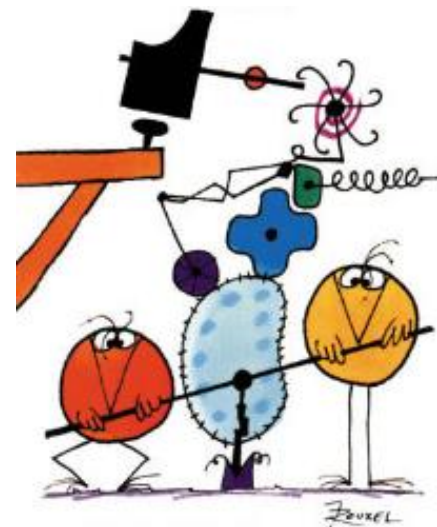
- ***A la méthode numérique :***



- « embarquée »/additionnelle
- Temps réel, comparaison directe avec la réf.
- Faisceau de traitement et d'imagerie
- Imagerie en coupes
- Meilleure visualisation
- Post-traitement des images
- Transferts aisés
- Nombre d'images +++



- Un rythme d'innovation soutenu, une complexité croissante et une perte de la maîtrise des fondamentaux... de nouveaux risques
 - **Rapidité d'innovation (médecine)** = 3 x (aviation), 5 x (industrie nucléaire)
 - ➔ Nouvelles technologies directement en clinique
 - ➔ Manque d'appropriation et de formation
 - ➔ Faux sentiment de sécurité
 - ➔ Appareils « clé en main »/intégrés : « boîte noire »
 - ➔ Complexification des modifications
 - ➔ Volume de données invérifiables par un humain
 - ➔ « **Dématérialisation du traitement** »
 - **Défaillance** matérielle/logicielle (rare)
 - **Paramétrage/entrée de données erronés**, mauvaise utilisation d'un système (fréquent)
 - Erreur au cours d'une préparation ➔ 1 patient x N séances
 - Erreur de paramétrage/utilisation machine ➔ **N patients x N séances**

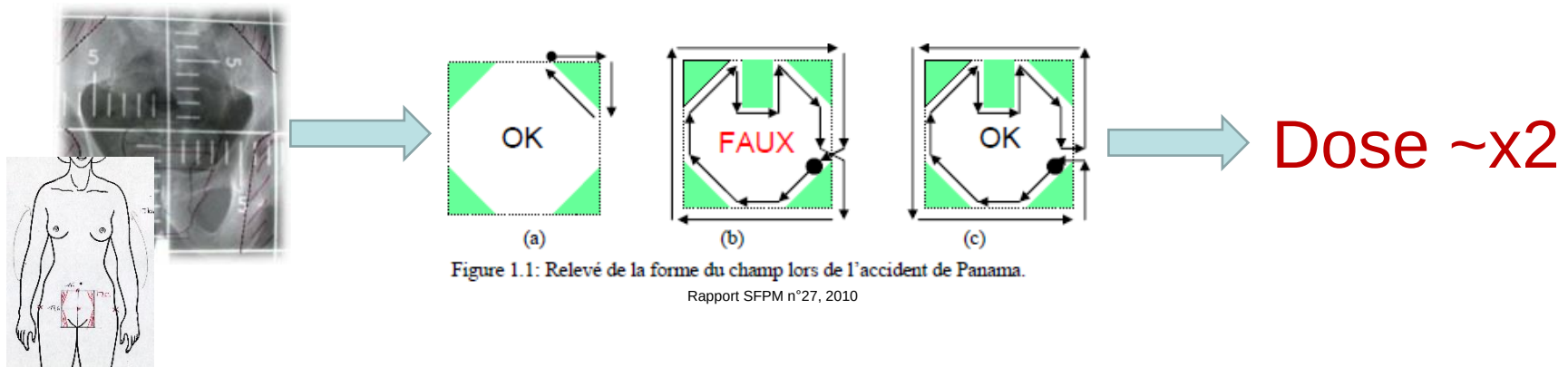




- **Les écueils de la numérisation en radiothérapie**

- Mauvaise utilisation d'un système

- Depuis 1980, la **plupart des accidents majeurs en radiothérapie** ont pour origine une **mauvaise utilisation de systèmes informatisés** (TPS, R&V...) : transfert de données, saisie, interprétation des fonctionnalités...
- Exemple : l'accident de Panama (2001), 28 patients, 8 décès



- Mais aussi, Staffordshire (1982-1991), Grenoble (2003), Glasgow (2006), Epinal (2006), Toulouse (2007)...

