



Radioprotection dans le domaine médical: la médecine nucléaire, problèmes actuels.

F. Corminboeuf¹

R. Lecoultre², N. Stritt³

¹Clinique & Polyclinique de médecine nucléaire, Inselspital, Bern.

²HECVSanté, Filière Technique en radiologie médicale, Lausanne.

³Office Fédéral de la Santé Publique, Service de Radioprotection, Bern.



Introduction.

- > Nouvelles techniques (PET/CT, SPECT/CT).
- > Nouveaux radiopharmaceutiques et radionuclides.
- > Thérapie et dosimétrie.
- > Y a-t-il une place pour la physique médicale en médecine nucléaire?



Le rôle des images tomographiques pour évaluer la maladie

	Anatomie <i>CT ou MR</i>		Moléculaire <i>PET ou SPECT</i>	
• <i>Y a-t-il une anomalie?</i>	✓	ou	✓	
• <i>Où est l'anomalie?</i>	✓		x	} PET/CT SPECT/CT PET/MR
• <i>Quelle est cette anomalie?</i> x			✓	
• <i>Qu'est qui change?</i>	✓	et	✓	



Avantages des systèmes hybrides

La **médecine nucléaire** permet une
représentation (des changements)

La **fonction** et l'**activité** cellulaire des organes

+

Les **systèmes radiologiques** décrivent (les
changements)

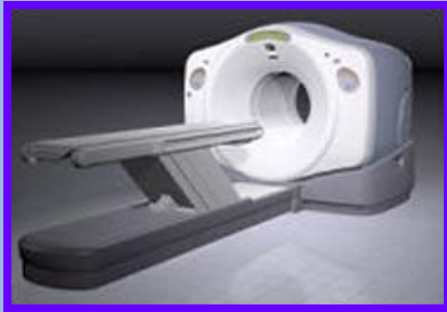
la **taille** et de la **forme** des organes

=

PET/CT resp. SPECT/CT



Designs des PET/CT



Discovery ST, STE

BGO

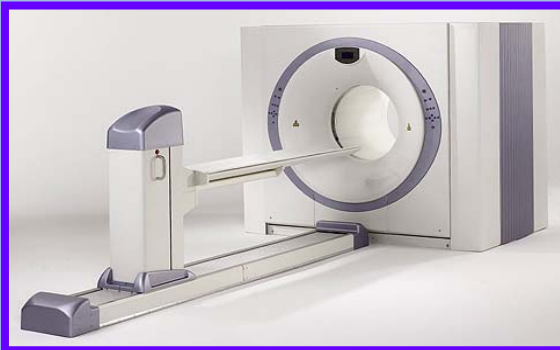
6.2 x 6.2 x 30 mm³
2D/3D (septa)
8, 16, 64 slice CT
70 cm port
dual-position bed



Gemini TF

LYSO

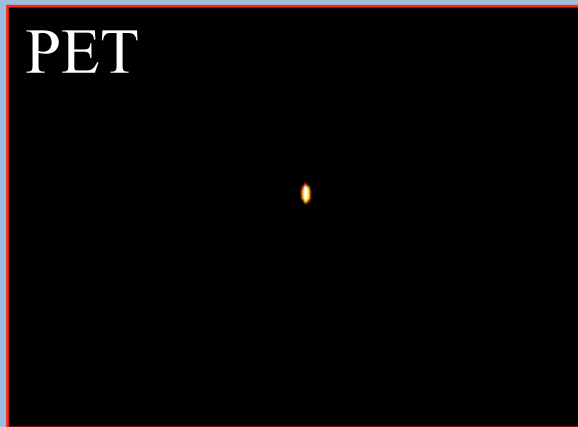
4 x 4 x 22 mm³
3D only (no septa)
6, 10, 16, 64 slice CT
70 cm port
585 ps coincidence
bed supported



biograph Hirez
6, 16, 64

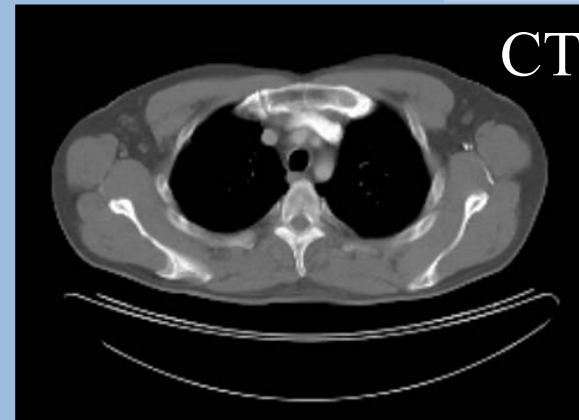
LSO

4 x 4 x 20 mm³
3D only (no septa)
8, 16, 64 slice CT
70 cm port
4.5 ns coincidence
bed on rails



