

Risques déterministes de l'exposition aux rayonnements ionisants

Y-S Cordoliani

devinette

- quelle est la différence entre :

– une pomme de terre ou un malade guéri d'un Hodgkin thoracique : ils ont été **IRRADIÉS**

– et

– un astronaute ou un malade « subissant » plusieurs scanners : ils ont été **EXPOSÉS aux RI**

réponse : sémantique

- Irradiation
 - Les rayons sont utilisés pour en obtenir un effet biologique déterminé
 - Guérir un cancer
 - Stériliser des instruments ou des pommes de terre
- Exposition
 - Les rayons qui entrent dans un volume sont fortuits (rayonnement naturel) ou délivrés dans un autre but que leur effet biologique : imagerie

Risques déterministes ≠ aléatoires (stochastiques)

fortes doses

- ne se produisent **jamais** si la dose $< D_{\text{seuil}}$
- se produisent **à coup sûr** si la dose $> D_{\text{seuil}}$
- gravité croît avec la dose
- protection simple

Effets pathologiques des rayonnements ionisants : Effets déterministes

- Exposition globale
- Exposition partielle
 - Peau
 - **Cristallin**
 - Autres organes
- Grossesse

Effets biologiques

- molécule et cellule
- tissu ou organe
- organisme

Effets tissulaires d'une irradiation aiguë

- différés
- compartiments cellulaires

Cellules et tissus

radiosensibilité

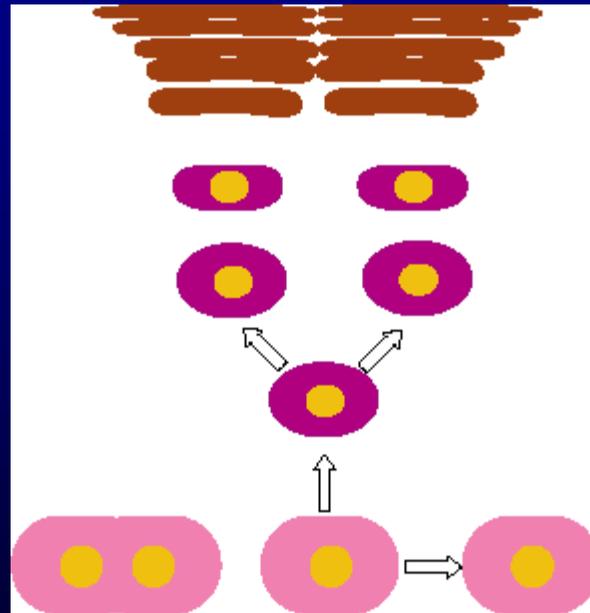
- moins différencié
- renouvellement rapide
- grand nombre de mitoses programmé

