

*7e Conférence nationale pour vaincre le cancer
Coalition Priorité Cancer au Québec*

De la Station Spatiale à la Salle de Radiothérapie:
Dosimétrie MOSFET pour Astronautes et Patients

EVARM: From the Space Station to the Radiotherapy Room

Abdelbasset Hallil, Ph.D

Directeur de Recherche et Développement

9 Avril, 2015

Montréal, Québec

Best[®] medical canada

Plan Général

- **Qui est Best Medical Canada?**
- **Problématique des radiations et de la nécessité de leur mesure**
- **Principes de la dosimétrie par MOSFET et technologie**
- **Application des MOSFET en dosimétrie Spatiale et en Radiothérapie:**
 - Cas des missions d'Astronautes a la Station Spatiale Internationale (ISS)
 - Contrôle des radiations en radiothérapie :
 - Mesures in-vivo pour faisceaux externes haute énergie (AQ, fantômes, IMRT,..), radiothérapie intra-opérative (IORT), Curiethérapie (LDR et HDR)
- **Conclusion**

Qui est Best Medical Canada?

- Compagnie fondée en tant que **Thomson Nielsen** en 1984, et rejoint **Best Medical** en 2005. Basée à Ottawa, Ontario, Canada.
- **Domaines d'Activités:**
 - Recherche et Développement en dosimétrie pour applications cliniques et spatiales
 - Fabrication et production de systèmes de dosimétrie par MOSFET
 - Recherche Collaborative en R&D avec les universités, NRC-IRAP, CSA et les compagnies sœurs: CNMC, Best Medical International, Best Theratronics, Huestis, Best Cyclotrons, etc.
- **Marché Global** (Europe, Amérique, Australie, Asie, et Afrique)

Famille TeamBest: Best Theratronics, Systèmes de Radiothérapie Externe

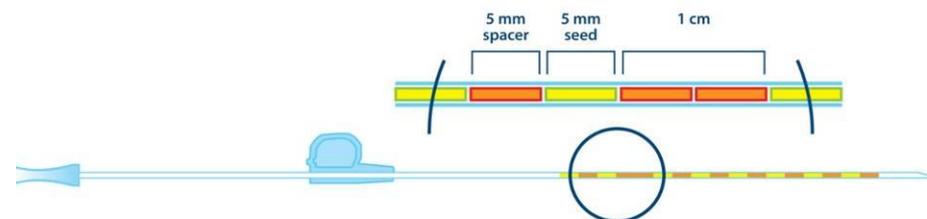


- Système de radiothérapie externe à base de radiations Gamma Co-60.
- Conçu et Fabriqué à Ottawa, Canada, depuis 1955.
- Très fiable et sécuritaire ayant traité des millions de patients dans le monde

Famille TeamBest: Best Medical International, USA

Systemes d'implants pour Curietherapie

Best® Iodine-125 Seed



- ▶ Totally sealed, self-healing antimicrobial keyboard with SensoFoil™ Technology
- ▶ Longitudinal array provides for 140 mm length of view, encompassing the bladder, prostate and perineum
- ▶ Simultaneous imaging of transverse and sagittal planes
- ▶ PC Based System provides a platform for future upgrades and application-specific modules

Advanced Keyboard Technology



Famille TeamBest: Best Cyclotron Systems

Cyclotrons pour la production d'isotopes



- Systèmes de cyclotrons de 15 a 70 MeV pour la production d'isotopes (F18,..) pour l'imagerie médicale PET scan et la recherche
- Systèmes compacts et peuvent suffire les besoins d'une ville
- Systèmes manufacturés à Ottawa, Canada

Problématique des Radiations Ionisantes

- Les radiations: **Utiles** ou **Nocives**?
 - **Nocives** par leur capacité à tuer des organismes vivants et à induire des mutations génétiques néfastes, à fortes doses.
 - **Utiles** par leur capacité à tuer les tumeurs cancéreuses et d'autres organismes indésirables, **à dose contrôlée**.
- => D'où **la nécessité de les mesurer** pour en tirer le meilleur avantage pour l'Homme lors des traitements du cancer ou pour sa protection en environnement hostile tel que l'espace.

Techniques de Mesure des Doses de Radiations



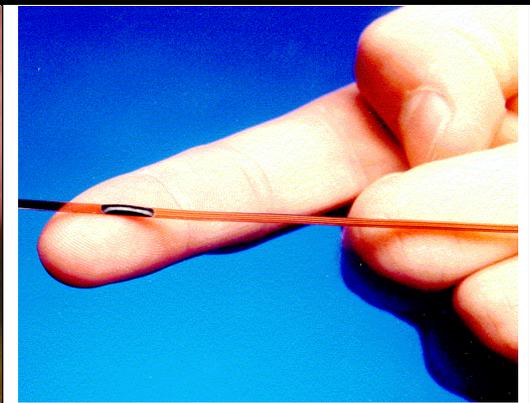
Chambre d'ionisation:

- Volumineuse
- Grand Voltage



Cristaux thermoluminescents (TLD), Optoluminescents (OSL):

- Compacts,
- Lecture différée.