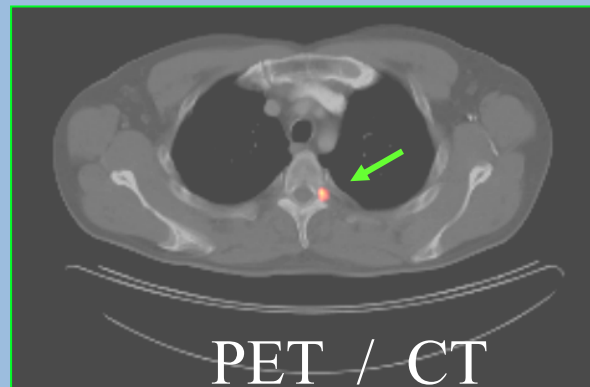
PET

Lésion?



CT

Pas de lésion



PET / CT

Tumeur sur D1

„Le PET/CT est plus
qu'un PET + un CT“
D. Townsend



Pourquoi un scanner PET/CT?

Propriétés

Avantages

Correction de l'absorption avec le CT

Durée de l'examen raccourci de 31%

Prise en charge des patients plus rapide

Réduction des coûts

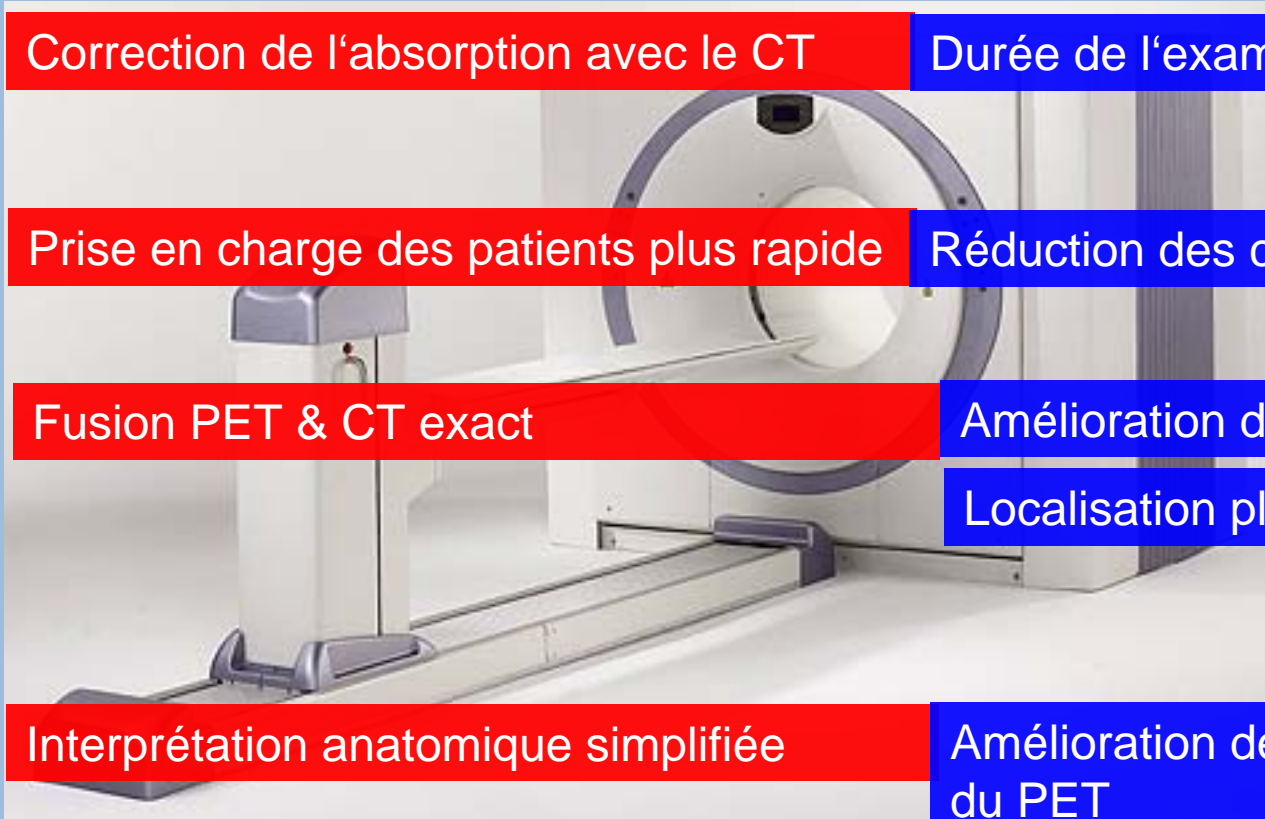
Fusion PET & CT exact

Amélioration de la détection.

Localisation plus précise.

Interprétation anatomique simplifiée

Amélioration de la compréhension
du PET





Usage typique d'un Biograph 16 Hirez

- > PET: 200-400 MBq FDG.
90 min uptake.
5-7 positions de lit.
3 min/lit (TOF 1min/lit)
exposition: 0.02 mSv/MBq * (4-8 mSv).

