

## De l'analogique au numérique en imagerie par projection ostéo-articulaire

réduction des coûts (suppression des films )

réduction de l'irradiation (uniquement par réduction des rejets de films )

amélioration qualitative de l'exploitation des résultats grâce à la  
visualisation "dynamique" sur écran +++

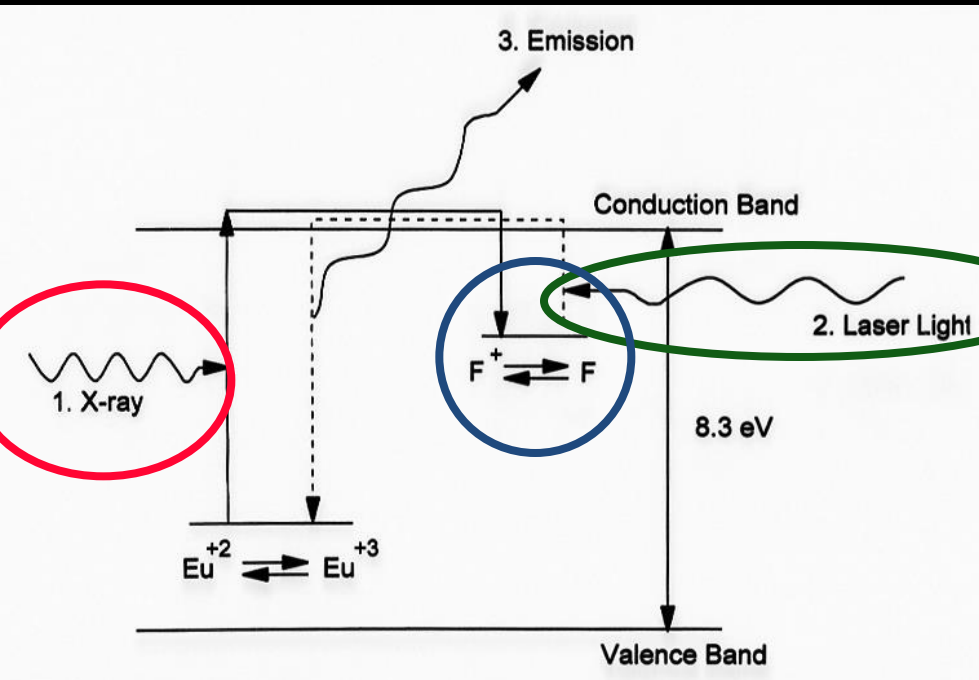
transfert (communication) , stockage (temporaire) archivage (définitif) , comparaison  
(mensurations précises) ..etc.



jusqu'en 2003

le ( la !! ) radiologue du 21ème siècle

# les écrans radio luminescents à mémoire ERLM ( CR =computed radiography en langage DICOM )



Les ERLM ou plaques photo stimulables ,ils utilisent les propriétés de **photoluminescence** de certains composés halogénés :  $\text{BaFI}:\text{Eu}^{++}$ ,  $\text{BaFCl}:\text{Eu}^{++}$ ,  $\text{BaFBr}:\text{Eu}^{++}$ , ( **fluoro-halogénures de Ba "dopés" aux terres rares** )

la lecture des **centres F** par le faisceau laser libère les  $e^-$  trappés et permet le retour de  $\text{Eu}^{3+}$  vers  $\text{Eu}^{2+}$  avec émission d'un rayonnement de  $\lambda$  définie

les ERLM permettent la numérisation au moindre prix et peuvent être substitués aux couples écrans films sur toutes les installations

leur portabilité reste un gros atout pour les clichés au lit du malade

les manipulations des cassettes restent très contraignantes sur des installations fixes



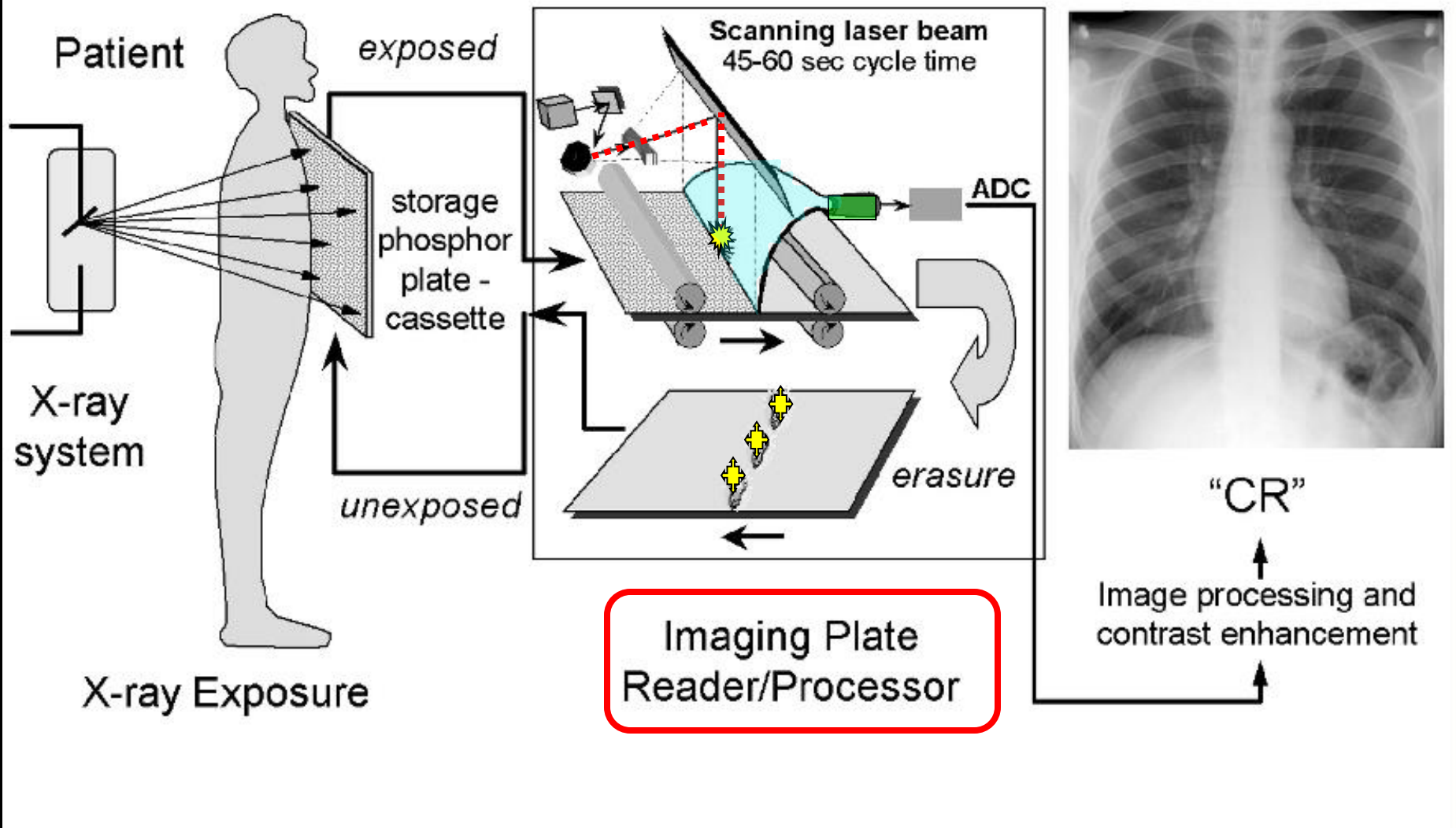
lecteur de plaques



reprographie (hard copy)  
films à traitement sec ou papier



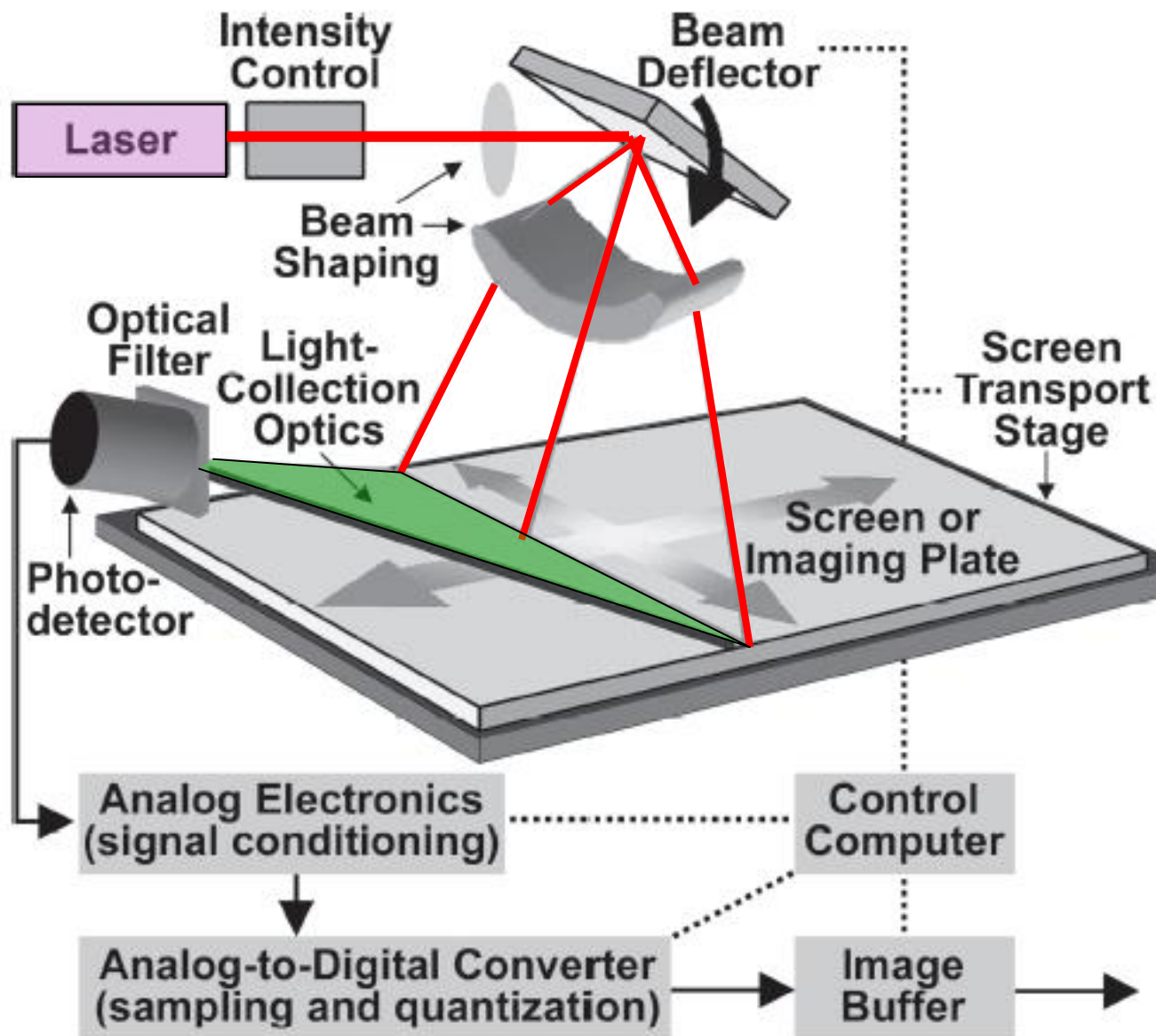
visualisation (soft copy)  
tubes cathodiques ou écrans plats "portrait"  
HR 2K x 2K