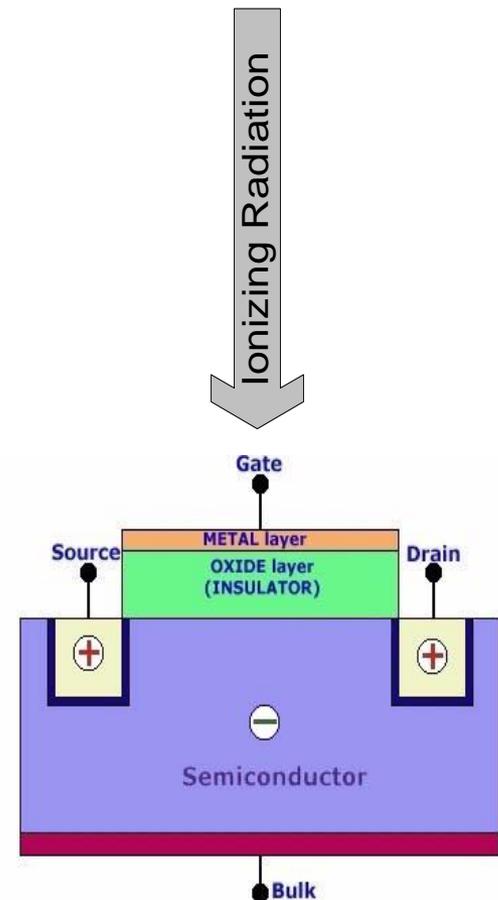
Détecteur électronique (transistor MOSFET):

- Très compact (1 mm)
- Mesure en temps réel.

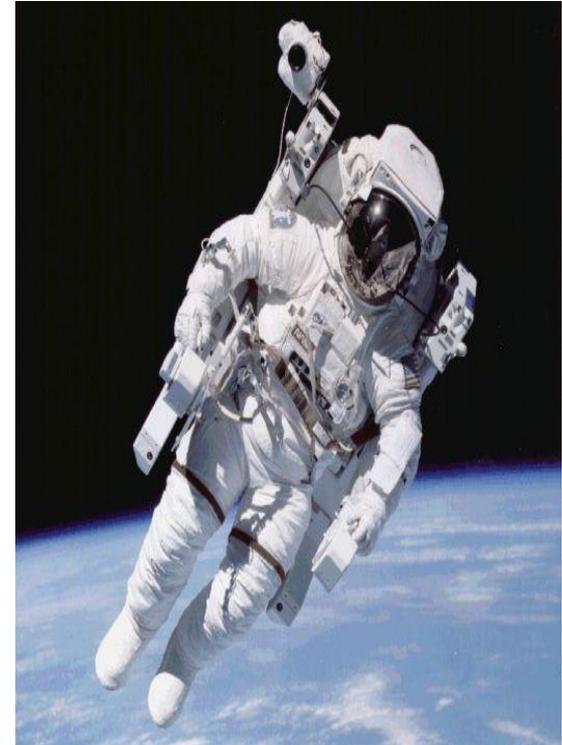
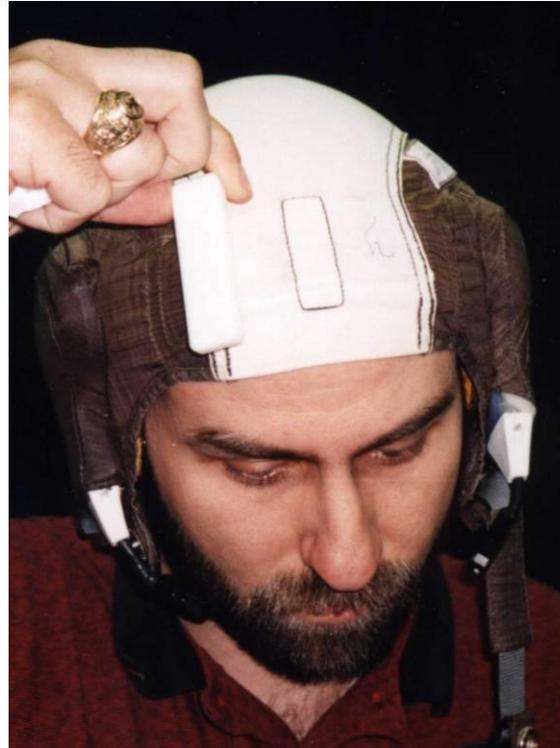
- Le MOSFET est un *transistor à effet de champ à structure métal-oxyde-semiconducteur* . C'est une puce de silicium.
- C'est un interrupteur électronique qui laisse passer le courant quand la tension appliquée à sa grille est supérieure à une Tension de Seuil.
- Tension de Seuil change avec la dose des radiations

Un Dosimètre MOSFET: Comment ça marche?

- Le détecteur est soumis aux radiations ionisantes qui affectent les propriétés physiques de la couche d'isolation.
- La Tension de Seuil d'allumage du MOSFET est mesurée avant et après l'irradiation.
- La différence de Tension de Seuil est proportionnelle à la quantité de radiation absorbée par le détecteur.
- Avantages:
 - Sensibilité à toutes les sources de radiations (Rayons X, Gamma, électrons,..)
 - Précision de l'ordre de 2 % et petite taille