- > CT (Diag.): exposition: 14-20mSv **

- > CT (Low dose) exposition: 1.3-4.5 mSv **



Conséquences d'une augmentation du flux de patients

	Patient	Personnel	Infrastructure
+ patients		↗	↗
Zone d'attente pour les patients injectés		↗	↗
Plus grande activité dans la zone d'attente	↗	↗	↗
+ stock FDG		↗	↗
+ injections		↗	
Remplacement de CT transmission pour diag	↗		↗



Conséquences radioprotection.

- > Une augmentation du flux d'examens pour le PET/CT entraîne principalement
 - Une augmentation de la dose au personnel. (actuellement pour 7-10 examens/jour → 0.7-1.0 mSv/mois)
 - Une augmentation de l'infrastructure.

Ceci implique une bonne connaissance de la radioprotection afin d'optimiser et de diminuer la dose reçu par le personnel.

- > L'exploitation des CT à des fins diagnostiques ne peut être effectués que par un radiologue → présence d'un radiologue dans le service de médecine nucléaire.



Designs actuels des SPECT/CT.



Hawkeye

Infinia SPECT camera
X-ray tube: 140 kV; 2.5 mA
power: 350 watt
20 s per slice; 1 cm width
2.5 mm in-plane CT resolution



Precedence

Skylight SPECT camera
Brilliance CT scanner
6, 10, 16, 64-slice MDCT
< 1mm CT resolution



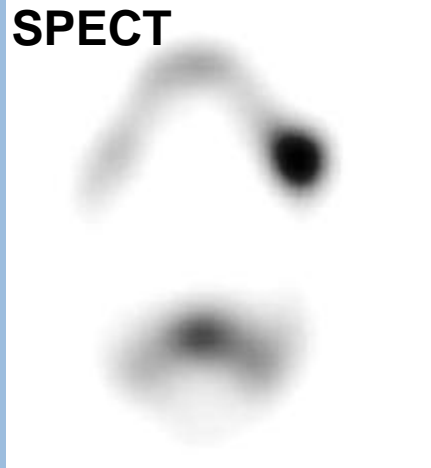
Symbia

e.Cam SPECT camera
1, 2, 6 slice MDCT
0.8 s rotation
< 1 mm CT resolution

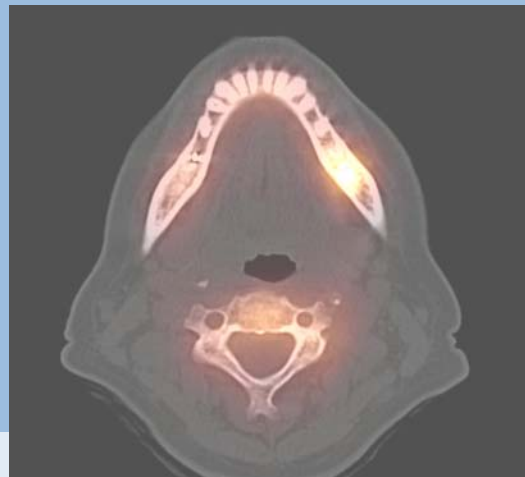
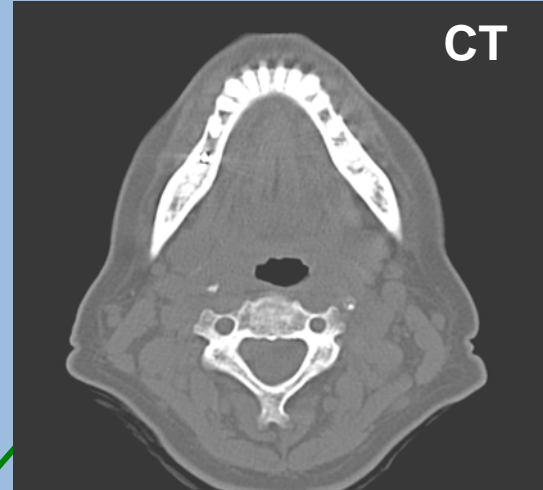


Exemple de SPECT/CT.