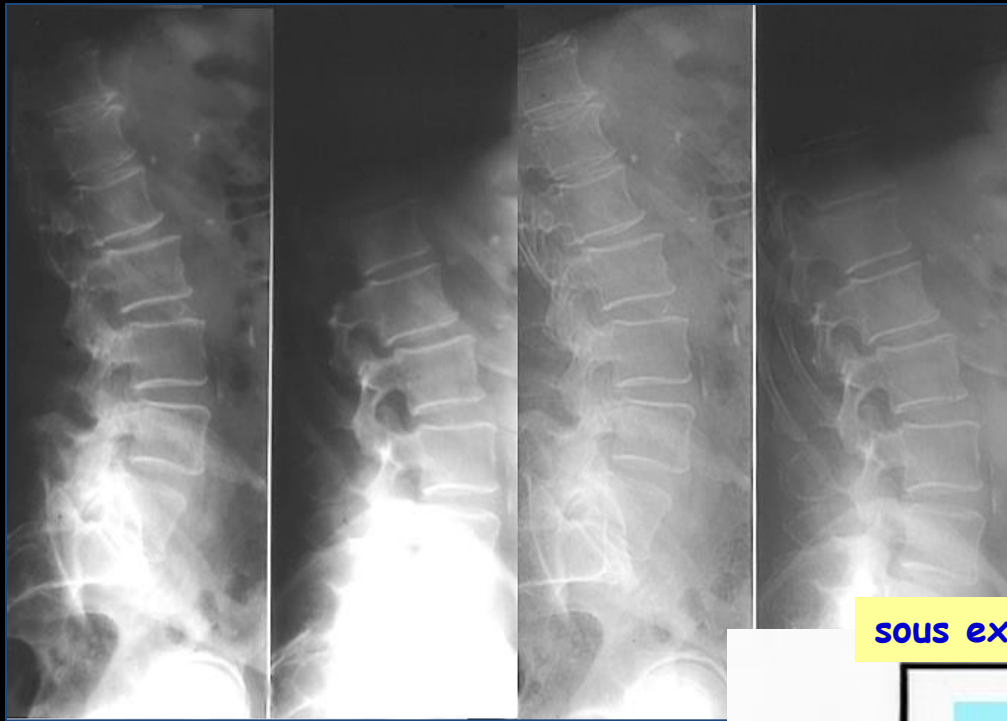


CR computed radiography syn. ; numérisation indirecte ; ERLM , écrans à mémoire , plaques photo stimulables ...

l'accès à l'image nécessite le traitement du système de détection dans un appareil de lecture

Figure 8. Main components of a flying-spot CR scanner (see text for details).



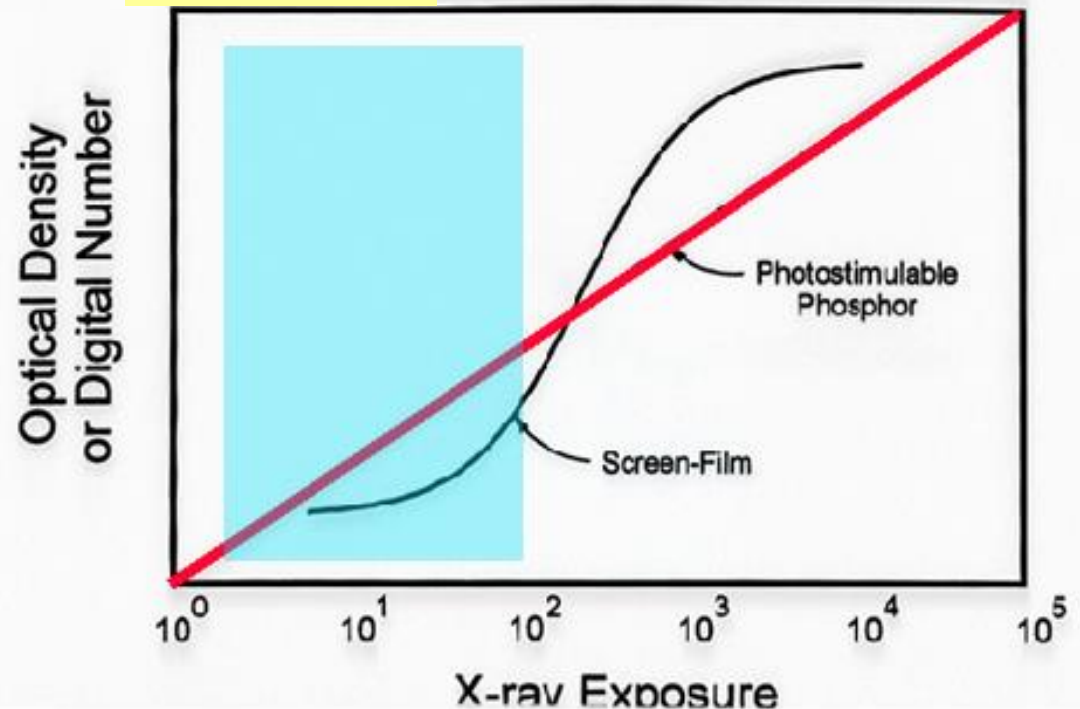


des **post traitements** de l'information paramétrables pour chaque type d'examen sont appliqués : profil de courbe sensito; effet de bord ; sélection des fréquences élevées détail) ou des fréquences basses (contraste)...

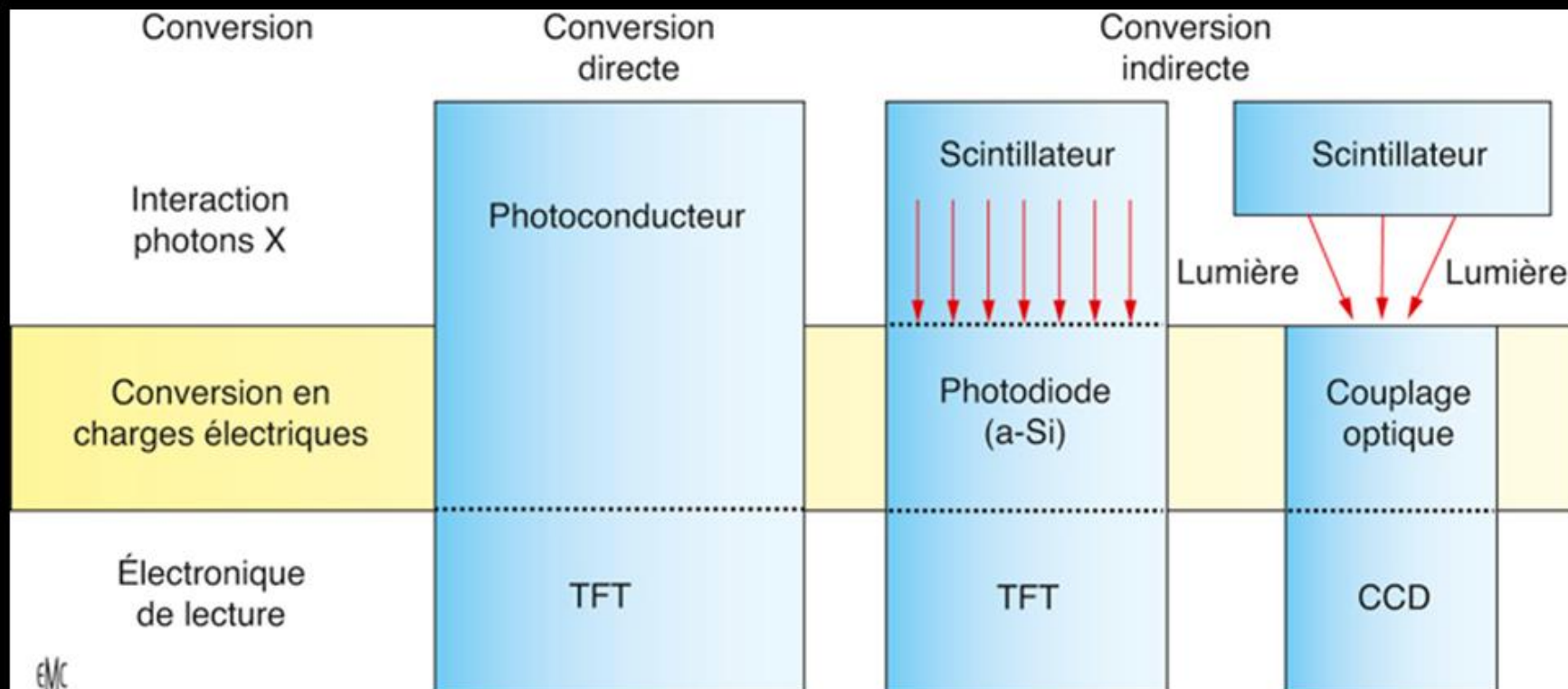
sous exposition

la **dynamique des ERLM** est **linéaire** ; leur latitude d'exposition est beaucoup plus étendue donc on a un résultat "présentable" même si on surdose de façon majeure !

il faut donc toujours contrôler les paramètres d'exposition +++



# les capteurs plans ( DR =direct radiography en langage DICOM)



-capteurs plans (DR) à conversion directe (a-Se)

et capteurs plans à conversion indirecte (a-Si)

