

Impact des nouvelles techniques d'imagerie médicale sur l'exposition des patients et des travailleurs

Bernard AUBERT
Unité d'expertise en radioprotection médicale
DRPH/SER

Angers le 18 juin 2009

Historique des techniques d'imagerie

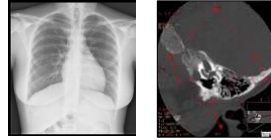


- 1895 Découverte des rayons X
- 1950's US - Première caméra à scintillations
- 1960's Intensificateur d'images
- 1970's Scanner à rayons X
- 1980's IRM - Radiologie numérique
- 2000's Imagerie moléculaire - MDCT



Différents types d'imagerie

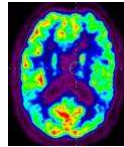
- Imagerie morphologique :
RX, CT, IRM, US



- Imagerie fonctionnelle : MN, TEP mais aussi IRM, US

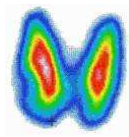


- Imagerie moléculaire :
TEP, MN mais aussi IRM



Différents types d'imagerie

- Imagerie planaire



MN



RX

- Imagerie en coupe (2D)



US



IRM

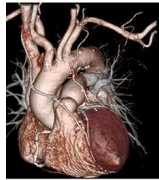


CT

Différents types d'imagerie

Imagerie 3D

CT

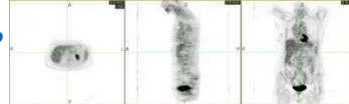


Imagerie multimodalités

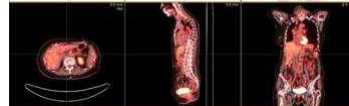
CT



TEP



CT + TEP



Evolution des techniques et des pratiques en imagerie

- Evolution des techniques existantes
 - ✓ Détecteurs numériques, Scanner multi détecteurs...
- Apparition de nouvelles techniques
 - ✓ Scanner, IRM, TEP...
- Nouveaux protocoles
 - ✓ Imagerie cardiaque...
- Nouvelles applications
 - ✓ Radiologie interventionnelle, imagerie multimodalités, imagerie de contrôle en radiothérapie...
- Transfert de technologie
 - ✓ MN → US, CT → IRM...

Quel impact de ces évolutions sur l'exposition :

- des patients,
- de la population,
- des travailleurs ?

Sommaire

1. Evolutions en radiologie
 - 1.1 Radiologie numérique
 - 1.2 Système EOS
 2. Evolutions en radiologie interventionnelle
 3. Evolutions en scanographie
 - 3.1 Scanner multi barrettes
 - 3.2 Scanners dédiés
 - 3.3 Scanner et médecine nucléaire
 4. Evolutions en médecine nucléaire
 5. Evolutions en imagerie de contrôle en radiothérapie
- Conclusion

Sommaire

1. Evolutions en radiologie

1.1 Radiologie numérique

1.2 Système EOS

2. Evolutions en radiologie interventionnelle

3. Evolutions en scanographie

3.1 Scanner multi barrettes

3.2 Scanners dédiés

3.3 Scanner et médecine nucléaire

4. Evolutions en médecine nucléaire

5. Evolutions en imagerie de contrôle en radiothérapie

Conclusion

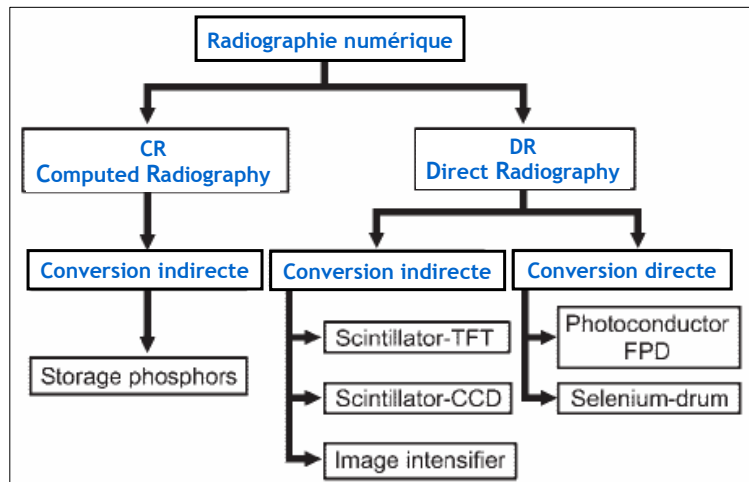
Evolutions en radiologie

Chronologie de l'évolution de la radiologie numérique

Année	Evolution
1980	1 ^{er} système d'imagerie de radiographie numérique (CR) par écran au phosphore
1990	1 ^{er} système de radiographie directe (DR) par balayage avec CCD
1994	Radiographie directe avec tambour au sélénium
1995	Détecteurs plan au silicium amorphe et au sélénium amorphe
1997	Détecteur plan avec scintillateur au gadolinium
2001	Détecteur plan portable avec scintillateur au gadolinium
2001	Détecteur plan dynamique pour radioscopie numérique et angiographie

D'après M. Körner et al. Radiographics 2007; 27:675-686.