SPECT

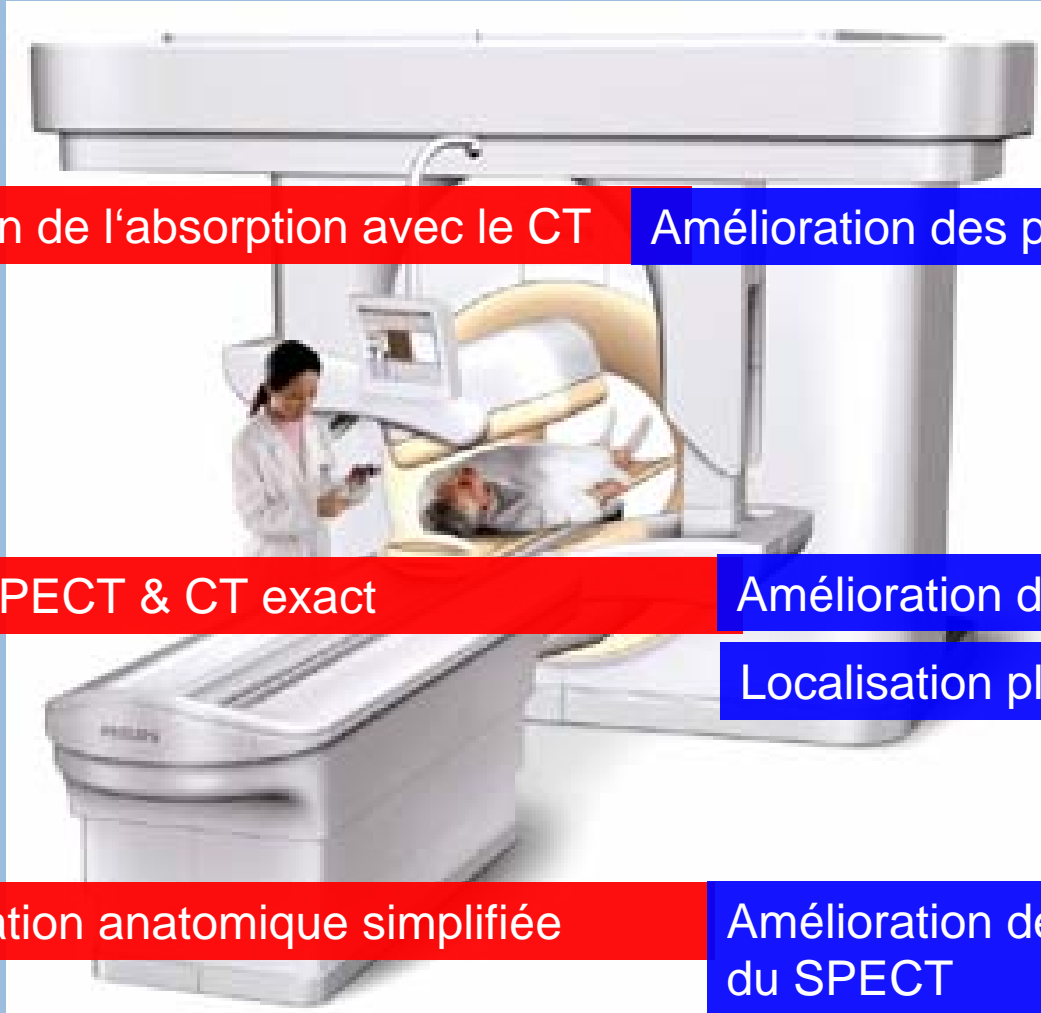


CT





Pourquoi un scanner SPECT/CT



Correction de l'absorption avec le CT

Amélioration des performances du SPECT

Fusion SPECT & CT exact

Amélioration de la détection.

Localisation plus précise.

Interprétation anatomique simplifiée

Amélioration de la compréhension
du SPECT



Usage typique du Précédence (CT 6 coupes).

- > SPECT: Exposition dépend de l'examen de 0.3 à 15 mSv.
- > CT (Diag.): exposition: 6.8-8.0 mSv **
- > CT (Low dose) exposition: 3.7-7.0 mSv **



Conséquences radioprotection.

- > Le SPECT/CT entraîne principalement
 - Une augmentation de l'infrastructure (CT).
 - Une augmentation de la dose au patient.

- > Comme pour le PET/CT, l'exploitation du CT à des fins diagnostiques ne peut être effectués que par un radiologue → présence d'un radiologue dans le service de médecine nucléaire.

- L'avenir de la médecine nucléaire implique une collaboration accrue entre le radiologue et le médecin nucléaire.



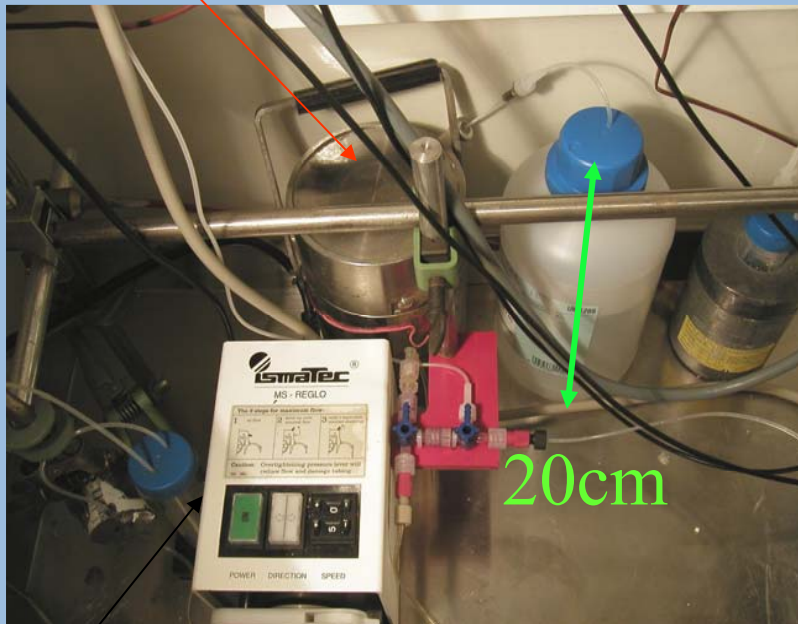
Principaux émetteurs positrons.