Systeme MOSFET pour Astronautes: Activités Extra Véhiculaires (EVA) à l'ISS

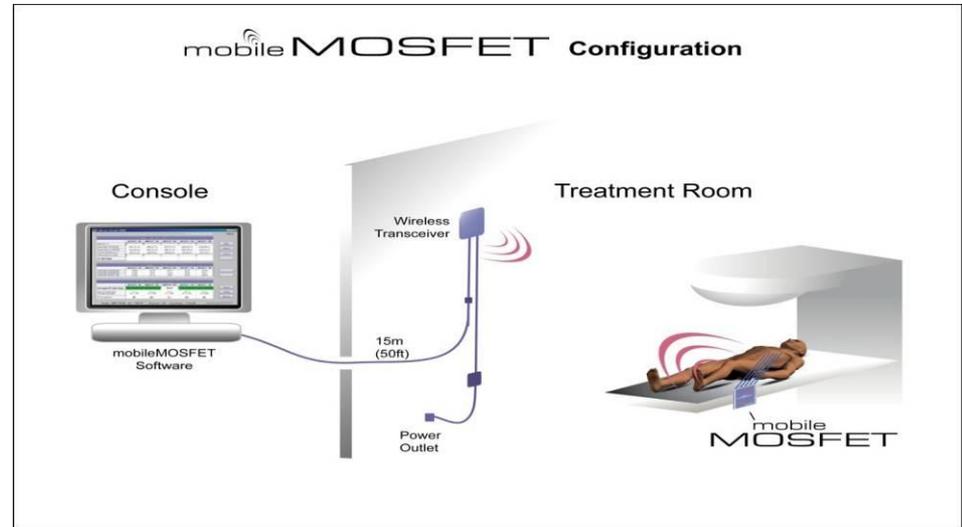


Avantages:

- Lecteur compact à l'intérieur de la station spatiale ISS.
 - Dosimètre et circuit adaptés pour attachement sur le corps.
 - Dose mesurée immédiatement après la rentrée dans la station spatiale
- => L'exposition de l'astronaute aux radiations est connue en temps réel.

A. Hallil, COSPAR-2008-BMC, IBMP-Russia and CSA- Canada

Systeme MOSFET pour Radiothérapie



Lecteur mobileMOSFET très compact:

- Technologie sans fil contrôlé en temps réel par PC
- Mesure et lecture de dose durant le traitement sans perturbations.

Détecteurs MOSFETs compacts (1 mm):

- Détecteur attaché sur la peau ou dans des cavités
- Vérification de dose du patient pour toutes techniques de radiothérapie (IMRT, IORT, TBI,...)



Applications des MOSFETs en dosimétrie spatiale et en radiothérapie

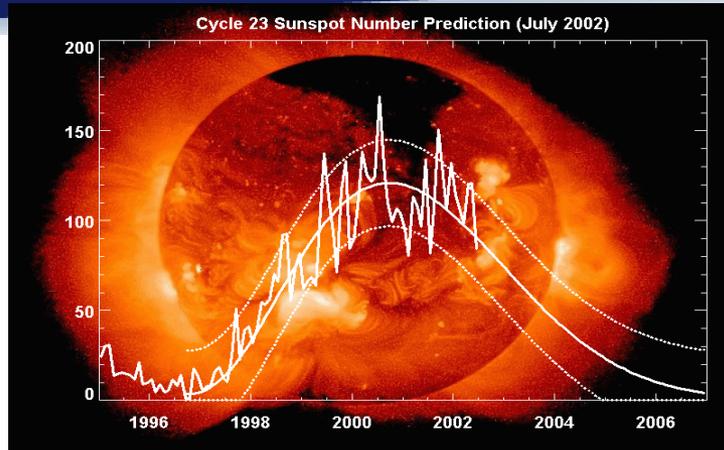
Protection des Astronautes

- Mesure des radiations lors des missions EVA à l'extérieur de l'ISS
- Mesure des radiations à l'intérieur de l'ISS pour de longs séjours

Vérifications et contrôle des traitements pour patients en radiothérapie

- Mesures in-vivo pour faisceaux externes haute énergie :
Dose à la surface ou à la cible (tumeur)
- Assurance qualité de modalités complexes (IMRT sur fantôme, in-vivo)
- Radiothérapie intra-opérative (IORT) et radio-chirurgie
- Contrôle de dose en irradiation totale du corps (TBI).
- Procédures de Curiethérapie (HDR et LDR).

Dosimétrie ds l'espace: Sources de Radiations



- **L'activité solaire (SPE):**

Produit le Vent solaire (ions et électrons éjectés du soleil). Tempêtes génèrent des radiations intenses => pannes de satellites et de courant sur terre.

- **Rayonnement à la ceinture Van Allen (ERB):**

Les particules solaires piégées dans le champ magnétique terrestre s'accumulent dans la ceinture de Van Allen et créent des zones de radiations intenses => aurores boréales

- **Le rayonnement cosmique (GCR):**

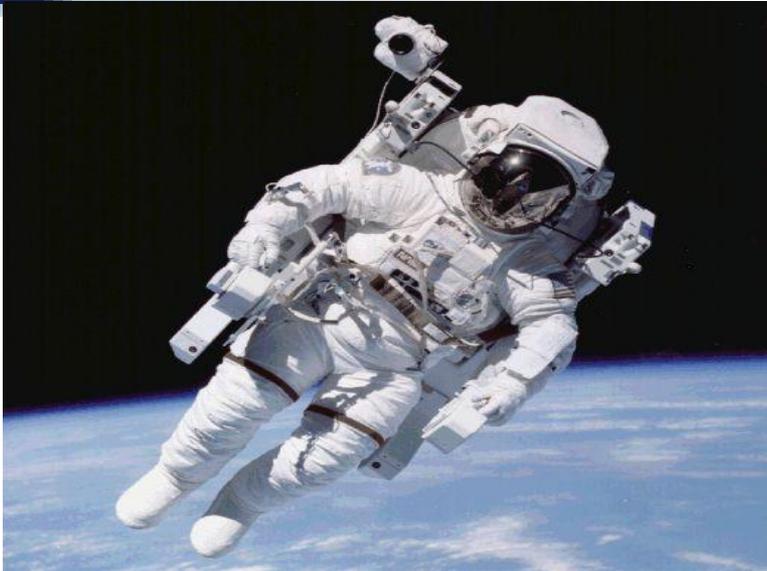
Flux de particules de haute énergie qui circulent dans le vide interstellaire et qui contribuent à la dose de radiation dans l'espace.