Différents détecteurs utilisés en radiologie numérique



D'après M. Körner et al. Radiographics 2007; 27:675-686.

Systèmes photostimulables

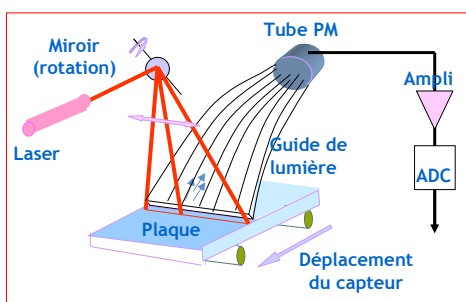


Schéma du principe de lecture des plaques photostimulables

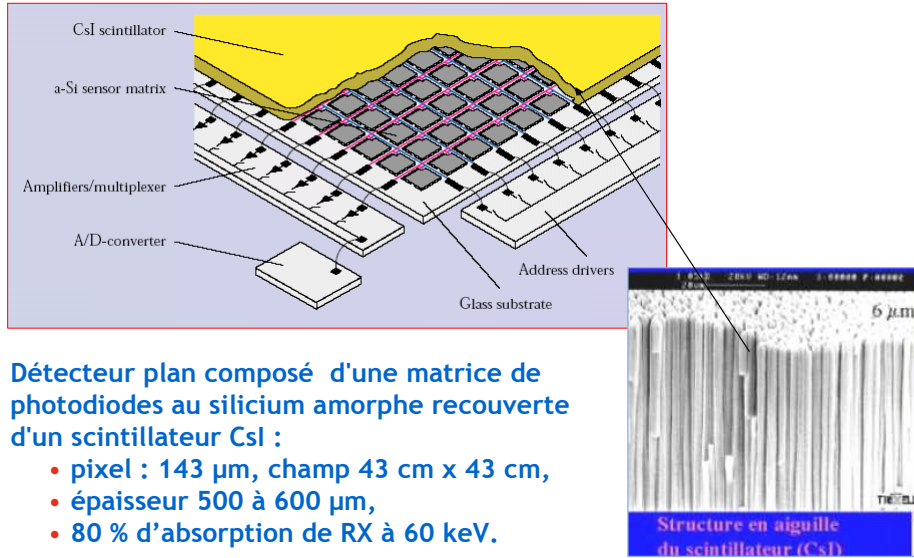


Systeme de lecture de cassettes



Systeme de lecture intégré

Détecteurs à conversion indirecte



Détecteur plan composé d'une matrice de photodiodes au silicium amorphe recouverte d'un scintillateur CsI :

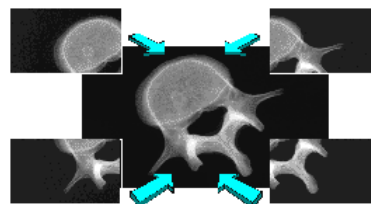
- pixel : 143 µm, champ 43 cm x 43 cm,
- épaisseur 500 à 600 µm,
- 80 % d'absorption de RX à 60 keV.

Détecteurs à conversion indirecte

Scintillateur + capteurs CCD

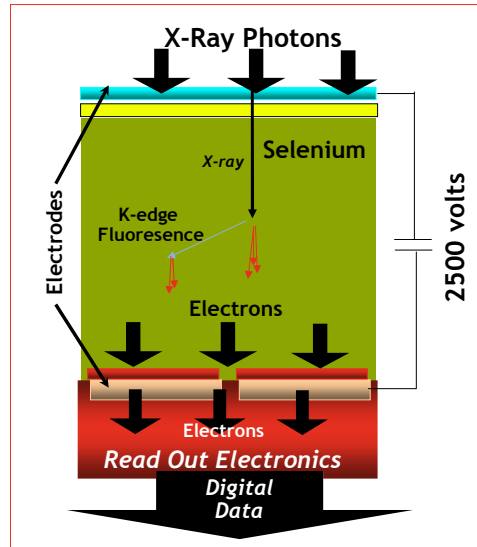


Capteurs CCD



- Détecteur plus large 43 x 43 cm
- Haute résolution 4096 x 4096 pixels
- Multi-résolution 100, 200, 400 µm pour réduction de dose
- Images dynamiques

Détecteurs à conversion directe

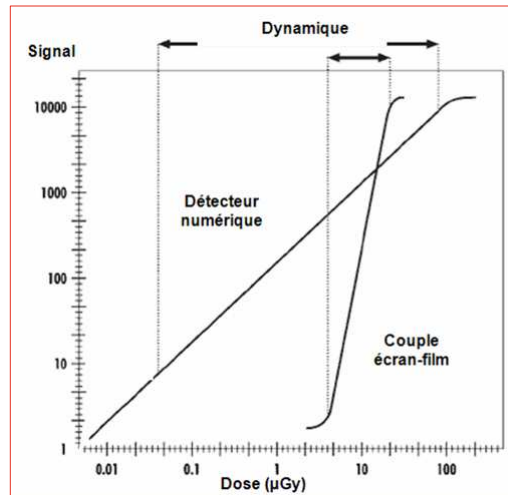


Principales caractéristiques des différents types de détecteur numériques comparées à celles du couple écran-film.