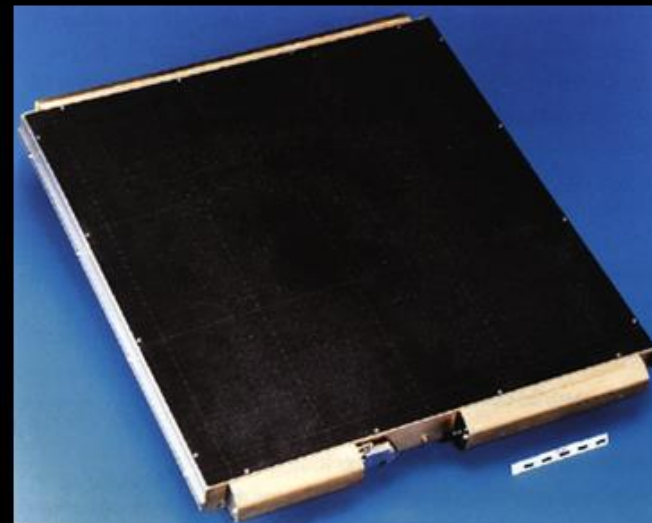
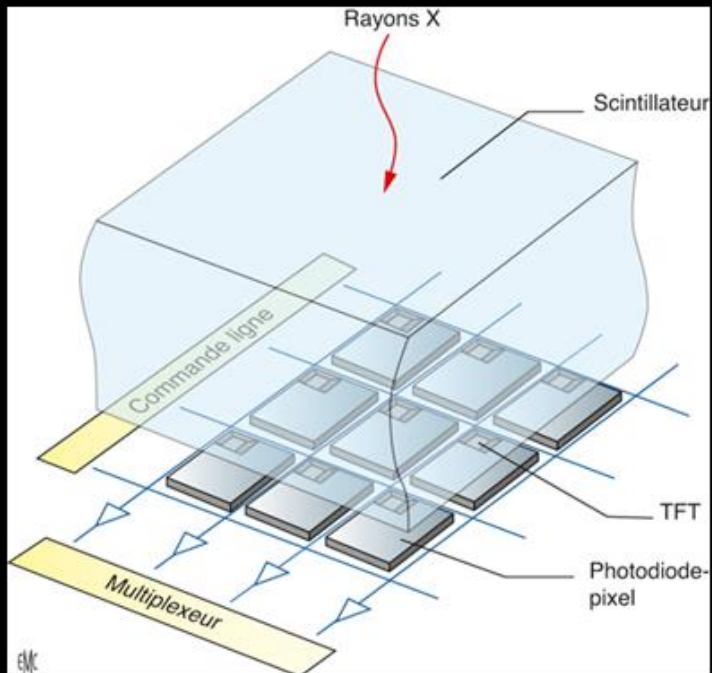
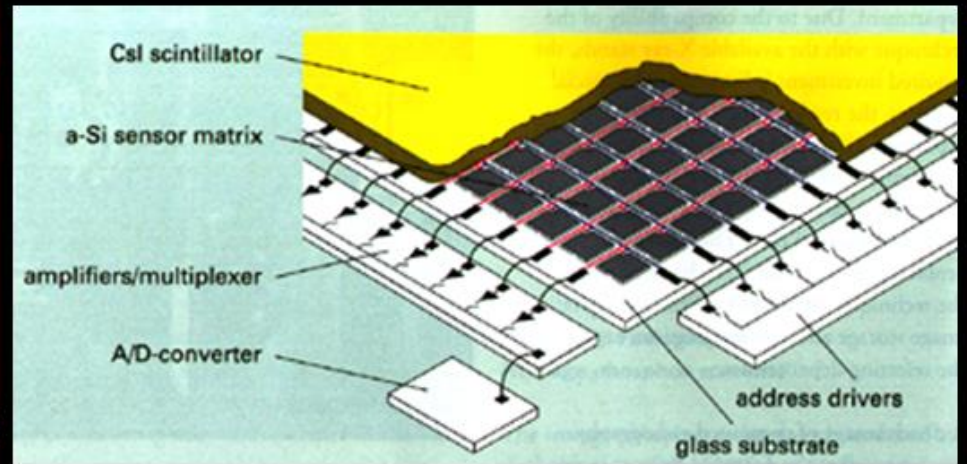


-salle "os-poumons" type, équipée de **2 capteurs plans à détection indirecte** :

.un **vertical** asservi au tube sur suspension plafonnière télescopique, pour clichés thoraciques et clichés appareil locomoteur (y compris rachis) , "en charge"

.un **horizontal** sur table avec dispositif d'asservissement inclinaison du tube-position du plan de table et angles des axes des os longs pour les collages (pasting) lors d'explorations en position couchée (à visées purement anatomiques )

Definium 8000 GE



capteur plan à détection indirecte  
monodale (≠ en mosaïque)

	FERRANIA	GEMS	PHILIPS	SIEMENS	STEPHANIX
<b>Capteur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensions</li> <li>• Résolution (pl/mm ou <math>\mu\text{m}</math>)</li> </ul>	TRIXELL Csl/aSi 43*43 cm <sup>2</sup> 3,5 pl / mm (capteur mosaïque)	GEMS Csl/aSi 21*21 et 43*43 cm <sup>2</sup> 5 pl / mm (capteur monodale)	TRIXELL Csl/aSi 43*43 cm <sup>2</sup> 3,5 pl / mm (capteur mosaïque)	TRIXELL Csl/aSi 43*43 cm <sup>2</sup> 3,5 pl / mm (capteur mosaïque)	CANON GadOx/aSi 43*43 cm <sup>2</sup> 3,2 pl / mm (capteur mosaïque)
<b>Statifs et applications cliniques</b>	DR 942 : statif pulmonaire et arceau en U (1 capteur) DR 982 : Os-poumon (1 capteur)	XQ/i : statif pulmonaire (1 capteur) XQ/i OTS : potter basculant polyvalent (1 capteur) XRd : os-poumons (2 capteurs)	DIGITAL DIAGNOST : os-poumons avec potter basculant (2 capteurs)	ARISTOS VX et MX : pulmonaire + Os-poumon (1 ou 2 capteurs) ICONOS : table télécommandée ARTIS : examens d'angiographies AXIOM FX : statif robotisé (1 capteur)	EVOLUTION : salle télécommandée (os-poumons et diverses applications).
<b>Durée avant visualisation de l'image</b>	10 secondes	3 secondes	3 à 8 secondes	3 secondes	3 secondes
<b>Durée de vie du capteur</b>	-	10 ans (estimation)	8 ans (estimation)	8 ans (estimation)	5 ans (estimation)
<b>Consoles d'acquisition &amp; post-traitement</b>	1 Console d'acquisition + 1 console de visualisation en salle. Possibilité de consoles déportées.	1 Console d'acquisition + 1 console de visualisation en salle. Possibilité de consoles déportées.	1 Console d'acquisition + 1 console de visualisation en salle. Possibilité de consoles déportées.	1 Console d'acquisition / console de visualisation en salle. Possibilité de consoles déportées.	1 Console d'acquisition + 1 console de visualisation en salle. Possibilité de consoles déportées.

you can  
**Canon**

*DR anywhere*

with portable Flat Panel Detectors

Digital Radiography  
X-ray image in two seconds



#### CXDI-50G

Large area (35cmx43cm) portable detector for all kinds of table and wallstand as well as bedside imaging.

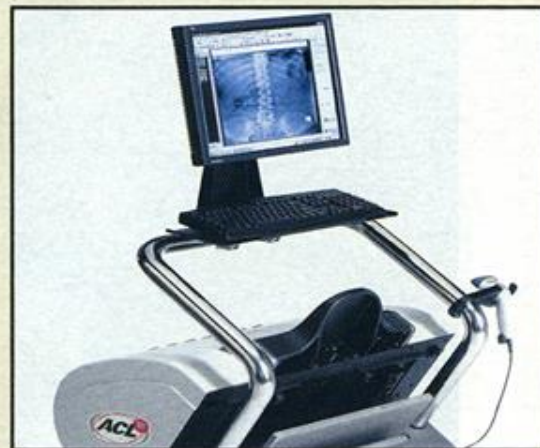


#### CXDI-31

Lightweight and compact high definition portable detector (24cm x 30cm) with 100 micron pixel pitch. Ideal for paediatric and orthopaedic imaging.

See it in action now at the  
RSNA 2004 HALL A South Building  
Booth number 4509

[www.canon-europe.com/medical](http://www.canon-europe.com/medical)  
[medical.x-ray@canon-europe.com](mailto:medical.x-ray@canon-europe.com)



### CORDLESS MOBILE CR SCANNER Orex Computed Radiography

The Orex ZR is a mobile CR scanner on wheels that can move freely within a medical institution without external power or network connections. The system features a 4.5-hour battery life, and Wi-Fi networking capabilities. The company also plans to introduce scalable CR PACS solutions this year as well.

la "portabilité" des détecteurs numériques (pour la radiographie thoracique au lit du malade) tant en CR qu'en DR est techniquement opérationnelle depuis plusieurs années mais les capteurs plans "portables" restent lourds, fragiles et onéreux

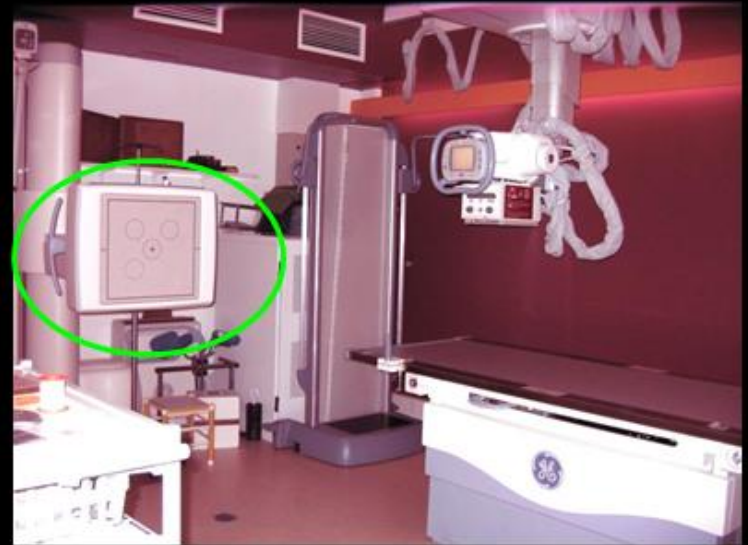
## 2 -les points forts de la DR en imagerie ostéo-articulaire de routine

ergonomie

qualité image

micrographie

réduction des doses d'exposition



-l'amélioration de l'ergonomie par la suppression du transport des cassettes permet d'accroître la productivité de l'installation.

le positionnement automatisé du tube radiogène

le contrôle de l'incidence par la micrographie

le post-traitement paramétré en fonction du type d'examen

la mise en page simplifiée des images pour les films ou les impressions sur papier

la vue immédiate des images et leur transfert automatisé sur le PACS

sont autant d'étapes facilitées par la technique en DR et qui contribuent grandement à l'efficacité productive (au redressement productif montebourgeois) en imagerie par projection !