compartiments cellulaires

cellules différenciées

maturation et différenciation

cellules souches



radiosensibilité 0

radiosensibilité +

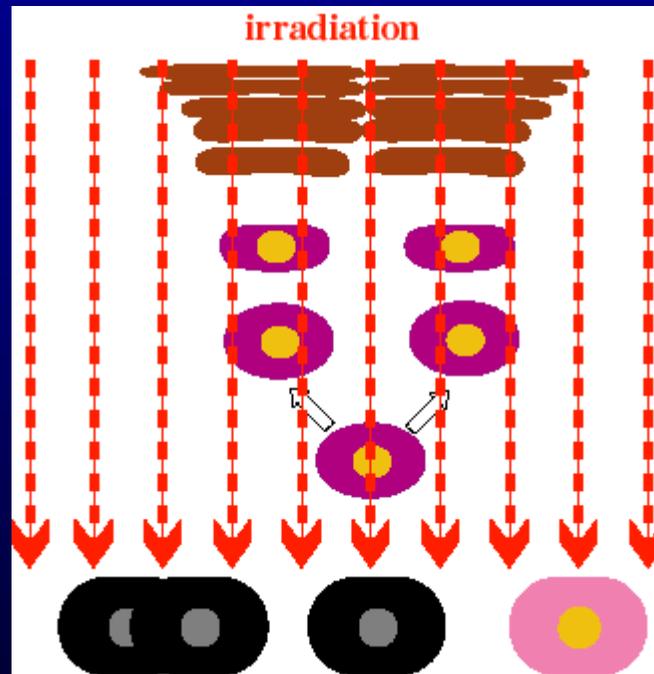
radiosensibilité ++

compartiments cellulaires

résistance

sensibilité moindre

vulnérabilité des
cellules souches



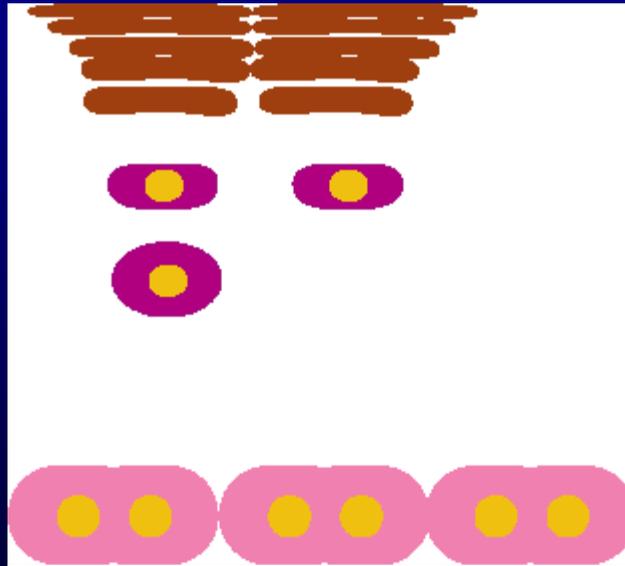
compartiments cellulaires

–latence, aucun effet clinique observable

élimination naturelle

disparition
progressive

priorité de
reconstitution des
cellules souches



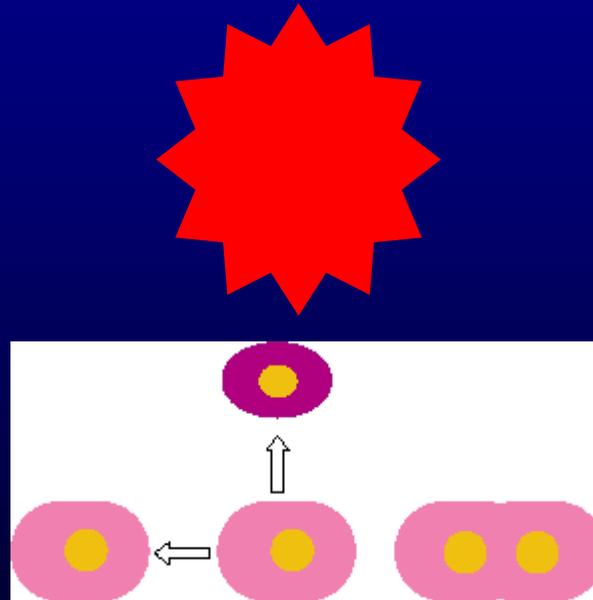
compartiments cellulaires

disparition des cellules différenciées : acmé des symptômes

Ulcération, mucite, aplasie, perforation...