- Dose Totale: ~ 0.2 mSv/jour dans l'ISS (comparer à 0.002 mSv/jour sur Terre)~ 100 fois!

⇒ *Dosimétrie à la station spatiale est importante pour la sécurité des astronautes.
Deux missions: - EVARM et Matroshka -R MOSFET*

Dosimétrie ds l'espace: Projet EVARM

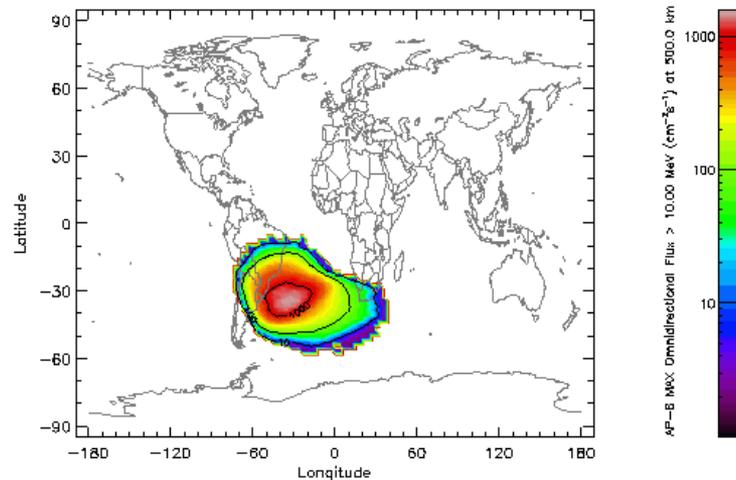
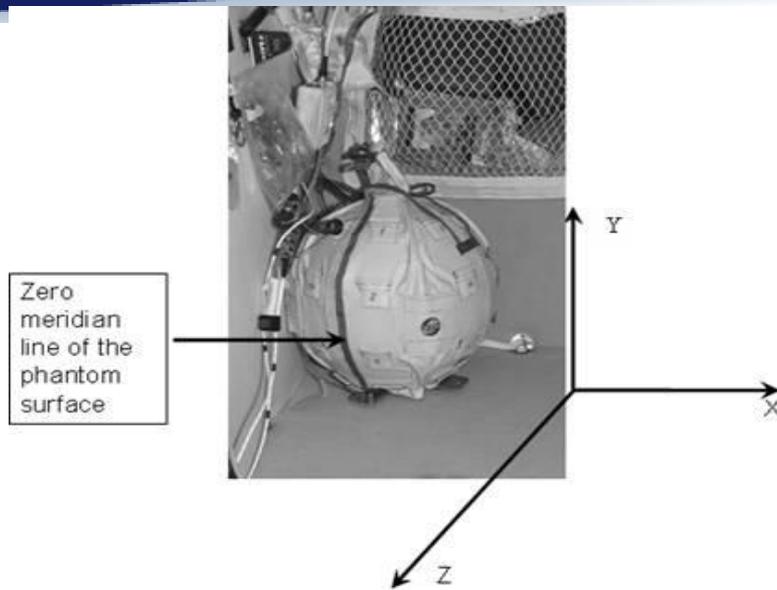
Doses aux organes durant les EVA



- Programme spatial de l'ASC (CSA) pour le suivi des astronautes durant la phase de construction de l'ISS.
- Mesures faites pour les missions STS 112 et 113 en Octobre/Novembre 2002 durant les sorties extravéhiculaires des astronautes (4 à 6 heures).
- Doses maximales mesurées lors des sorties:
 - Tête: 1.2 mGy
 - Torse: 2.4 mGy (Comparer à 0.2 mGy/jour dans l'ISS)

Dosimétrie ds l'espace: Projet Matroshka-R MOSFET

Dosimétrie à l'intérieur de l'ISS aux organes à risque



Anomalie Atlantique du Sud; Protons

- Programme spatial de l'ASC (CSA) avec IBMP-Russie pour le suivi des doses dans la station spatiale pour 2 ans: Missions ISS13 et 14. Détecteurs mis à différentes profondeurs du Fantôme.

Dose aux organes:

- Dose annuelle maximale à la moelle osseuse (BFO) est de 219mSv (43.7% de la limite 0.5 Sv).
 - Dose annuelle à la surface (yeux et peau) est de 328 mSv (16.4 % de la limite des yeux 2Sv, et 11 % de la limite à la peau 3Sv)
- => Doses mesurées sécuritaires pour un long séjour à l'ISS

Dosimétrie MOSFET ds l'espace: Conclusion et perspectives

- **La mission EVARM** a démontré que les Astronautes peuvent effectuer des sorties extravéhiculaires et recevoir des doses de radiation acceptables, en l'absence des tempêtes solaires. Le champs magnétique terrestre est un bouclier protecteur .
 - **La mission Matroshka** a prouvé qu'en 2 ans de séjour dans l'ISS les expositions aux radiations des astronautes sont acceptables pour leurs organes vitaux, malgré le passage dans des orbites radioactives (anomalie de l'atlantique sud). Les instruments embarqués de dosimétrie se sont avérés très utiles pour quantifier en temps réel les variations de radiations imprévisibles.
 - **Les irrptions solaires (SPE)** constituent un danger imprévisible pour les missions futures habitées vers Mars ou la Lune, à l'extérieur du champs magnétique terrestre. Il est donc important d'embarquer un système de dosimétrie durant les missions habitées et de protéger les astronautes en cas de tempête solaire:
Un défi majeur des futures missions!
- ⇒ *Le système de dosimétrie MOSFET permet une protection effective des astronautes contre les effets nocifs des radiations selon le principe ALARA, ce qui contribue à la sécurité des missions spatiales.*

Applications des MOSFETs en radiothérapie

Pourquoi vérifier la dose de radiations du patient?