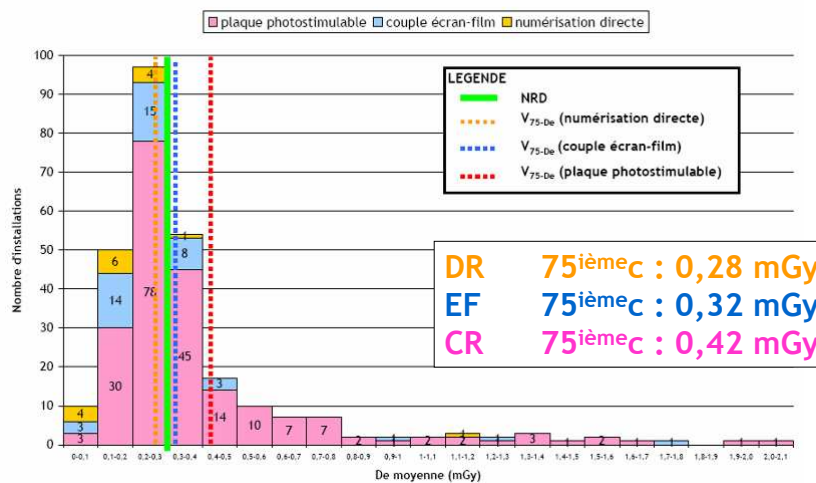
Caractéristiques	Type de détecteur				
	Ecran-Film	Plaque phosphore	CCD + lentille	DP*/Conversion directe	DP*/Conversion indirecte
Convertisseur	Gd ₂ O ₂ S	BaSrFBr:Eu	Gd ₂ O ₂ S	Sélénium	CsI:Tl
Lecture	Film	Laser	CCD	Matrice TFT	Matrice TFT
Taille (cm)	36 x 43	36 x 43	36 x 43	36 x 43	43 x 43
Taille pixel (µm)		200	167	139	143
Dynamique	1:30	1:40 000	> 1:4 000	>1:10 000	>1:10 000

* DP : détecteur plan

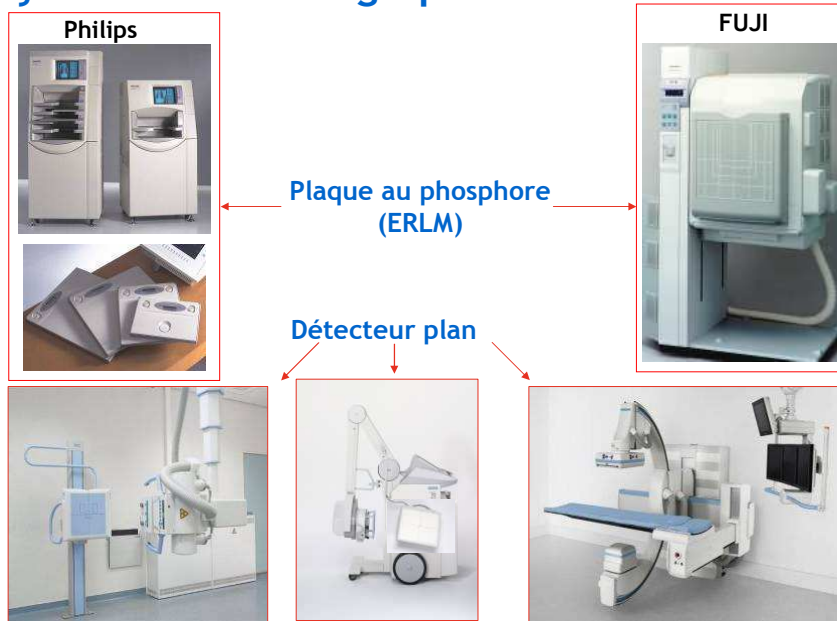
Comparaison de la dynamique des couples écran-film et des détecteurs numériques



Comparaison des installations suivant De et par type de détecteur pour l'examen du thorax de face



Systemes de radiographie

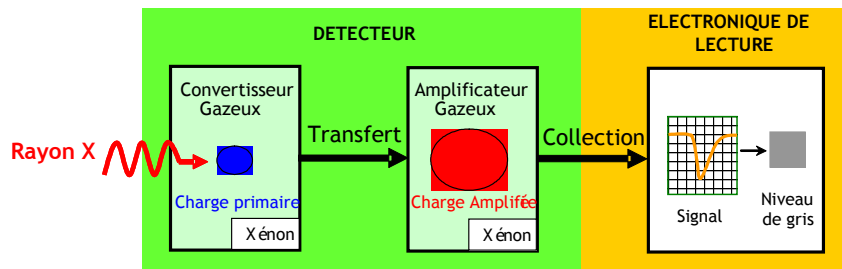


Sommaire

1. Evolutions en radiologie
 - 1.1 Radiologie numérique
 - 1.2 Système EOS
 2. Evolutions en radiologie interventionnelle
 3. Evolutions en scanographie
 - 3.1 Scanner multi barrettes
 - 3.2 Scanners dédiés
 - 3.3 Scanner et médecine nucléaire
 4. Evolutions en médecine nucléaire
 5. Evolutions en imagerie de contrôle en radiothérapie
- Conclusion

Le système EOS

Le détecteur utilise la technologie de la chambre de G. Charpak : à chaque photon émis correspond un photon reçu.