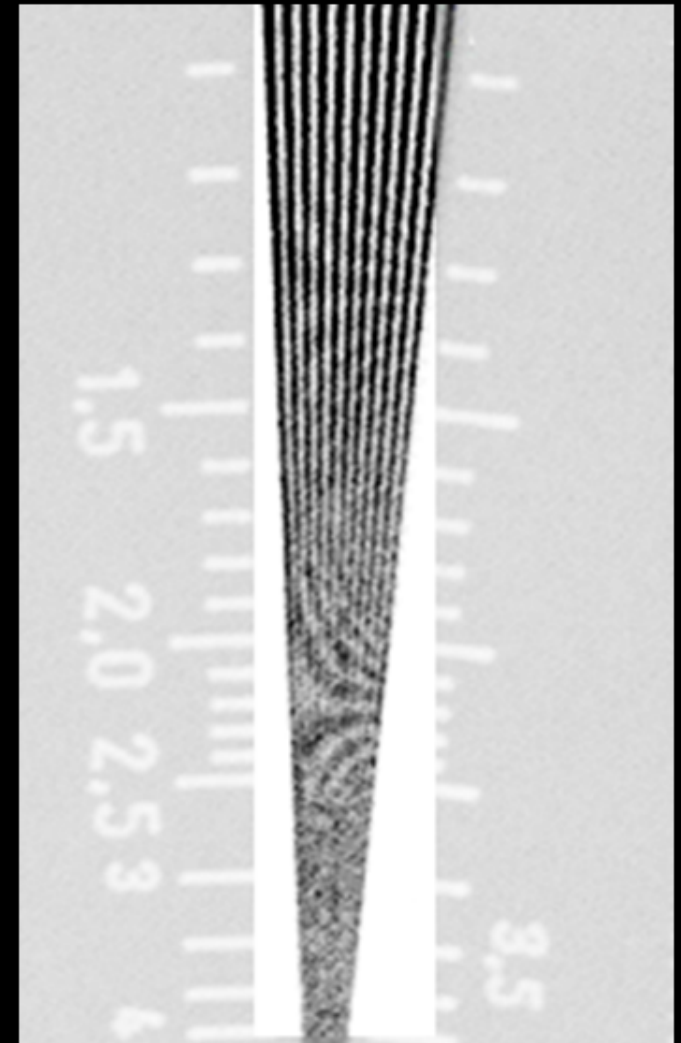
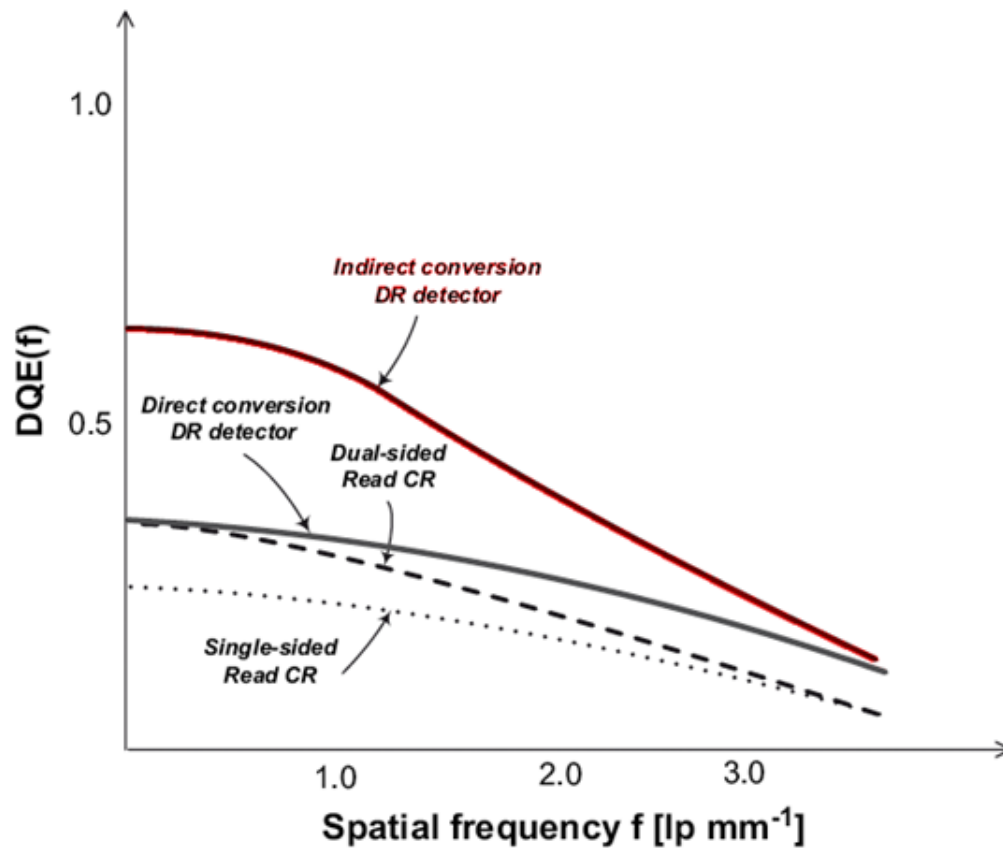
la réduction de la durée des examens en DR par rapport à la CR varie de 15 à 59 %



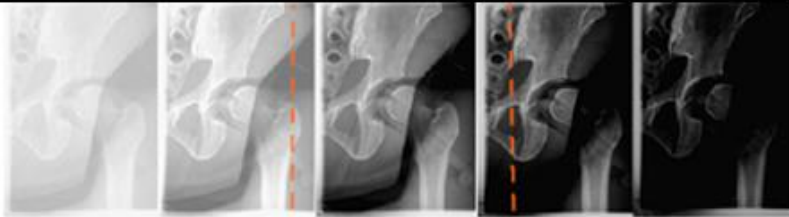
le port des cassettes ERLM d'une seule main , leur chargement et déchargement étant assurés par l'autre main sont à l'origine du plus grand nombre de maladies professionnelles chez les manipulatrices et manipulateurs , surtout avec certaines machines peu étudiées sur le plan ergonomique .

la DR supprime cette contrainte et libère l'attention du manipulateur qui peut se consacrer à son patient et à la réalisation de son examen

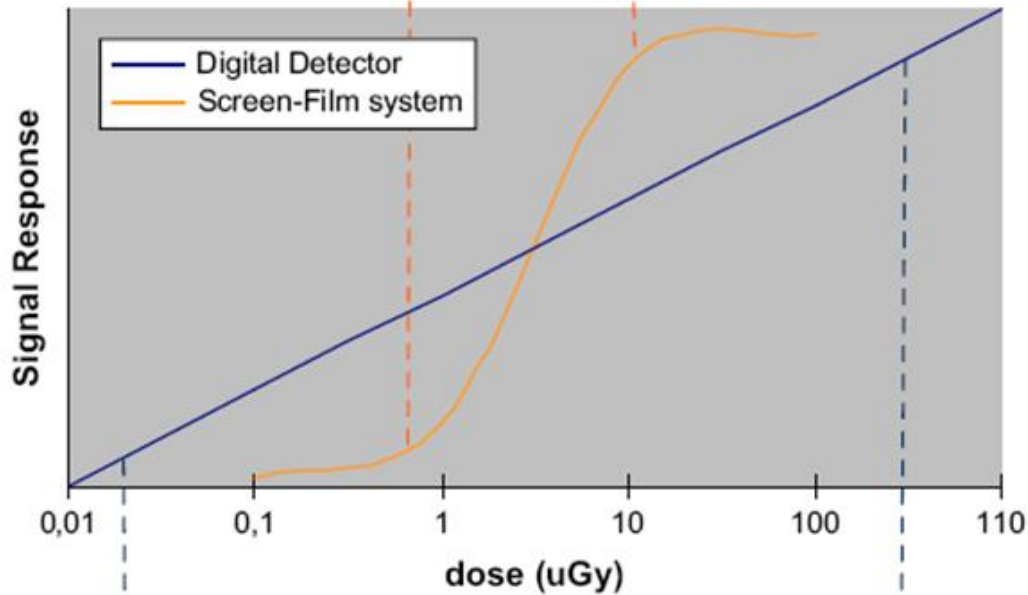
-la réduction des doses d'exposition et plus accessoirement l'amélioration de la qualité image sont liées à l'excellente efficacité de détection quantique (DQE) des capteurs plans, en particulier indirects



la DQE est une combinaison de la FTM (résolution spatiale et contraste) et du spectre de Wiener (résolution en contraste et bruit quantique), en fonction de la fréquence spatiale



Dynamic Range



Dynamic Range



-la **dynamique de réponse des capteurs plans** est , comme celle des ERLM, **linéaire**

densité radiologique =  $f(\text{exposition})$

à l'inverse de celle des couples écrans renforçateurs-films qui était d'allure sigmoïde

-il n'y a donc pas de clichés surexposés ou sous-exposés , donc pas de rejet de films et au total une réduction de dose ...sur le plan théorique !



St: 36,6 cGy.cm<sup>2</sup>



Micrography: 7,6 cGy.cm<sup>2</sup>

*clichés service Pr JJ Railhac  
Toulouse*

-la **micrographie** radiographie "ultra low-dose" est très utile pour contrôler la qualité d'un centrage , d'un positionnement et ou d'une incidence:

elle contribue à la réduction de la dose délivrée pour l'examen !

### 3 -les avancées techniques permises par la DR en imagerie ostéo-articulaire

collage (pasting)

tomosynthèse

double énergie

-le **pasting (collage)** est un apport essentiel de la numérisation par capteurs plans en imagerie ostéo-articulaire

.pour la radiographie des **membres inférieurs**

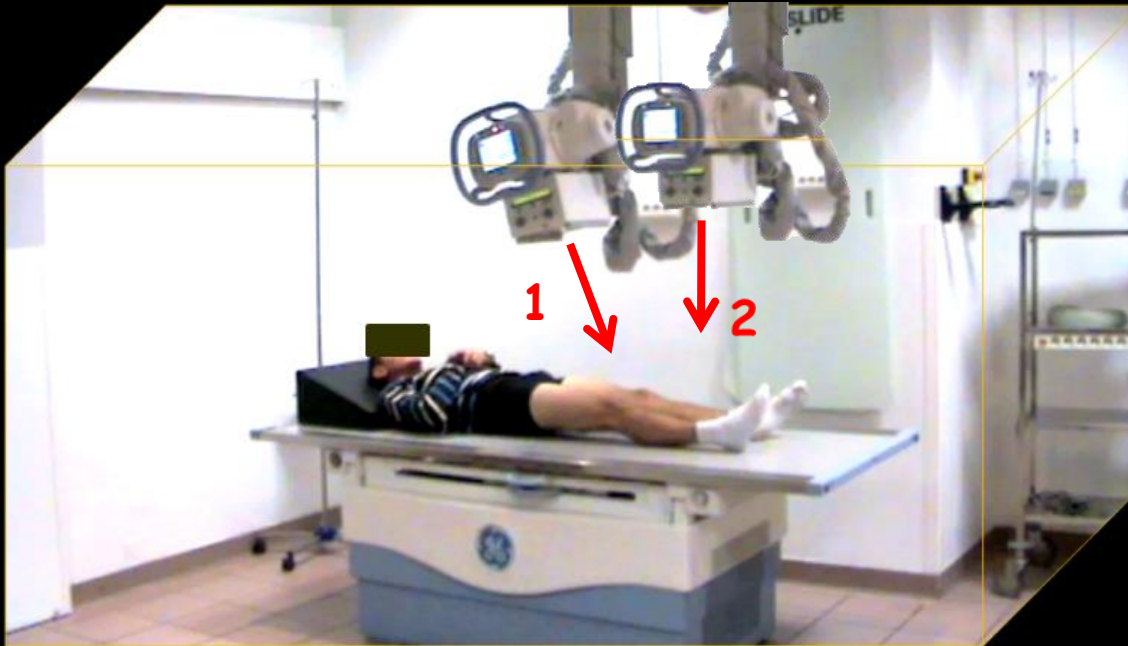
.pour la radiographie du **rachis**

en totalité , soit **uniquement en charge** , soit également **en clinostatisme**

longueur couverte : 1 mètre

angulation du tube adaptée à l'orientation de l'axe du segment de membre pour limiter au maximum la distorsion