- **Raisons Techniques:**

- S'assurer que la dose prescrite à la tumeur cible est délivrée
- S'assurer que la dose aux organes critiques est minimisée ou négligeable.
- Assurance Qualité des procédures et logiciels de planification des traitements (TPS).

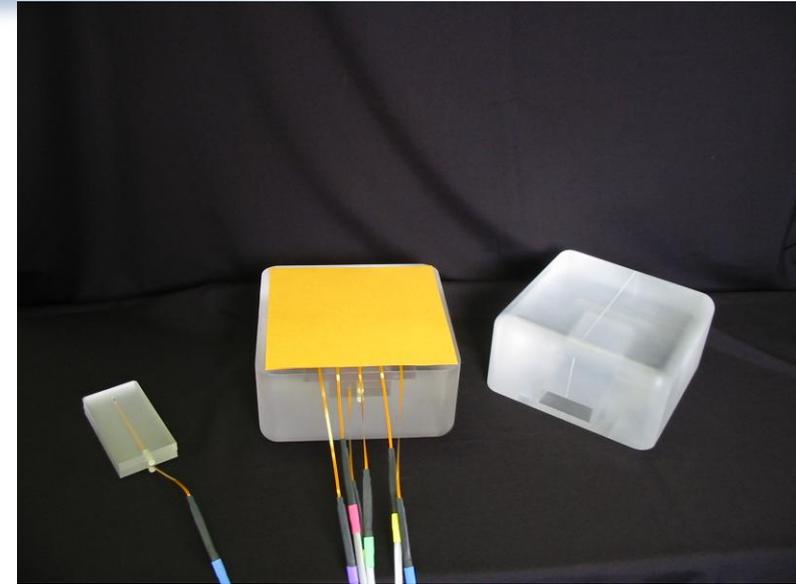
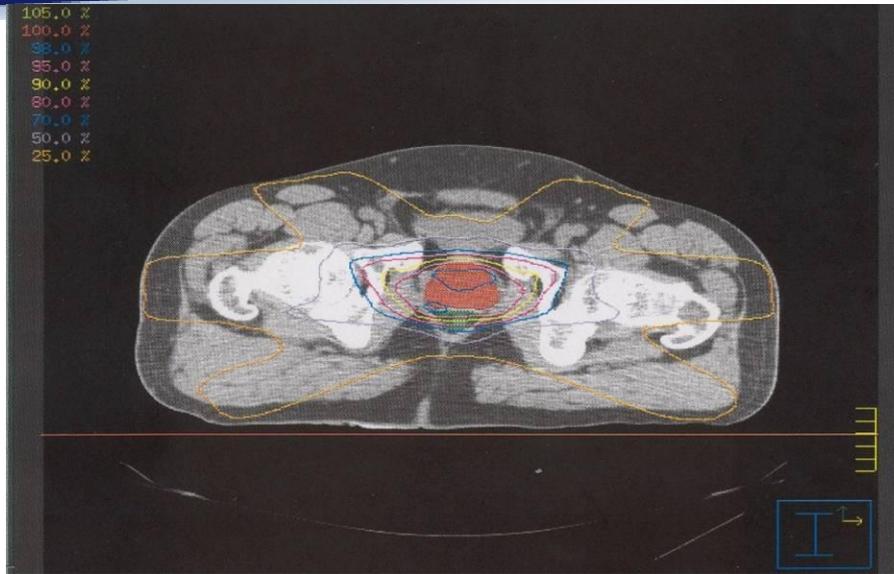
- **Raisons Administratives:**

- Avoir un fichier et un historique de la dose du patient

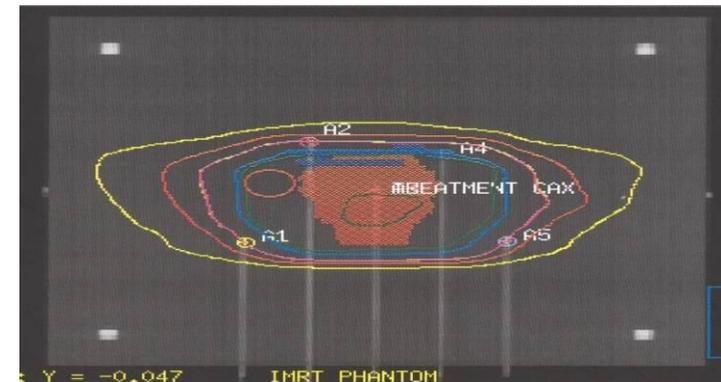
- **Raisons Légales:**

- Réduction de la responsabilité Légale

MOSFET en Radiothérapie: Assurance Qualité des Plans de Traitement (TPS) sur Fantômes