reprise de
maturation

reconstitution des
cellules souches



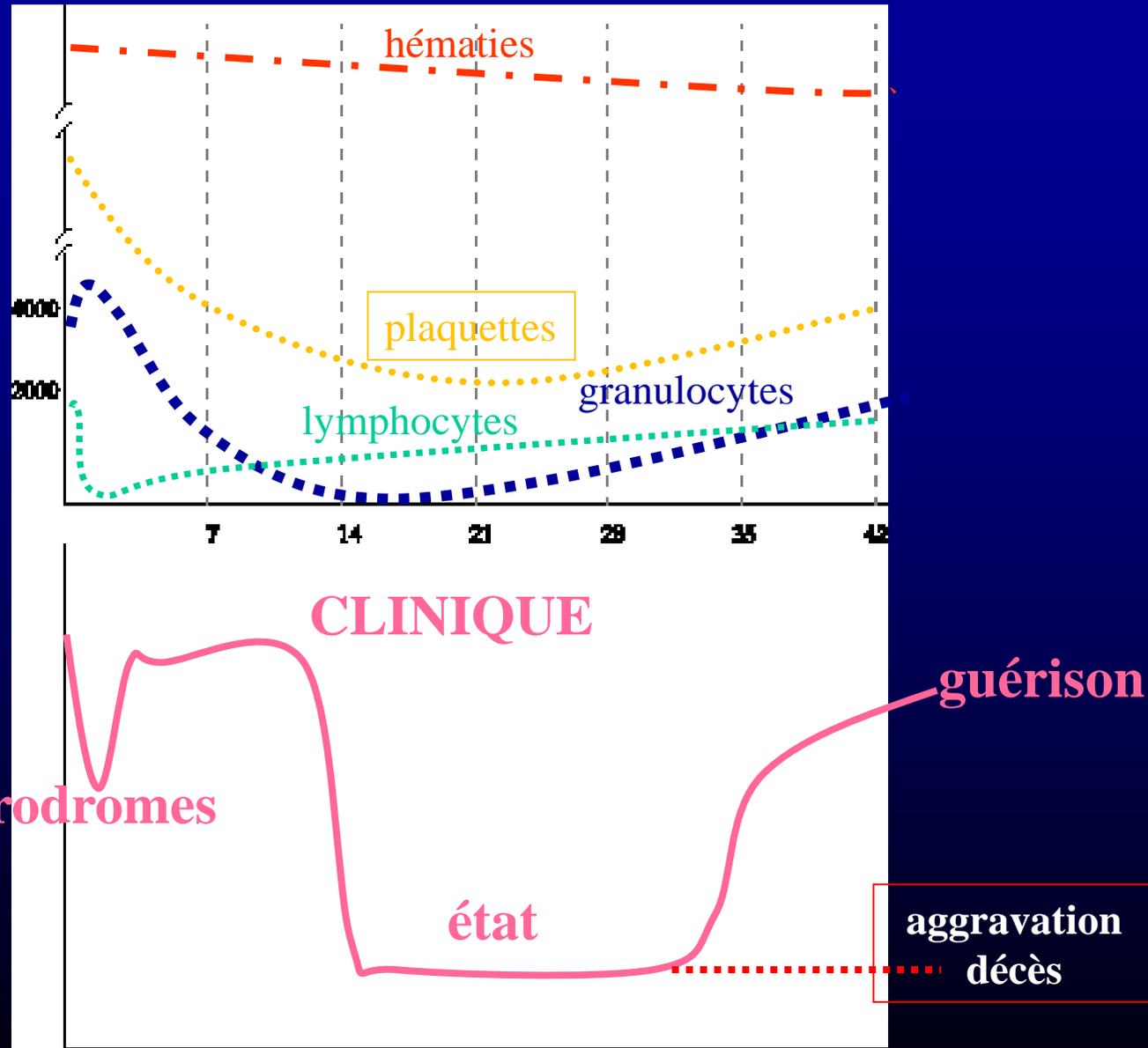
Exposition aiguë globale

- organes et tissus mis en jeu
 - tissu hématopoïétique
 - épithélium intestinal

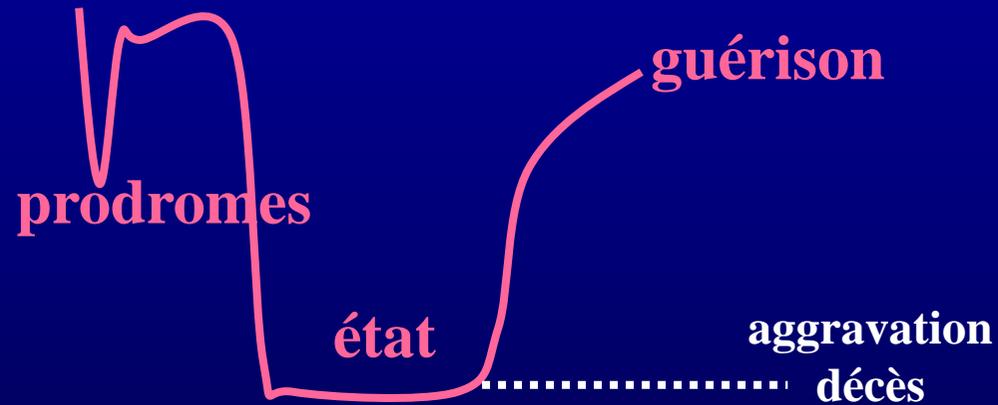
Dose létale de rayonnement : 1 juste

- Une exposition unique de l'organisme entier est toujours létale (DL 100) à partir de la dose de :
- A : 1 Gy
- B : 6 Gy
- C : 15 Gy
- D : 100 Gy

évolution des éléments figurés



évolution clinique



- plus la dose reçue est importante :
- plus la phase de latence est courte
- plus la phase d'état est longue et grave

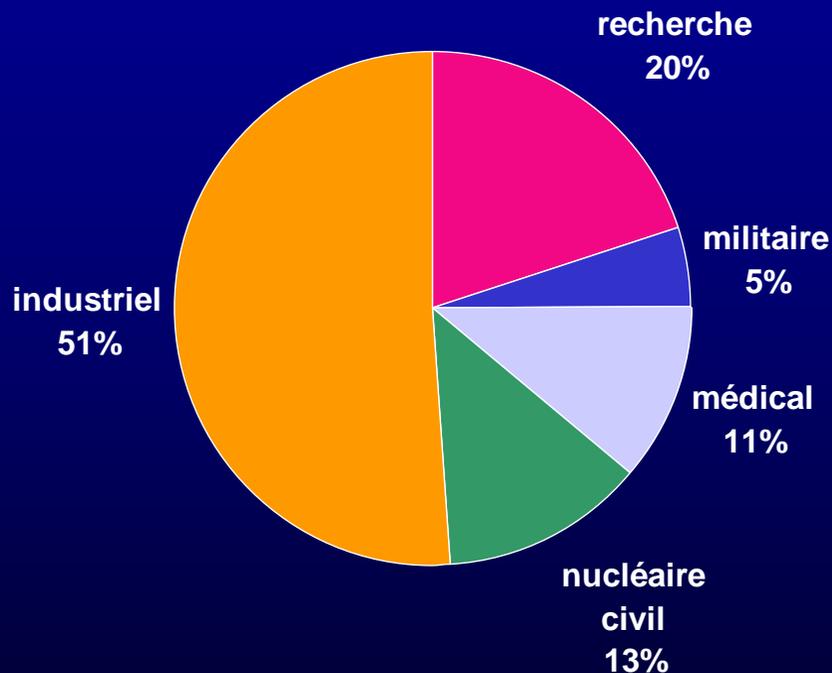
Exposition aiguë

- Irradiation corporelle totale
 - Avant greffe de moelle hématopoïétique
- Accidents
- Attentats

formes cliniques

- doses très élevées > 30 Gy
 - incapacitation neurologique
- 10 à 20 Gy : intestinale
 - IL 2 à 3 jours, tableau suraigu : diarrhée sanglante, perforation intestinale
- 3 à 10 Gy : hématologique et digestive
 - $DL_{50} = 4,5$ Gy ; $DL_{100} = 6$ Gy

ACCIDENTS



- Médicaux
 - Radiothérapie
 - Interventionnel
- Industriels
 - Accélérateurs
 - Pertes de sources
 - Criticité
- Attentats
 - Dissimulation de source

traitement théorique

- réanimation médicale
 - dès l'apparition des signes digestifs
 - alimentation parentérale
- préventif hématologique
 - chambre stérile
 - antibiothérapie prophylactique
 - transfusion et stimulation hématopoïèse

Exposition partielle

- peau
- cristallin
- autres organes : lésions radioinduites
- embryon et fœtus (tératogénèse)

Quelle est la dose moyenne délivrée à la peau par 20 minutes de scopie ?