2 expositions pour limiter la distorsion puis collage

l'accroissement du champ couvert en collage DR par rapport à CR permet d'avoir les articulations aux 2 extrémités du segment de membre exploré, en decubitus comme en station verticale



CR



DR

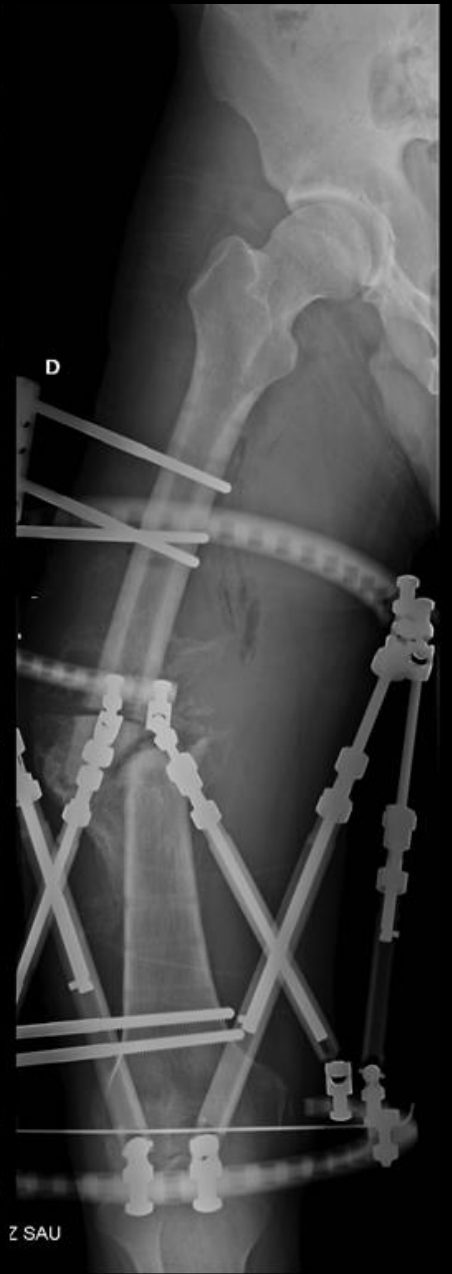


+



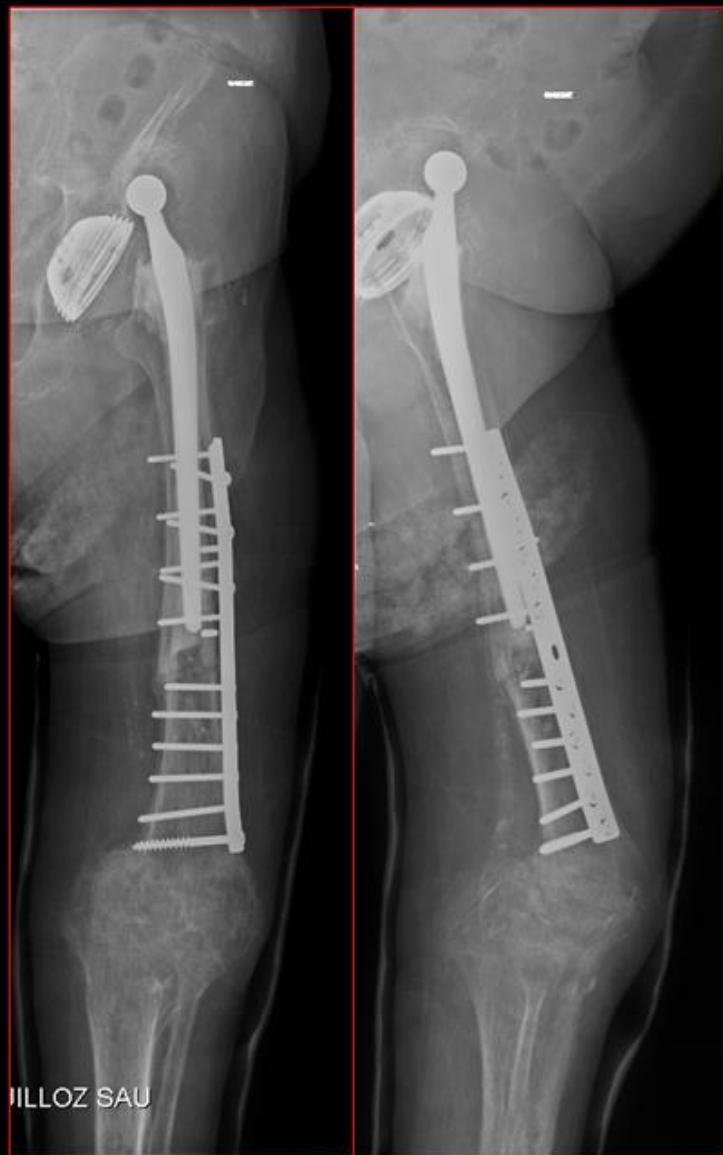
=







**rachis complet en charge après kyphoplasties chez un homme de 80 ans**



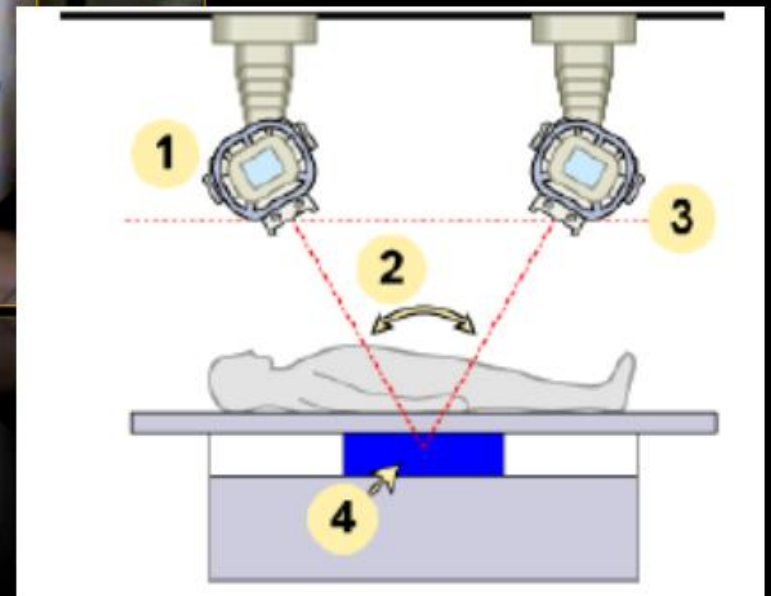
le collage automatisé sur des acquisitions en station verticale et en décubitus contribue à l'efficacité productive de l'installation en réduisant la durée des examens

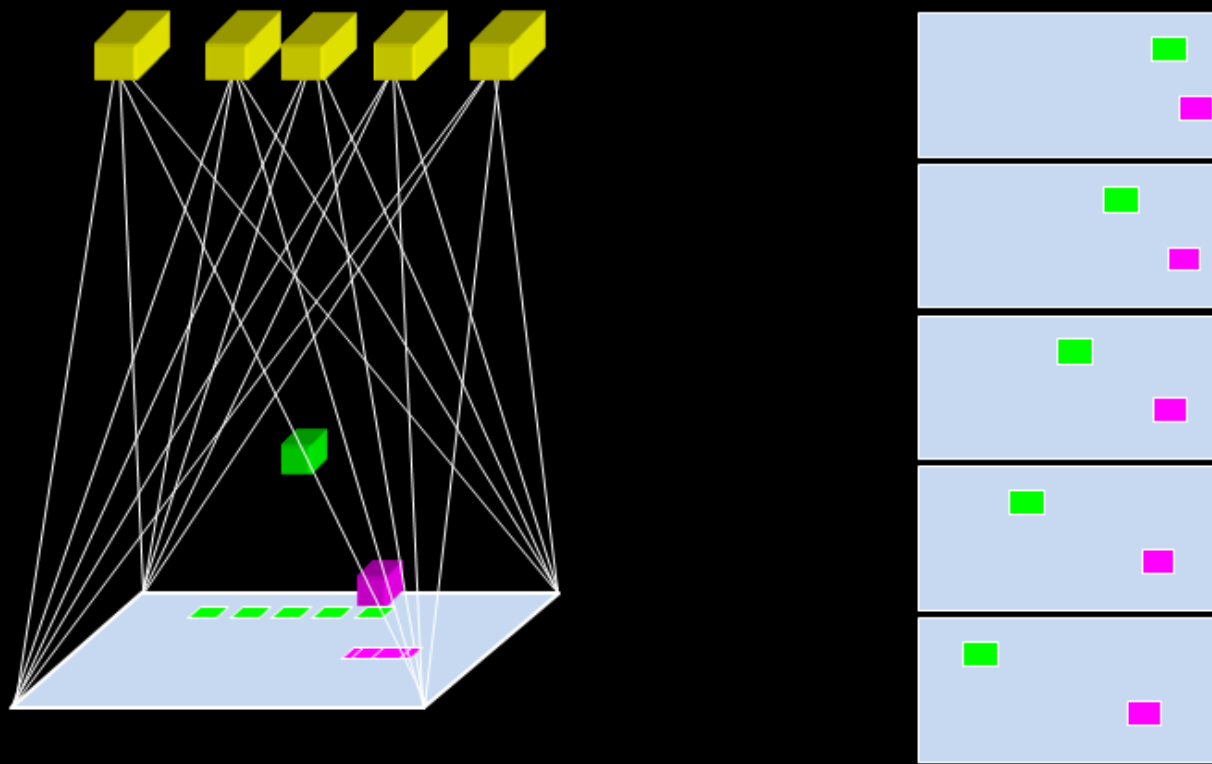
il est devenu indispensable en chirurgie orthopédique par l'amélioration qualitative des images

-la **tomosynthèse** est un nouvel apport en imagerie ostéo-articulaire . Elle utilise un **balayage du tube** mais le capteur ainsi que la plateau de table restent en position fixe .

durant un balayage d'une durée de 5 à 10 s , on recueille 25 à 60 projections du segment corporel examiné , à faible dose

les images des coupes reconstruites sont parallèles au plan du détecteur (capteur plan)





-acquisition de N projections angulaires du volume corporel examiné

-la longueur de la trace d'une structure dépend de sa position par rapport au plan d'appui et de celle du choix de la position du plan étudié

-plus la trace est longue , meilleur est l'effacement de l'image des structures correspondantes