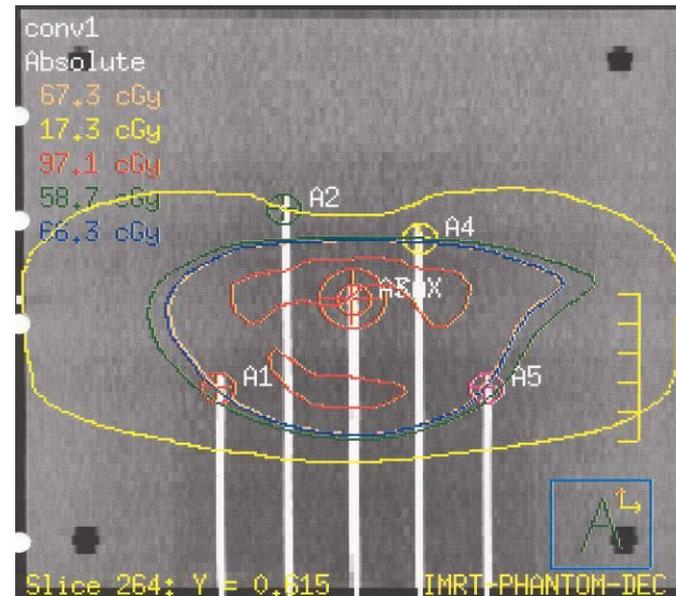
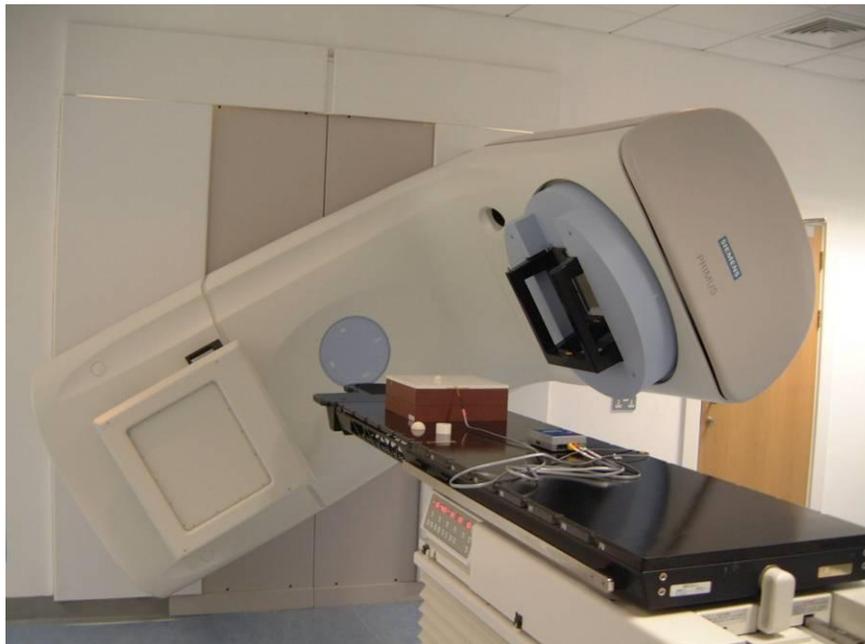
- 1- Plan de traitement (TPS) calculé pour la tumeur du patient, scanné par CT
- 2- Plan transposé sur un bloc en plastique (Fantôme), scanné aussi par CT
- 3- Traitement délivré sur le Fantôme et dose vérifiée par les MOSFETs et comparée à celle du TPS pour agrément



MOSFET en Radiothérapie: Assurance Qualité des Plans de Traitement (TPS)- Calcul des déviations

Detector	A1	A2	A3*	A4	A5	B1	B2	B3	B4
RTP-Dose (Estimate)	81.7	82.0	99.4	96.8	82.0	102.6	101.9	91.5	90.2
MOSFET Readings (Absolute Result)	81	82	97	99	82	102	102	94	93
Percent Deviation	-0.9%	0.0%	-2.4%	-2.3%	0.0%	-0.6%	0.0%	2.7%	3.1%

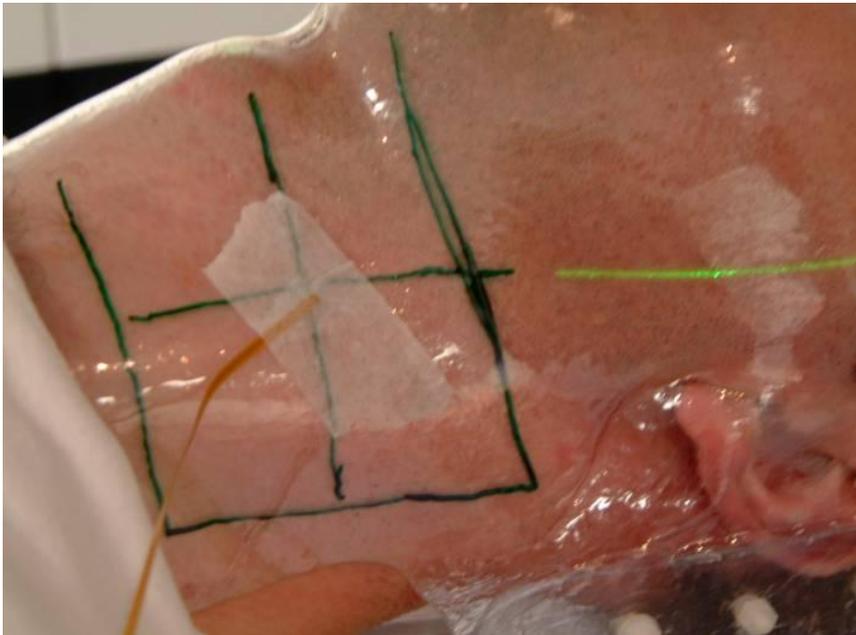
Evaluer les résultats en valeurs absolues et en déviations relatives (< 3 %)