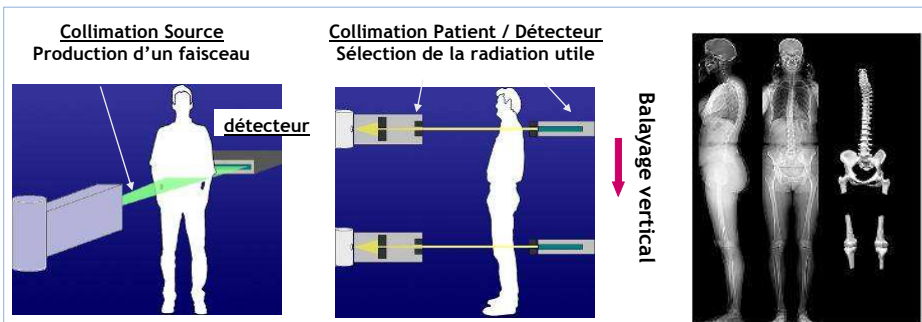


La chambre à fils est un principe de détection directe, il n'y a pas de fluctuations de conversion. L'amplification est interne au détecteur.

Le système EOS

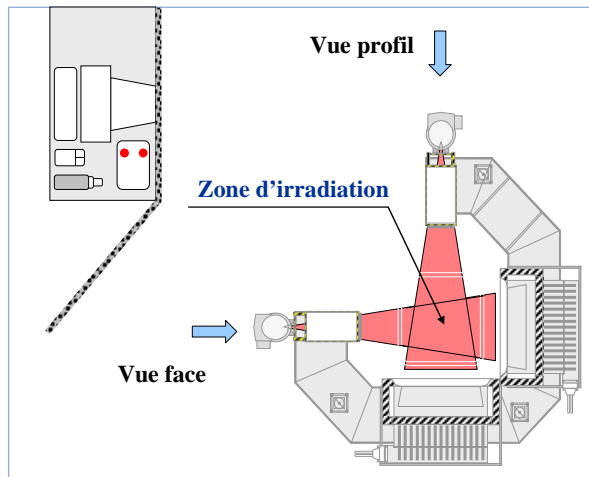
La chaîne d'acquisition est composée de 2 détecteurs et 2 sources RX, solidaires et parfaitement orthogonaux, qui viennent « scanner » le patient de la tête aux pieds.

La source rayons X est collimatée pour ne produire qu'un très fin pinceau.



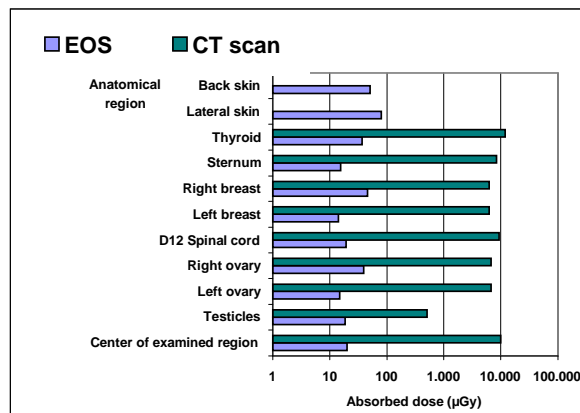
- Suppression du diffusé
- Suppression de la divergence verticale (visée des plateaux vertébraux)
- Principe de détection directe : pas de fluctuation de conversion
- Amplification interne au détecteur

Le système EOS



Le système EOS

- Comparaison avec imagerie planaire : facteur de réduction de dose proche de **10**.
- Comparaison avec un scanner : facteur de réduction de dose de **100 à 500**.



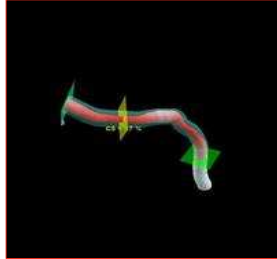
Sommaire

1. Evolutions en radiologie
 - 1.1 Radiologie numérique
 - 1.2 Système EOS
 2. Evolutions en radiologie interventionnelle
 3. Evolutions en scanographie
 - 3.1 Scanner multi barrettes
 - 3.2 Scanners dédiés
 - 3.3 Scanner et médecine nucléaire
 4. Evolutions en médecine nucléaire
 5. Evolutions en imagerie de contrôle en radiothérapie
- Conclusion

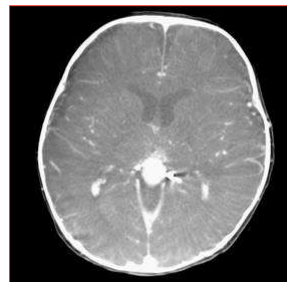
Radiologie interventionnelle

- Même évolution technologique qu'en radiographie :
Remplacement de l'IIR par un détecteur plan (conversion indirecte).
- Possibilité de rotation autour du patient ⇒ coupes similaires au scanner
- Potentiellement moins de dose par acquisition mais en parallèle plus d'images et de nouveaux protocoles
- Etude britannique (2005) : aucune différence significative observée en comparant des procédures cardiaques réalisées sur 31 salles équipées de détecteurs plan DR et 224 salles conventionnelles.