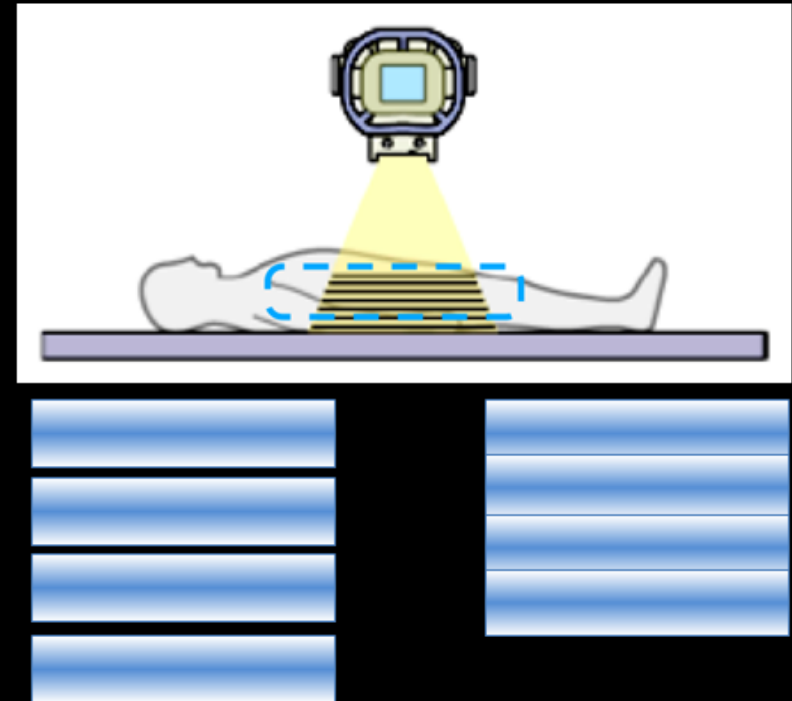
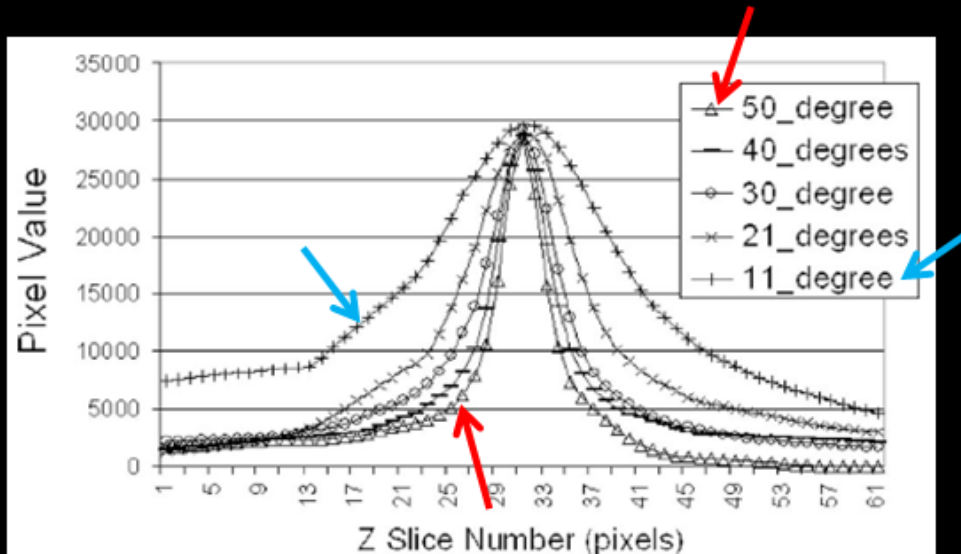


**-netteté du plan choisi**

**-flou des structures  
hors plan de coupe  
,d'autant plus  
important qu'elles en  
sont éloignées**

-l'épaisseur d'une coupe dépend de la **valeur de l'angle de balayage** ; elle peut varier de **50 mm** (zonographie) avec un petit angle de coupe à **1 mm** avec l'angle maxi

-l'épaisseur de coupe détermine la **résolution spatiale dans l'axe Z** ; l'angle de balayage détermine également la **sélectivité** c'est-à-dire la qualité de l'effacement des structures hors plan de coupe



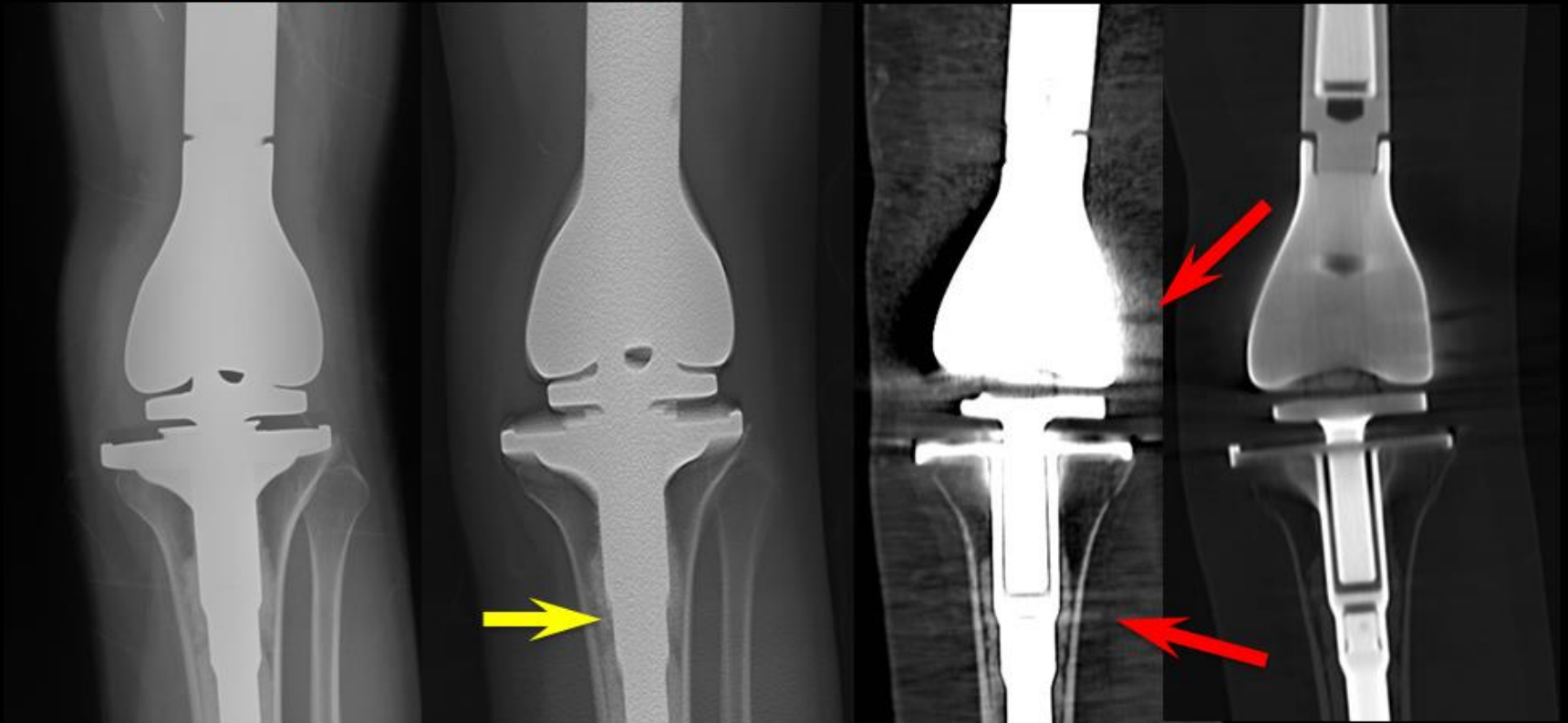
comparaison des résultats de la tomosynthèse à ceux des autres techniques "roentgeniennes"

DR (ou CR)

tomosynthèse

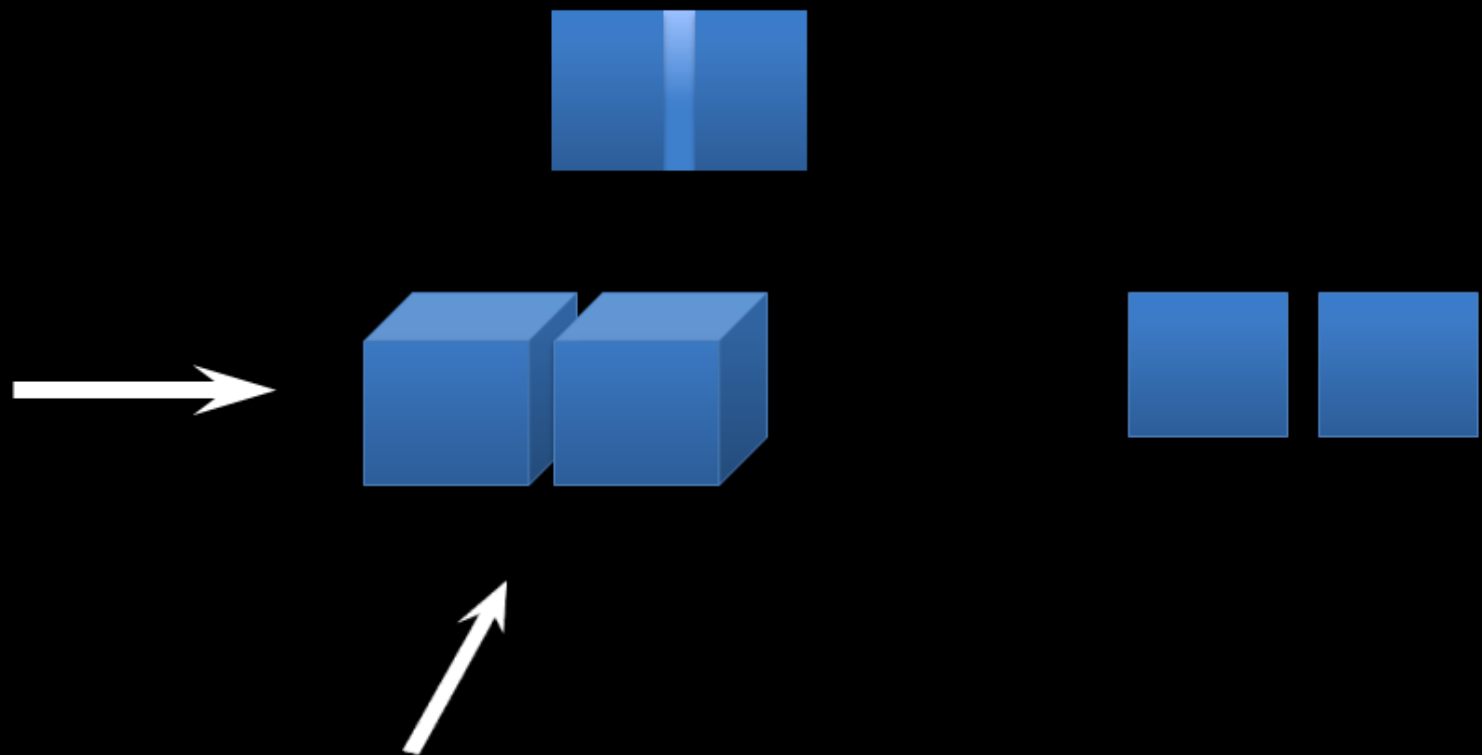
CT

CT MAR



-il n' y a pas d'artefact dus au métal en tomosynthèse mais l'analyse de l'environnement est gêné par les traces d'effacement des parties dens de la prothèse (il faudrait , pour les limiter , utiliser un balayage perpendiculaire à l'axe osseux n comme en tomographie à trajectoire linéaire