<https://www.iaea.org/file/2017/training-radiotherapy-accidalllectureszip>

- **Prise de conscience et évolutions de la radiothérapie**

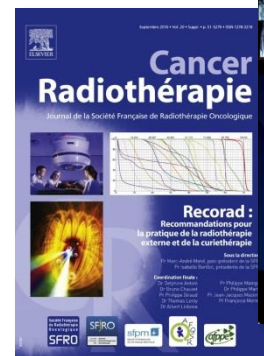
- 2003-2007 : Accidents graves en France

➔ Lancement de travaux d'ampleur visant à développer :

- Qualité et la sécurité des pratiques, assurance qualité
- Système de radiovigilance
- Ressources humaines, formation
- Sécurité des installations
- Relation avec les patients et les publics
- Inspections et contrôles
- Connaissance de la discipline

➔ Travaux portés majoritairement par l'ASN : réglementation, assurance qualité, analyse des risques, REX, groupe d'experts, inspections et contrôles...

➔ Implication forte des professionnels (sociétés savantes) : formation, harmonisation des pratiques...



• Dues à la radiothérapie elle-même

- Multiples étapes interdépendantes, nombreux intervenants
- Variabilité liée au patient, à sa pathologie
- Discipline très contrainte : plusieurs 10^{aines} de patients/j, 10 min en moy/patient, doses de rayonnement extrêmement élevées...
- Pression due à la nécessité d'assurer les soins
- Pression à l'activité, productivité, rentabilisation

➔ **Pratique en tension**

• Déploiement d'une politique qualité

- Démarche peu concrète pour les professionnels
- Difficulté à s'approprier les outils, à saisir la finalité

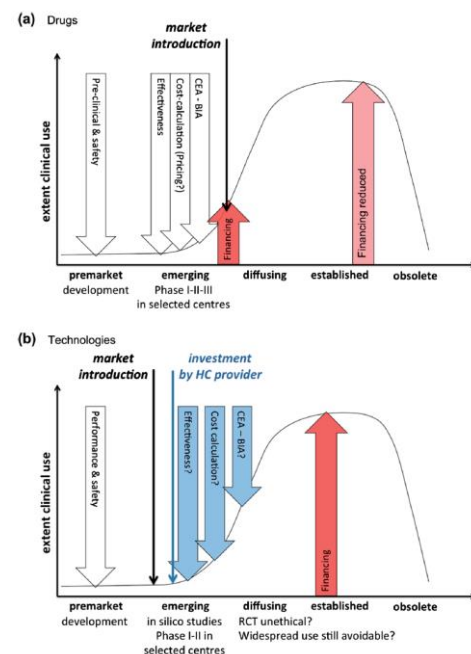
➔ **Plutôt subie par les professionnels**

• Anticipation des risques

- Evolutions technologiques très rapides
- Appareils pris en main en conditions réelles

➔ **Difficulté à se projeter dans ce qui pourrait mal se passer**

➔ **Importance du rôle du CANPRI**



Y. Lievens; Acta Oncologica 2015;54:1275-81

- **La radiothérapie est une discipline majeure de traitement du cancer**
 - **Plus d'un siècle après sa découverte, ses progrès ont été fulgurants ces 25 dernières années grâce à la numérisation :**
 - **Augmentation de l'efficacité thérapeutique** grâce à l'imagerie, au pilotage des appareils, aux logiciels de planification...
 - **Diminution des effets secondaires** et séquelles,
 - **Nouveaux outils** de contrôle des appareils, dispositifs de vérification et de suivi du traitement : imagerie embarquée, SI dédiés à la RT...
 - **Mais la numérisation a conduit à l'émergence de nouveaux risques**
 - Utilisation des dispositifs dans des conditions inadaptées
 - Répétition d'une erreur introduite dans un système informatisé
 - **Dans un contexte technologique très dynamique, face à des techniques plus agressives (hypofractionnement) et à une complexification et dématérialisation des outils**
- ➔ Formation, identification des risques en amont et capitalisation sur l'expérience constituent le défi permanent que doit relever la radiothérapie**



Merci pour votre attention