Radiologie interventionnelle



600 images en acquisition rotationnelle



Radiologie interventionnelle



Sommaire

1. Evolutions en radiologie
 - 1.1 Radiologie numérique
 - 1.2 Système EOS
 2. Evolutions en radiologie interventionnelle
 3. Evolutions en scanographie
 - 3.1 Scanner multi barrettes
 - 3.2 Scanners dédiés
 - 3.3 Scanner et médecine nucléaire
 4. Evolutions en médecine nucléaire
 5. Evolutions en imagerie de contrôle en radiothérapie
- Conclusion

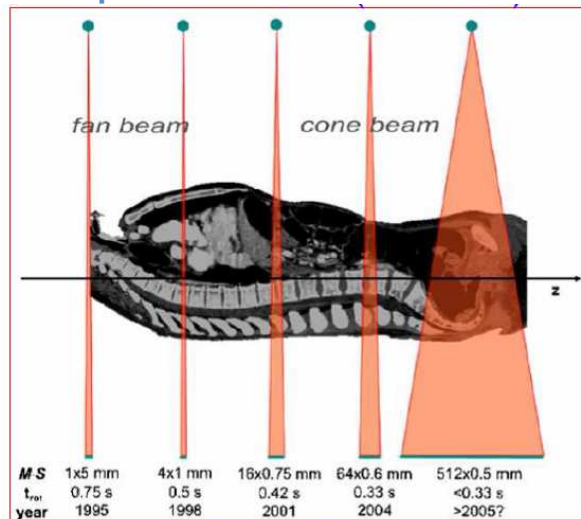
Chronologie des principales évolutions technologiques en scanographie

Année	Evolution
1972	Premier scanner médical EMI
1970's	Mouvement de translation-rotation (1 ^{ère} et 2 ^{ème} génération)
1980's	Développement de la rotation (3 ^{ème} et 4 ^{ème} génération)
1990's	Passage du mouvement incrémental à l'hélicoïdal - Début des multi coupes (2 et 4)
2000's	Développement des multi barrettes (4 → 16 → 64 → 128)
2007	Scanner double tube
2009	Scanner avec 320 barrettes et 0,35 s/rotation

Sommaire

1. Evolutions en radiologie
 - 1.1 Radiologie numérique
 - 1.2 Système EOS
 2. Evolutions en radiologie interventionnelle
 3. Evolutions en scanographie
 - 3.1 Scanner multi barrettes
 - 3.2 Scanners dédiés
 - 3.3 Scanner et médecine nucléaire
 4. Evolutions en médecine nucléaire
 5. Evolutions en imagerie de contrôle en radiothérapie
- Conclusion

Evolution du faisceau en éventail au faisceau conique



En 2009 : 320 rangées de détecteurs de 0,5 mm

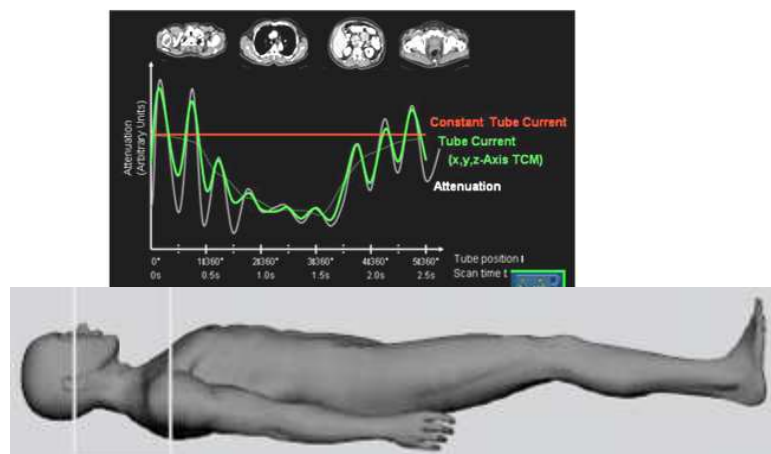
X-ray computed tomography. W. A Kalender Phys. Med. Biol. 51 (2006) R29-R43