Radionuclide	Temps de demi-vie (T1/2)	Energie max. Positron (MeV)	Portée du positron (mm)	Production
11C	20.3min	0.96	1.1	Cyclotron
13N	10min	1.19	1.4	Cyclotron
15O	2min	1.70	1.5	Cyclotron
18F	110min	0.64	1.0	Cyclotron
68Ga	68min	1.89	1.7	Générateur
82Rb	1.3min	3.15	1.7	Générateur



Cyclotron

Generateur



Pompe





Problèmes de radioprotection.

- > La production avec un cyclotron implique
 - une infrastructure importante (laboratoire chaud, chambre blindée etc..).
 - L'engagement de radio-chimiste et de physiciens.

- > La production avec un générateur implique
 - Une formation du personnel pour assurer une dose minimale.
 - Le développement ou l'utilisation de module automatique de „labeling“.



Thérapie et dosimétrie.

- > Il existe actuellement plusieurs types de thérapies
 - Radio-immune p.ex. Zevalin marquée avec ^{111}In (jusqu'à 1.2 GBq).
 - Radiopeptides avec ^{177}Lu , ^{67}Ga .

- > Chacunes de ces thérapies nécessitent en principe une dosimétrie avant l'injection de la dose thérapeutique.

- > Les options pour la dosimétrie sont :
 - Pas de dosimétrie. (commun).
 - Une mauvaise dosimétrie. („état de l'art“).
 - Une bonne dosimétrie. (parfois observée).
 - Une excellente dosimétrie. (encore un sujet de recherche).



Modèle pour la dosimétrie.

- > Plusieurs méthodes ou modèles à disposition.
- > Basé sur MIRD → OLINDA/EXM (Stabin et al., Vanderbilt University)
- > Basé sur Monte-Carlo → pas encore de programme standard.



Principe MIRD : dose absorbée.

$$D = A_0 * S_{t \leftarrow S} * \tau$$

A_0 : activité appliquée [Bq].

$S_{t \leftarrow S}$: Dose moyenne par activité accumulée [Gy/Bq*s]

τ : temps de résidence [s]



Principe MIRD : dose absorbée.