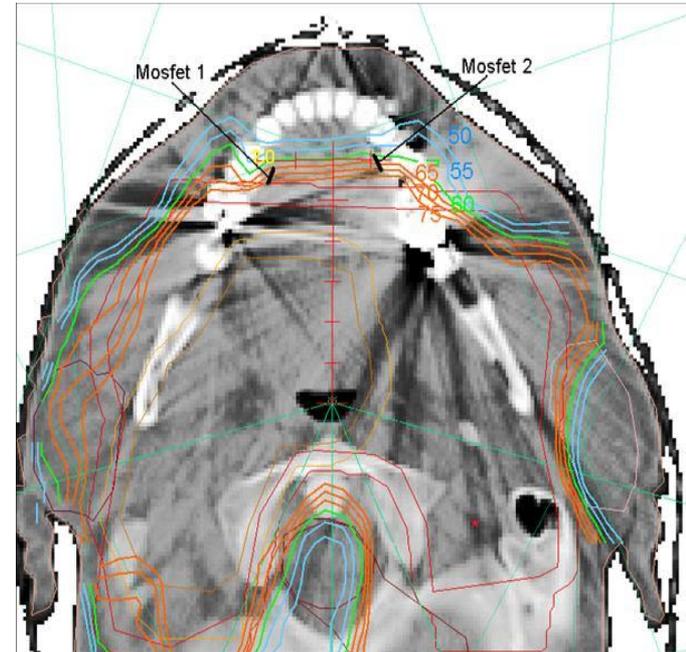
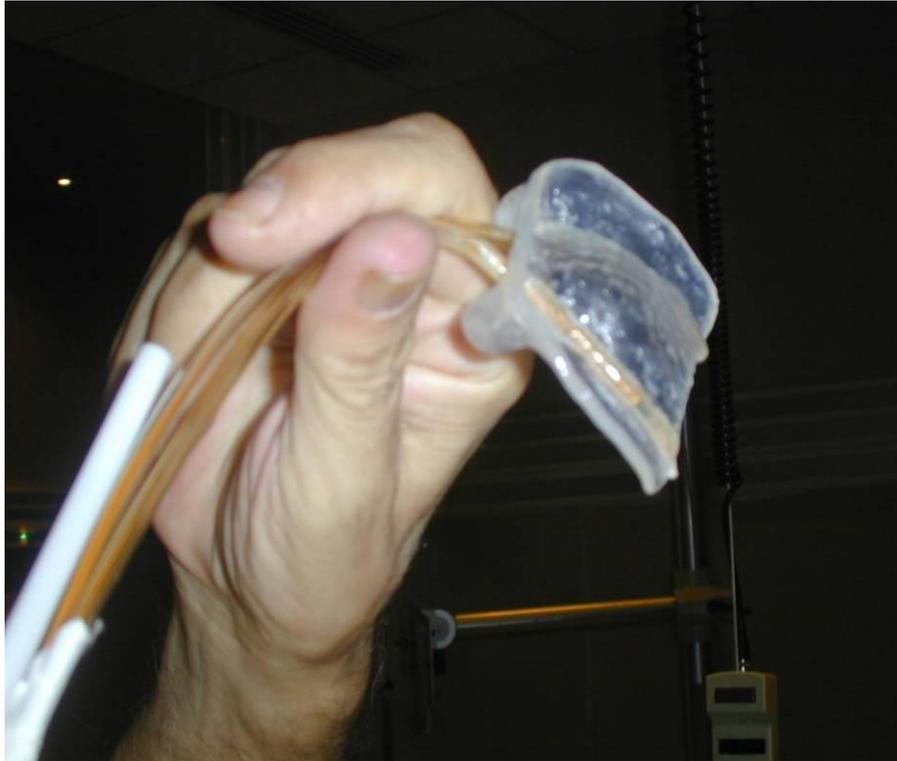
MOSFET en Radiothérapie: Dosimétrie in-vivo sur Patients

- Détecteur sur la peau:
=> Dose en surface

- Détecteur sous build-up:
=> Dose à la tumeur cible



MOSFET en Radiothérapie: Dosimétrie in-vivo pour organes à risque en IMRT de la Tête



Dosimètres MOSFET utilisés aux glandes salivaires où la dose doit être minimisée.

Courtesy de M. S. Marcié, Nice, France

MOSFET en Radiothérapie: Dosimétrie in-vivo pour irradiation totale du corps (TBI)



- Cas extrême de traitement par TBI de patients ayant une greffe de moelle ou des lymphomes complexes.
- Mesures de doses par MOSFET sur des faisceaux diffus à plusieurs endroits garantit l'uniformité du traitement



MOSFET en Radiothérapie: Dosimétrie in-vivo pour irradiation intra-opératoire (IORT)



- Chirurgie pour enlever la tumeur
- Irradiation du tissu environnant
- Mesure de dose par MOSFET et comparaison à la dose prescrite.