Evolution des caractéristiques des scanners de 1972 à 2005

	1972	1980	1990	2004	2005 (DSCT)
Rotation time (s)	300	5-10	1-2	0.33-0.5	0.33
Data per 360° scan (MB)	0.058	1	1-2	10-100	20-200
Data per spiral scan (MB)	-	-	24-48	200-4000	200-8000
Image matrix ^b	80 × 80	256 × 256	512 × 512	512 × 512	512 × 512
Power (kW)	2	10	40	60-100	2 × 80
Slice thickness, mm	13	2-10	1-10	0.5-1	0.5-1
Spatial resolution (LP cm ⁻¹)	3	8-12	10-15	12-25	12-25
Contrast resolution	5 mm/5 HU/ 50 mGy	3 mm/3 HU/ 30 mGy	3 mm/3 HU/ 30 mGy	3 mm/3 HU/ 30 mGy	3 mm/3 HU/ 30 mGy

X-ray computed tomography. W. A Kalender Phys. Med. Biol. 51 (2006) R29-R43

Principe de la modulation du courant du tube RX



Réduction de dose de 30 % possible

Potentiel des scanners actuels

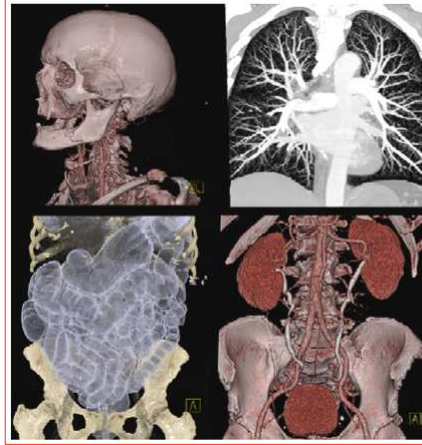


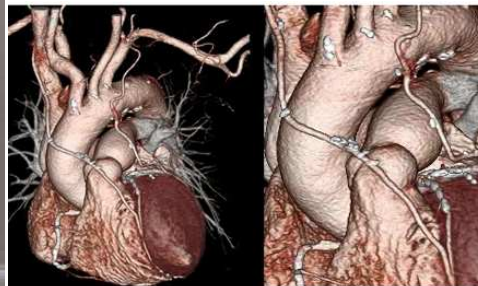
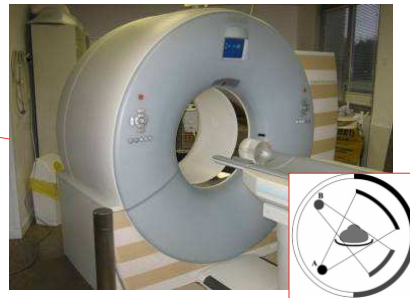
Illustration des examens possibles sur les scanners modernes avec des temps d'acquisition de 5 à 15 s

X-ray computed tomography. W. A Kalender Phys. Med. Biol. 51 (2006) R29-R43

Potentiel des scanners actuels

Scanner bi-tubes

Scanner à 320 rangées de détecteurs



Sommaire

1. Evolutions en radiologie
 - 1.1 Radiologie numérique
 - 1.2 Système EOS
 2. Evolutions en radiologie interventionnelle
 3. Evolutions en scanographie
 - 3.1 Scanner multi barrettes
 - 3.2 Scanners dédiés
 - 3.3 Scanner et médecine nucléaire
 4. Evolutions en médecine nucléaire
 5. Evolutions en imagerie de contrôle en radiothérapie
- Conclusion

Scanner mobile pour tête et cou



- 8 rangées de détecteurs
- 25 cm de champ de vue

Dose \approx 60 mGy

Scanner pour seins

Breast CT

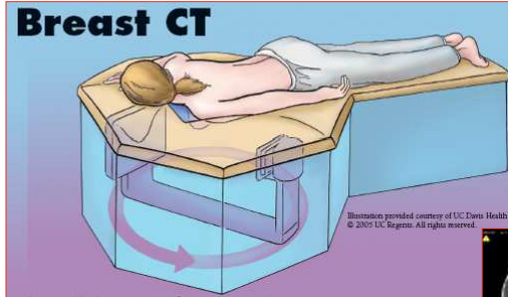
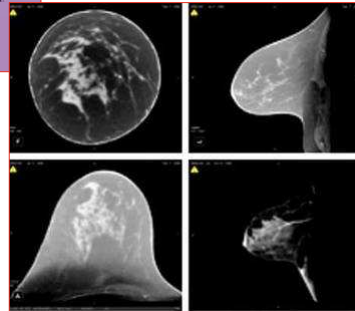
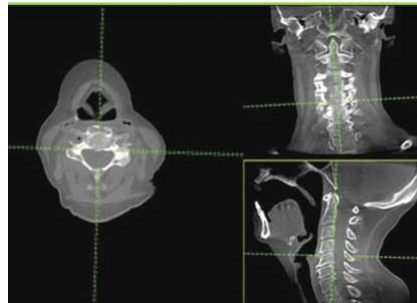


Illustration provided courtesy of UC Davis Health & © 2005 UC Regents. All rights reserved.