> Le temps de résidence est

$$\tau = \frac{\tilde{A}}{A_0}$$

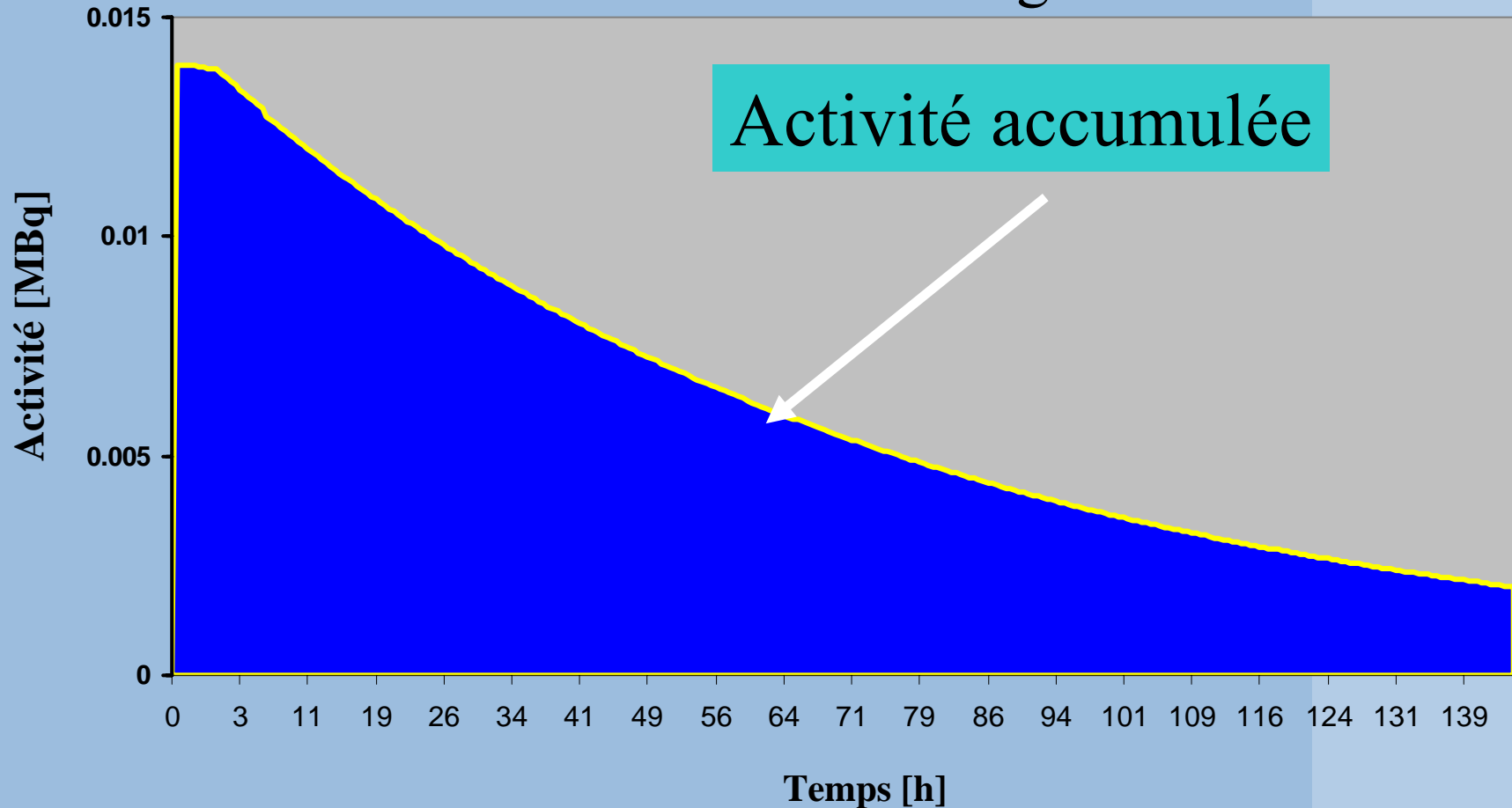
A_0 : activité appliquée [Bq].

\tilde{A} : activité accumulée dans l'organe [Bq * s]



Principe MIRD : dose absorbée.

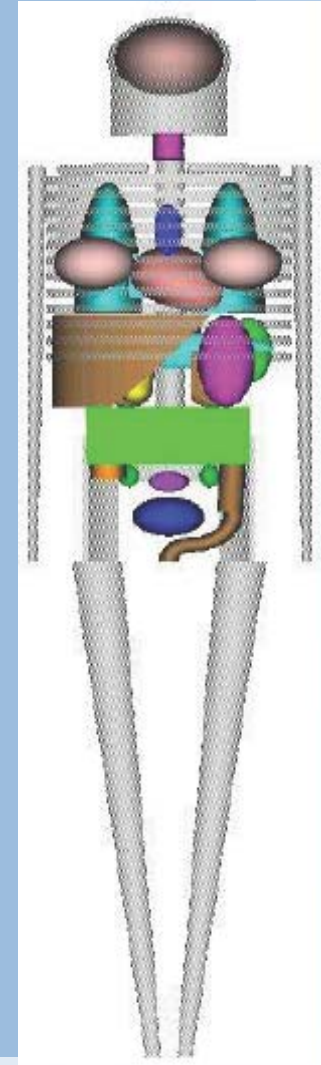
Activité accumulée dans l'organe cible.





Limitations

- > La détermination des valeurs S est basée sur un modèle standard d'anatomie humaine (pour émetteur $\beta \sim 1/\text{mass}$).