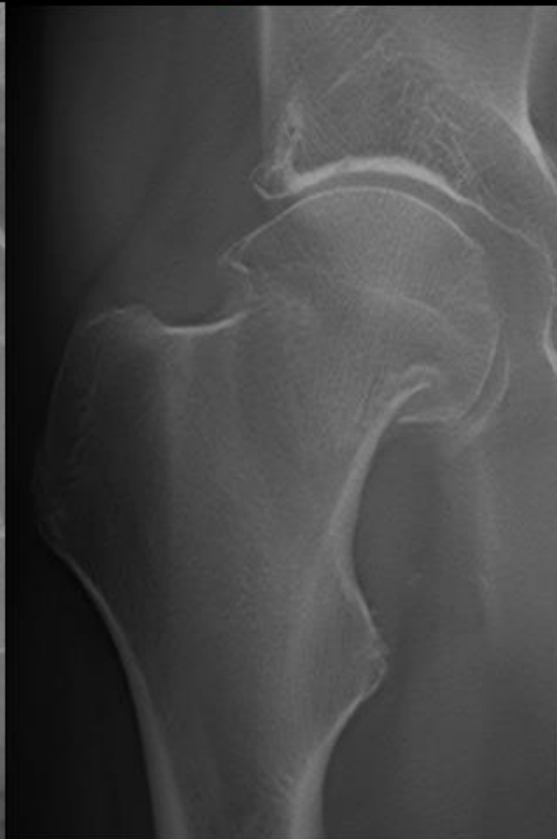
-de la même façon et pour les mêmes raisons , un trait de fracture ne sera bien visible en tomosynthèse que si sa direction est perpendiculaire à l'axe du balayage



DR (ou CR)



tomosynthèse



CT



-par rapport à la radiographie numérique et au scanner , la tomosynthèse

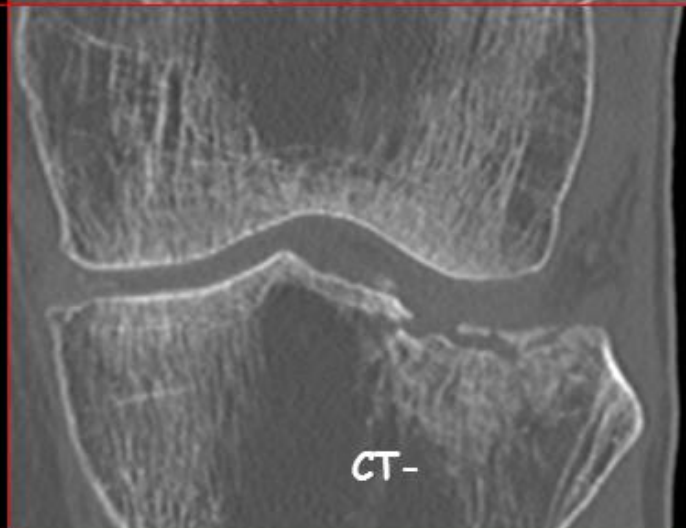
.n'a pas d'artefact métalliques ,

.peut explorer les articulations portantes "en charge"

.irradie 10 fois moins qu'un CT et 5(poigne) à 8(rachis) fois plus qu'un examen standard

.complète l'examen standard sans changer d'installation

fracture "en écuelle" du plateau tibial medial



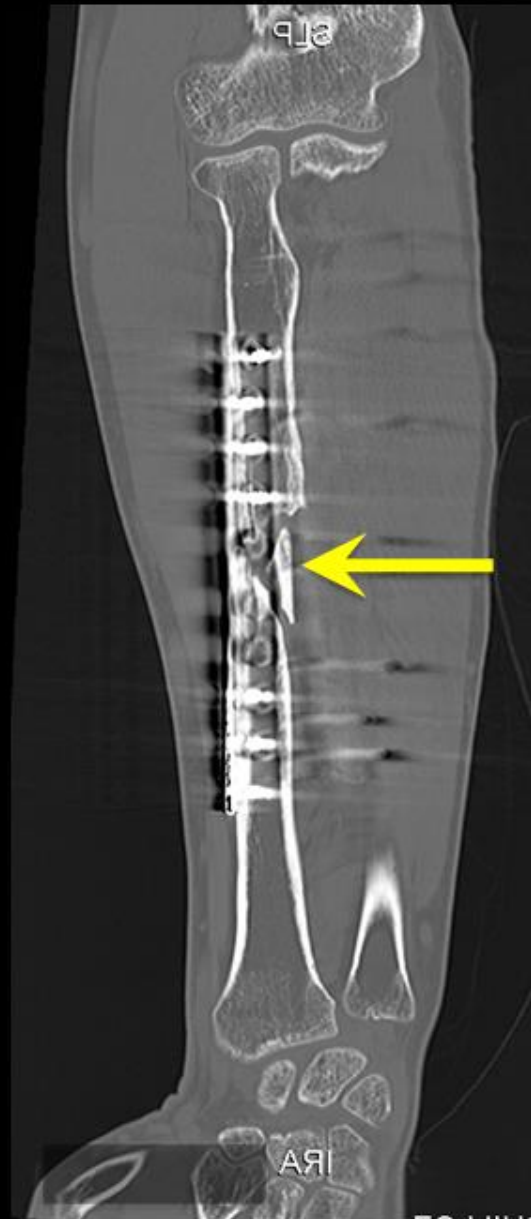
retard de consolidation



Standard X-Rays



Tomosynthesis



CT-scan



- 106 patients with wrist trauma
- X-R, TS, CT-scan, MRI (n=13), follow-up
- Scaphoid fracture (2 independent readers)

	Standard radiography (5 views)	Tomosynthesis (C and S)	CT-scan
Sensitivity	58-74%	74-84%	84-100%
Specificity	91-94%	93-96%	95-99%
Dose	0.94 mGy	0.72 mGy	19.8 mGy

*Ottenin MA, Jacquot A, Grospretre O, Noel A, Albizatti S, Lecocq S, Louis M, Blum A. Evaluation of the diagnostic performance of tomosynthesis in fractures of the wrist. AJR (in press)*

-la **double énergie** aide à confirmer les lésions osseuses responsables d'opacités sur le cliché de thorax

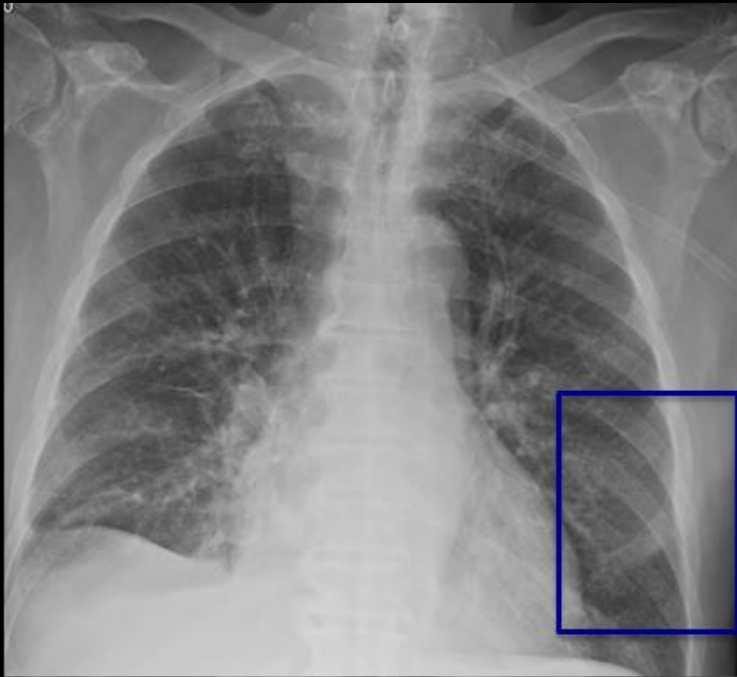


la double énergie utilise 2 acquisitions successives séparées de 200 ms

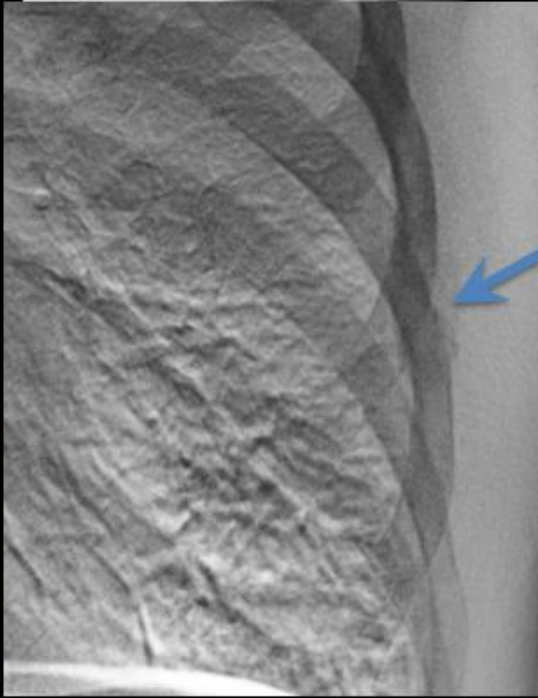
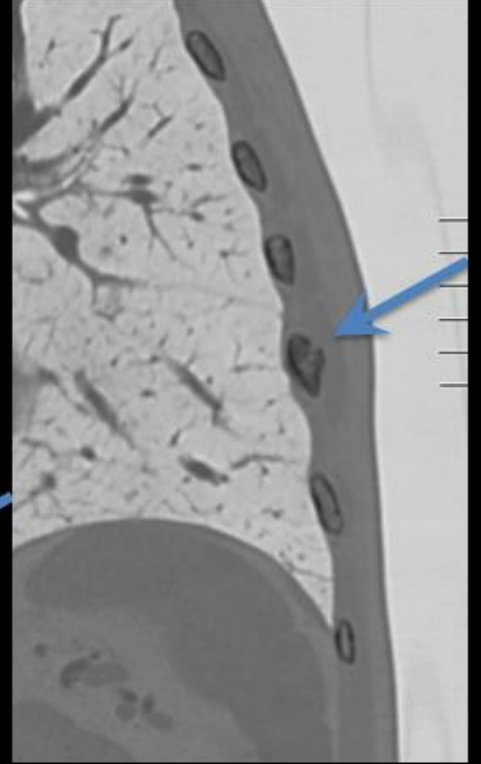
.une en moyenne tension : 70-80 kVp