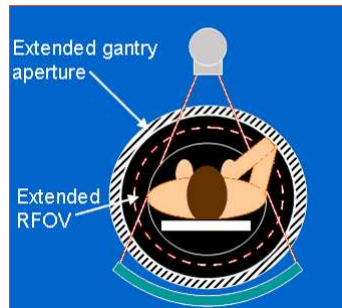
Dose équivalente à celle d'une mammographie (\approx qq mGy)



Scanner dédié au bloc opératoire pour guider un acte chirurgical



Scanner à large ouverture dédié à la radiothérapie



Scanner dédié au dentaire



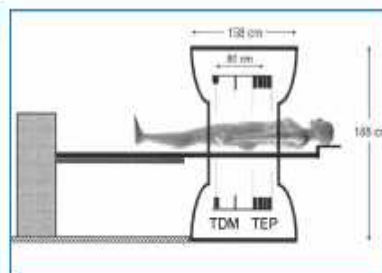
Appareils	Protocole/région	Glandes parotides	Glandes sous maxillaires	Thyroïde	Cristallin
3D faisceau conique (A)	Mode « CT », volume partiel mandibulaire	2,9	1,0	0,1	0,2
3D faisceau conique (B)	Champ complet	3,4	3,5	1,2	0,5
Scanner 16 barrettes	Dentaire (mandibulaire)	9,2	9,2	1,1	0,3
	Dentaire (maxillaire)	9,0	1,3	0,7	0,4
	Céphalométrie standard	5,9	6,1	2,8	5,3
	Céphalométrie optimisée	2,1	2,0	0,6	2,1

Sommaire

1. Evolutions en radiologie
 - 1.1 Radiologie numérique
 - 1.2 Système EOS
 2. Evolutions en radiologie interventionnelle
 3. Evolutions en scanographie
 - 3.1 Scanner multi barrettes
 - 3.2 Scanners dédiés
 - 3.3 Scanner et médecine nucléaire
 4. Evolutions en médecine nucléaire
 5. Evolutions en imagerie de contrôle en radiothérapie
- Conclusion

Médecine nucléaire + Scanner

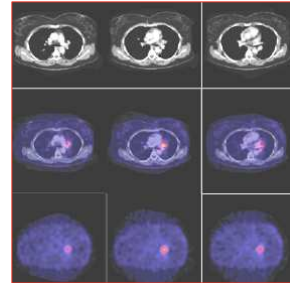
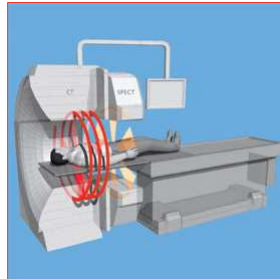
TEP + CT



Dose TEP (≈ 15 mSv) + dose CT (≈ 10 à 20 mSv)

Médecine nucléaire + Scanner

TEMP + CT



Dose SPECT (≈ 1 à 10 mSv) + dose CT (≈ 10 à 20 mSv)

Sommaire

1. Evolutions en radiologie
 - 1.1 Radiologie numérique
 - 1.2 Système EOS
 2. Evolutions en radiologie interventionnelle
 3. Evolutions en scanographie
 - 3.1 Scanner multi barrettes
 - 3.2 Scanners dédiés
 - 3.3 Scanner et médecine nucléaire
 4. Evolutions en médecine nucléaire
 5. Evolutions en imagerie de contrôle en radiothérapie
- Conclusion

Médecine nucléaire

- Approche différente car ce n'est pas l'appareil qui irradie.
- Depuis les années 70, l'essentiel des radiopharmaceutiques se sont développés autour du ^{99m}Tc , RN émetteur gamma « pur » de 140 keV et de période = 6 h \Rightarrow faible irradiation.
- Si l'iode est nécessaire, remplacement du ^{131}I par le ^{123}I .
- Mais certains RPh peuvent conduire à des doses efficaces \approx ou > 10 mSv : $^{201}\text{TlCl}$ et ^{18}F FDG.
Par exemple, exploration cardiaque :
 ^{99m}Tc : 6 à 8 $\mu\text{Sv}/\text{MBq}$ (≈ 10 MBq/kg)
 ^{201}Tl : 340 $\mu\text{Sv}/\text{MBq}$ (≈ 1 à 2 MBq/kg)

Mais association systématique TEP + CT et de plus en plus TEMP + CT

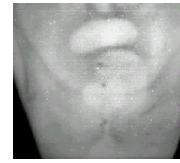
Sommaire

1. Evolutions en radiologie
 - 1.1 Radiologie numérique
 - 1.2 Système EOS
 2. Evolutions en radiologie interventionnelle
 3. Evolutions en scanographie
 - 3.1 Scanner multi barrettes
 - 3.2 Scanners dédiés
 - 3.3 Scanner et médecine nucléaire
 4. Evolutions en médecine nucléaire
 5. Evolutions en imagerie de contrôle en radiothérapie
- Conclusion