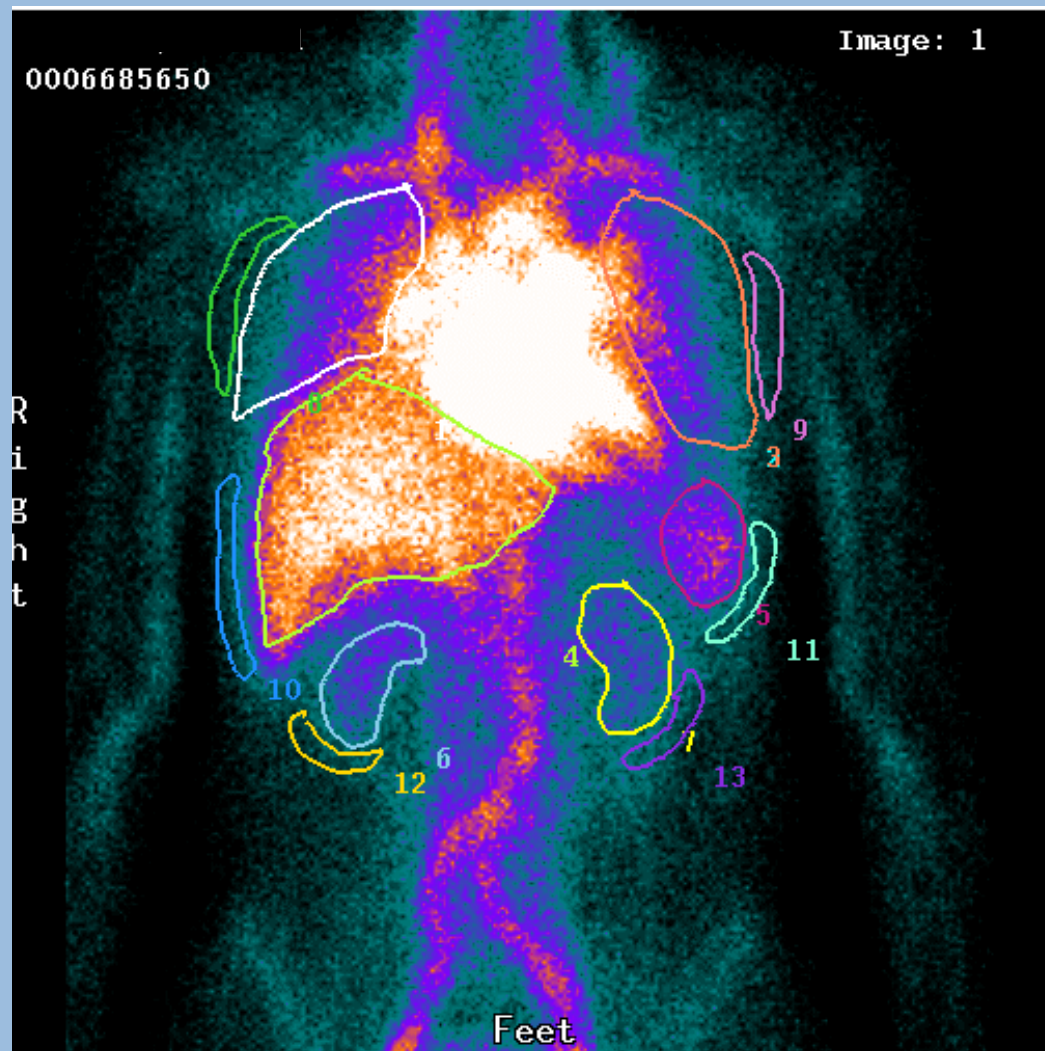
Limitations

- > Modèle standard (pas spécifique au patient)
 - Taille et forme des organes sont standards.
- > Dose moyenne aux organes (pas de distribution de dose).
- > Distribution uniforme de l'activité dans chaque organe
→ erreur significative pour des radiations du type électrons Auger.
- > Dépôt d'énergie uniforme dans l'organe.

Ce modèle est-il suffisant pour les thérapies?



Exemple des régions d'intérêts pour une thérapie au Zevalin.





Simulations Monte-Carlo.

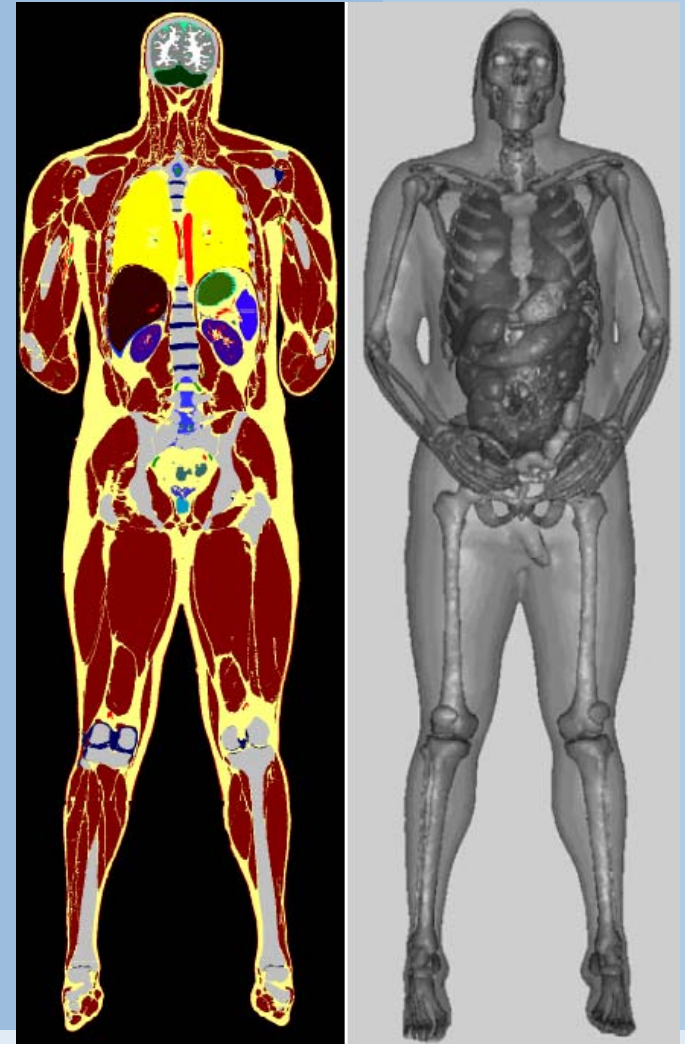
- > Détermination des distributions de dose spécifique pour chaque patient.
 - CT pour l'anatomie (volume, position)
 - SPECT ou PET pour la distribution de l'activité dans l'organe.