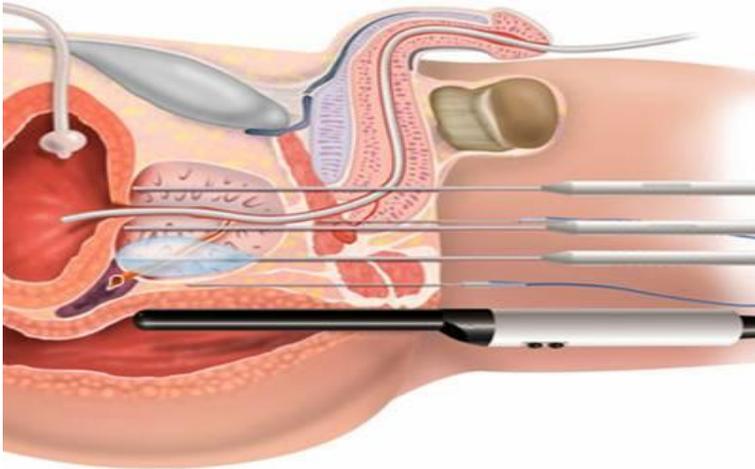
MOSFET dans un cathéter

Consortti, R. et al. U.O. Fisica Sanitaria, Rome, Italy

MOSFET en Radiothérapie: Dosimétrie et critères de vérification et de validation des traitements

- **La déviation entre la dose prescrite et celle mesurée dépend de:**
 - L'incertitude du dosimètre ($\pm 3\%$ pour le MOSFET)
 - Du Logiciel de calcul (TPS) et des algorithmes utilisés
 - Des inhomogénéités du tissu (Pas équivalent eau)
 - Du positionnement du patient: Immobilisation importante
 - De la machine de traitement.
- *Le rapport ICRU 50 spécifie que la dose mesurée pour un champ de traitement donné doit correspondre à $\pm 5\%$ de la dose prescrite.*

MOSFET en Radiothérapie: Cas de la Curiethérapie



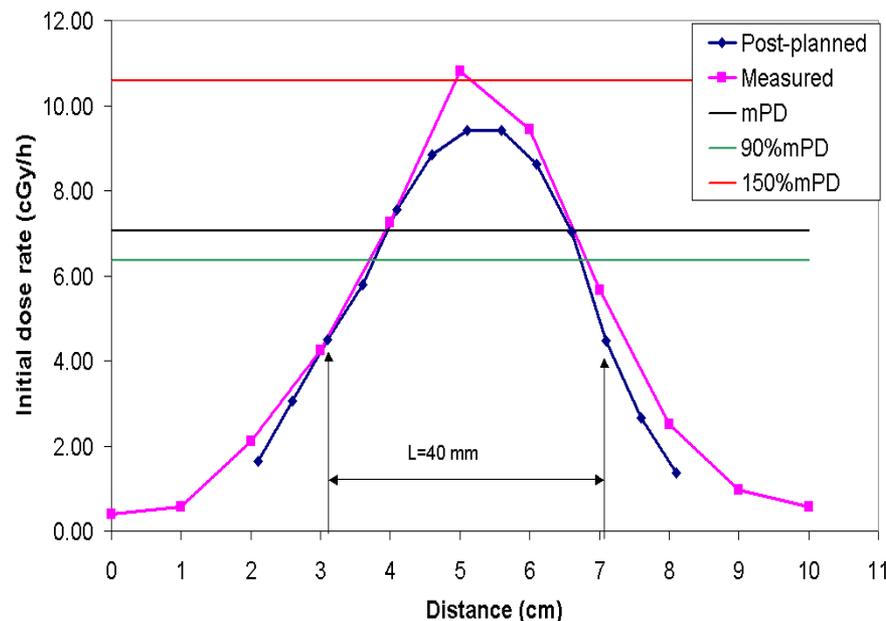
- Curiethérapie: Irradiation locale par fil (Ir192 HDR) ou grains (I125 LDR) radioactifs
- Procédure courte (1- 2 jours)
- Besoin de vérifier la dose à la prostate, et à l'urètre et la vessie, sensibles aux radiations

- Le MOSFET permet de mesurer la dose de radiation dans l'urètre par insertion dans le cathéter urinaire
- Permet une estimation immédiate de la dose à l'urètre et prévient les complications urinaires futures (Occlusion, incontinence, etc..)

MOSFET en Radiothérapie: Cas de la Curiethérapie



Localisation du MOSFET par scanner CT



Profil de dose à l'urètre

- Dosimétrie MOSFET permet des mesures en temps réel de dose au niveau de la base et de l'apex de la prostate et la dose aux organes à risque comme la vessie et l'urètre.
- Doses rapportées en HDR sont à 3% de la dose planifiée

Courtesy of A. Sadeghi, San Antonio, Texas, USA

Cyglér, J. et al. Ottawa Regional Cancer Centre, Ottawa, Canada

MOSFETs: Contribuent ils à une meilleure qualité de vie?

Les MOSFETs sont versatiles et utiles pour diverses applications:

En Radiothérapie:

Permettent de vérifier la dose de radiation reçue par le patient et s'assurer qu'elle est dans les limites permises pour les tumeurs et les organes à risque pour un meilleur traitement

=> Contribuent à une meilleure qualité du traitement pour patients

Missions habitées spatiales et dosimétrie pour astronautes (ISS):

Permettent une mesure en temps réel de dose des astronautes pendant leurs activités et de décider sur la planification de futures missions (Lune, Mars) selon l'environnement de radiations dans l'espace.

=> Contribuent à une protection des astronautes contre les radiations

=> meilleure qualité de vie pour les patients et les astronautes