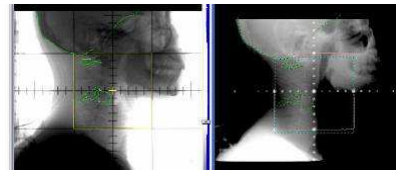
Imagerie 2D portale



120 kV



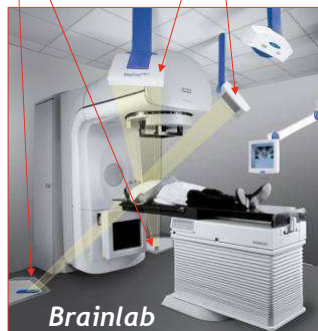
23 MV



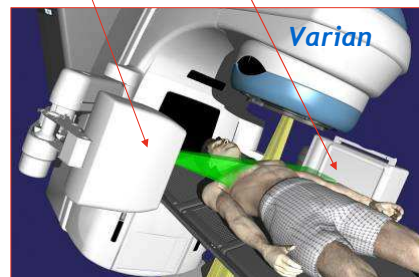
Dose patient par image portale ≈ 40 mGy pour les premiers systèmes, et ≈ 10 mGy pour le plus récent.
Bien que faible par rapport aux doses de traitement (50 à 80 Gy), cette dose complémentaire peut être prise en compte.

Imagerie 2D kV

Tubes et détecteurs fixes

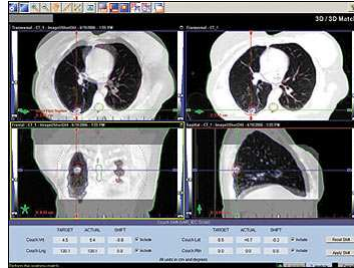
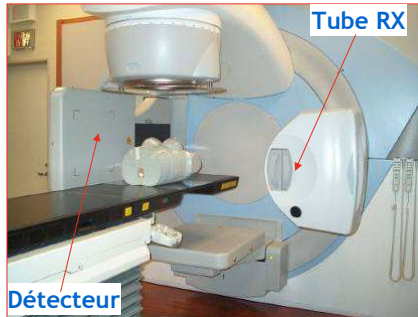


Tube et détecteur embarqués



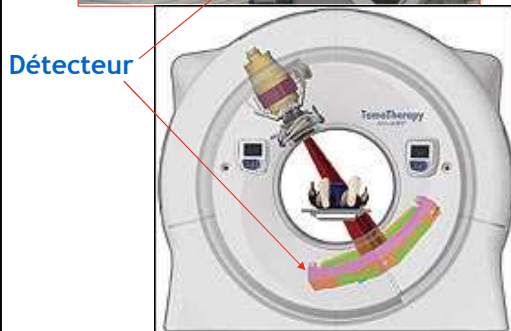
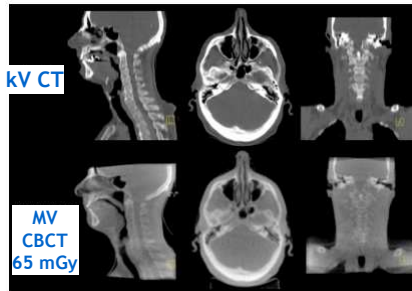
Dose à la peau de 1 à 3 mGy par image

Imagerie 3D kV-CBCT



Dose par acquisition ≈ 30 mGy

Imagerie 3D MV-CBCT



Sommaire

1. Evolutions en radiologie
 - 1.1 Radiologie numérique
 - 1.2 Système EOS
 2. Evolutions en radiologie interventionnelle
 3. Evolutions en scanographie
 - 3.1 Scanner multi barrettes
 - 3.2 Scanners dédiés
 - 3.3 Scanner et médecine nucléaire
 4. Evolutions en médecine nucléaire
 5. Evolutions en imagerie de contrôle en radiothérapie
- Conclusion

Conclusion (1)

- Les évolutions technologiques en imagerie médicale ont apporté un potentiel de réduction de dose par une meilleure efficacité de détection des rayons X
⇒ **diminution** de la dose par image en radiodiagnostic.
- En parallèle les applications cliniques se sont développées :
 - ✓ diffusion du principe du scanner,
 - ✓ développement de la radiologie interventionnelle,
 - ✓ développement du TEP-CT.⇒ **augmentation** de la dose à la population.

Conclusion (2)

Il faut donc veiller encore plus à l'application des principes de justification et d'optimisation

⇒

- **Formation adaptée** pour les professionnels pour qui les RX sont une aide à leur geste thérapeutique ;
- Concept de **niveau de référence** pour toute technique d'imagerie par rayonnements ionisants ;
- **Evaluation dosimétrique avant tout nouveau protocole** ;
- **Action auprès des industriels** pour que les **informations dosimétriques** soient standardisées, facilement accessibles et systématiquement enregistrées.

Conclusion (3)

En ce qui concerne les travailleurs, il convient :

- D'être particulièrement vigilant en radiologie interventionnelle du fait de procédures de plus en plus longues et complexes
 - ⇒ plus d'exposition pour l'opérateur.
- De renforcer la surveillance dosimétrique de ces opérateurs en exigeant un contrôle systématique de l'exposition des extrémités ainsi que des régions non protégées de l'organisme.