- > Détermination des distributions pour des fantômes voxélisés.
 - Possibilité de varier la taille des organes et la géométrie, l'inhomogénéité et la distribution d'activité.
 - Calcul des nouveaux facteurs S.



Exemple de fantôme voxélisé : VIP-Man.

- > Visible Human Project.
- > 2048 x 1216 x 1870 voxels
- > 1 mm extension
- > 1400 regions





Avantages et désavantages des simulations Monte-Carlo.

- > Calcul des doses absorbées plus fiable.
- > Calcul de dose spécifique pour chaque patient.
- > Distributions de doses plus précises pour des régions définies.
- > Dosimétrie de la tumeur.



Avantages et désavantages des simulations Monte-Carlo.

- > Temps de calcul (CPU) importants.
- > Connaissances des processus physiques et mathématiques.
- > Réservé encore pour des instituts universitaires.



Rôle du physicien médical en médecine nucléaire.

Le travail du physicien médical

- > Radioprotection
- > Dosimétrie
- > Contrôle qualité (Gamma-caméra + PET/CT)
- > Recherche & Développement



Le travail du physicien médical : Radioprotection

- > Le physicien médical garanti un emploi adéquat des substances radioactives, ainsi que des techniques d'assurance qualité optimal ceci inclus la protection de l'environnement contre les radiations et la dosimétrie du personnel.
- > Il assure un suivi et la mise en place des nouvelles directives de l'OFSP et de METAS pour le contrôle qualité.
- > Intervention en cas de contamination radioactive dans le service



Le travail du physicien médical : Dosimetrie

- > L'introduction de méthode moderne de dosimétrie en médecine nucléaire implique une connaissance accrue des phénomènes physiques et physiologiques. Ces connaissances peuvent être apportées par le physicien médical.
- > La dosimétrie en médecine nucléaire demande beaucoup de temps.
- > Travail de collaboration entre médecins, TRM et physicien médical.



Le travail du physicien médical: Contrôle de qualité

- > Depuis 2005, l'OFSP et METAS ont émis de nouvelles directives qui imposent des contrôles réguliers des caméras et des instruments de radioprotection ainsi que des activimètres.
- > Le physicien médical s'assure que ces contrôles sont effectués correctement et conformément aux directives.
- > Le physicien médical supervise avec l'aide des TRM que ces valeurs restent correctes.
- > Au cas où ces valeurs ne sont pas correctes, il prend les mesures nécessaires (calibration, réparation par un technicien spécialisé).
- > La présence d'un physicien médical permet une indépendance des services vis-à-vis des constructeurs.



Le travail du physicien médical : Recherche & Développement

- > De part sa formation, le physicien médical peut soutenir les médecins dans leur projet de recherche.
- > Il peut également approfondir les connaissances des phénomènes physiques des médecins et des TRMs.
- > Il peut aussi développer ces propres projets p.ex. Développement de nouvelles techniques de mesures, de nouvelles méthodes pour la dosimétrie, de programme (algorithme de reconstruction).



Conclusions.

- > L'introduction de machines multimodales (SPECT/CT et PET/CT), ainsi que la répétition de certains examens entraînent une augmentation de la dose aux patients.
- > Comment gérer la lecture des images CT produites par la médecine nucléaire ?
- > La production de nouveaux nuclides pour le PET (cyclotron ou générateur) exigent des connaissances de radioprotection et de radio-chimie.



Conclusions

- > L'introduction de nouvelles thérapies exigent des méthodes dosimétriques spécifiques pour chaque patients.
- > La manipulation (par ex. Marquage Zevalin) augmente le risque pour le personnel → nécessité d'une bonne formation.
- > Pourquoi n'y a-t-il pas d'exigences de la part des autorités quant à la dosimétrie ?
- > Quand est-ce que les firmes fourniront des programmes permettant d'effectuer des dosimétries (type TPS en RTH)?



Conclusions

- > Nouvelle ordonnance sur la radioprotection exige un rapport régulier des services de médecine nucléaire avec un physicien médical.
 - Est-ce suffisant pour les grands services (Hôpital cantonal ou universitaire) ?
 - Comment l'OFSP va pouvoir contrôler que tous les services (privés et hospitaliers) ont accès à un physicien médical ?