.l'autre en haute tension : 120 à 130 kVp

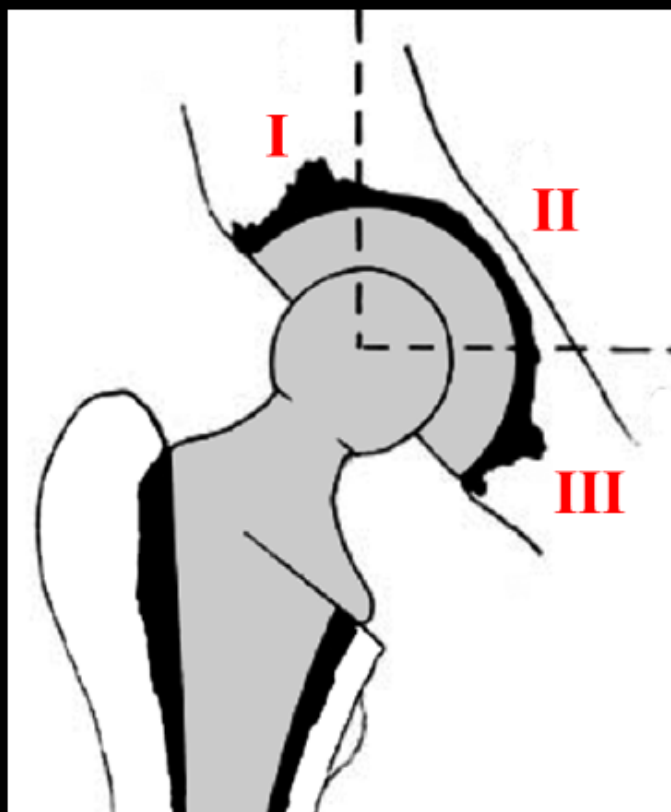
le post traitement permet de faire une image "os", une image "tissus mous", une image "os" et une image "composite"



**métastases costales**



-la **double énergie** a également une place potentielle dans le suivi des prothèses et le diagnostic des déscollements



-l'arthrographie opaque en soustraction est l'actuelle méthode de référence pour la prothèse cotyloïdienne

sensibilité 89 %    spécificité 76 %

présence de produit de contraste dans les zones I+II+III ; I+II ou II+III

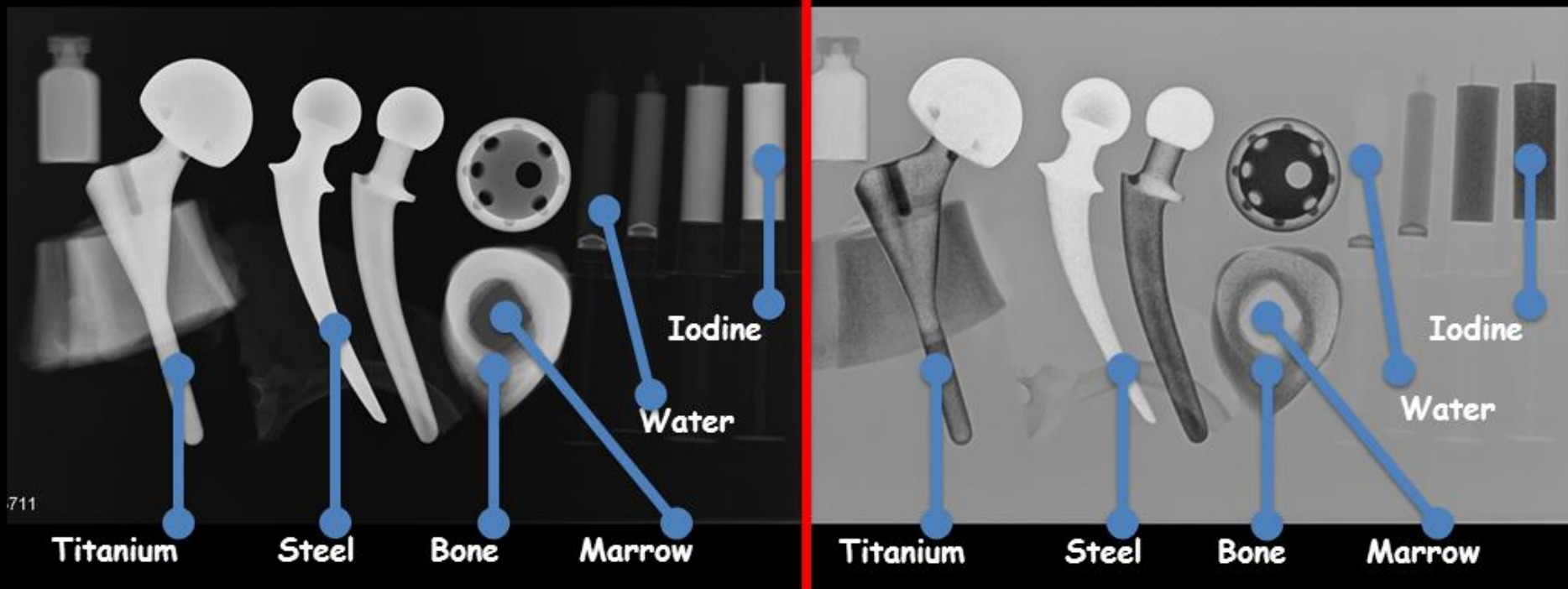
la DR peut améliorer la durée de l'examen , la qualité des résultats en réduisant la dose d'exposition si la double énergie est utilisée

**DE-arthrographie**

**l'atténuation des différents absorbeurs varie avec l'énergie des photons  
( effet photo-électrique vs diffusion Compton)**

**kVp élevé ; tissus mous**

**kVp moyen ; os**



contraste iodé = ciment < os < acier = chrome-cobalt

radiographie  
DR ou CR

Rx DR double énergie

arthrographie opaque  
DR ou CR

arthro opaque Df  
double énergie





CT-scan



Arthrography



DE-arthro

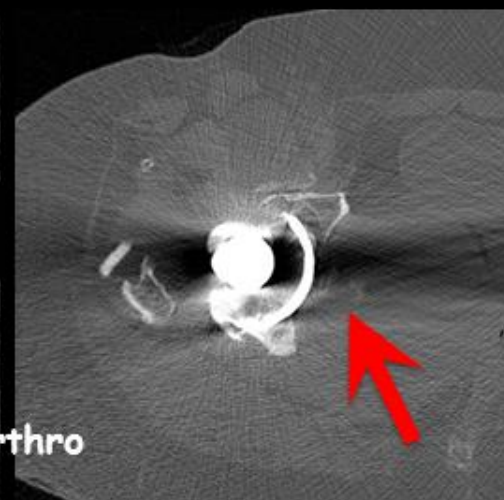
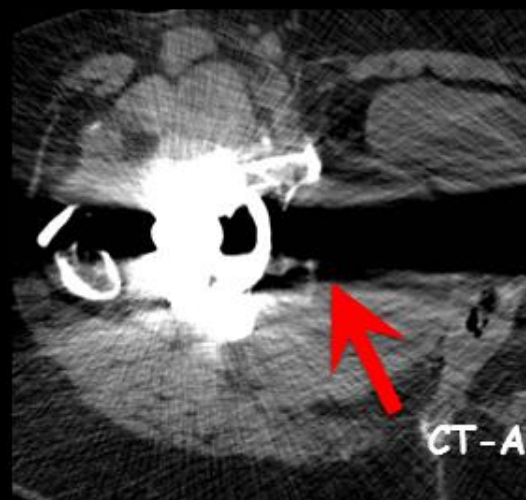
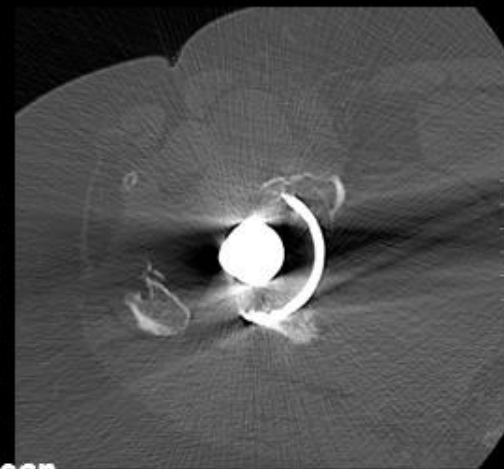
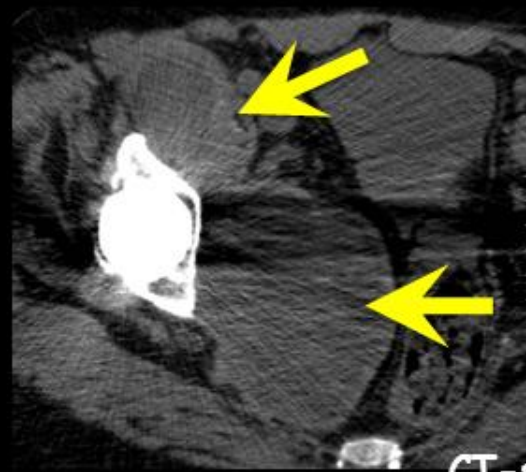


CT-arthro



TS-arthro

usure du cotyle sans descellement



collection pelvienne récidivante post prothèse : la communication est objectivée par l'arthrographie en double-énergie

## Au total

-la radiographie ostéoarticulaire conventionnelle est malheureusement **trop souvent mésestimée par les radiologues et leurs collaborateurs techniciens** .

C'est pourtant une technique très riche d'enseignements sur le plan diagnostique, pour peu que l'on ait fait l'effort de comprendre les règles régissant les principaux facteurs de qualité géométriques et photographiques de l'image.

-la **numérisation de l'imagerie par projection ostéoarticulaire en a encore majoré l'intérêt** en facilitant la lecture des informations grâce au recours sans restriction à la lecture en zoom, à l'inversion des densités et à l'optimisation du fenêtrage pour l'étude sélective des différents contingents tissulaires : os compact des corticales et de la lame sous-chondrale , trabéculations de l'os spongieux , éléments charnus et graisseux des tissus mous . **Cette lecture des images à l'écran est la seule acceptable** ; la reprographie sur film ou papier non argentique n'étant qu'une scorie du passé que l'on souhaite voir disparaître avec les négatoscopes , les enveloppes cartonnées et les sacs plastiques aux logos obscurs... pour. **Seule la lecture "intelligente" des images à l'écran permet d'extraire toutes les informations potentiellement disponibles dans le fichier numérique correspondant à une exposition !**

-**les nouvelles techniques rendues possibles par les capteurs plans** : micrographie ; pasting ; tomosynthèse , double énergie sont autant de nouveaux champs d'application qui permettent, au moins sur le plan théorique , de limiter le recours aux techniques plus lourdes et plus onéreuses d'imagerie en coupe.