- A) 0,2 à 2 mGy
- B) 2 à 20 mGy
- C) 20 à 200 mGy
- D) 200 à 2 000 mGy (0,2 à 2 Gy)

–une minute de scopie

–10 à 100 mGy

– selon corpulence du patient

Peau

Exposition aiguë

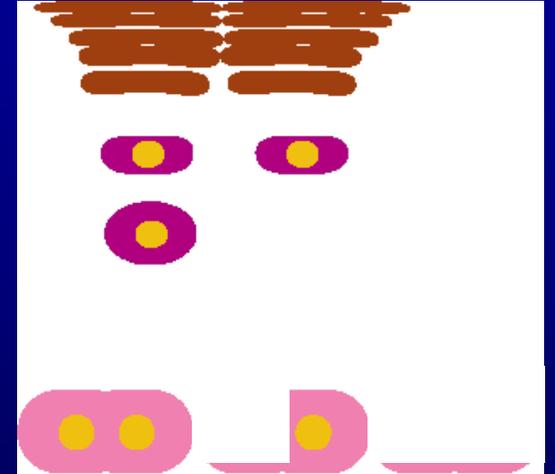
- Seuil > 3 Gy
- 3-5 Gy épidermite sèche
 - Différée (3 semaines)
 - Précédée
 - d'épilation > 4 Gy
 - d'érythème précoce : 5 à 6 Gy (« dose érythème »)
- > 20 Gy épidermite exsudative
- > 30 Gy radionécrose

! Radiosensibilité individuelle éventuelle !

Peau

Irradiation chronique

- 1° irradiation abaisse le seuil
 - Dépeuplement © souches
- 2° irradiation infralimininaire
 - Épidermite
- Exposition chronique (> 2 Gy / an)
 - Radiodermite chronique
 - Atrophie
 - Malvascularisation



“Durées seuils” des lésions cutanées en radiologie interventionnelle

Effet	Dose seuil (Gy)	Minutes scopie 20 mGy/min	Minutes scopie 100 mGy/min
Érythème transitoire	5	250 (4h)	50
Épilation définitive	7	350 (6h)	70 (1h10)
Nécrose dermique	30	1 500	180 (3h)

Lésion cutanée après angioplastie coronaire



Épidermite sèche
(angioplastie) 17 Gy
Apparition à S4



Épidermite exsudative
(angioplastie) 22 Gy
S5

Dose cumulée > 20 000 mGy (20 Gy) après coronarographies et 2 angioplasties coronaires



21 mois après la procédure initiale : radionécrose

Peau

Exposition chronique

- 1° irradiation abaisse le seuil
- 2° irradiation infraliminaire
 - Épidermite
- Exposition chronique (> 2 Gy / an)
 - Radiodermite chronique
 - Atrophie
 - Malvascularisation

RADIODERMITE

–Ablation foyers ectopiques veines pulmonaires : 2 procédures

–Pigmentation et télangiectasies

–Plaque atrophique indurée



(REPORTED BY E. VANO, 1997)

Radiodermite chronique

Sécheresse

Fragilité

Excoriations

retard de cicatrisation

Ongles striés fragiles

Télangiectasies



crystallin et cataracte

- avasculaire
- couche épithéliale antérieure transparente
 - toute lésion \Rightarrow opacité
 - renouvellement permanent \leftarrow couche germinative
- cataracte
 - corticale, nucléaire ou sous capsulaire postérieure
 - opacités cristalliniennes : 96% > 60 ans

cataractogenèse radioinduite

- postérieure, sous capsulaire, dans l'axe visuel
 - non spécifique (corticoïdes, diabète, uvéite chronique)
 - ≠ cataracte UV (superficielle)
 - ≠ cataracte tabac (nucléaire)
- sensibilité diminue avec l'âge
 - enfant +

Cristallin

- CIPR 60 (réglementation actuelle)
 - Opacités cristalliniennes
 - > 1-2 Gy en exposition unique
 - > 5 Gy en exposition fractionnée
 - Cataracte
 - > 5 Gy en exposition unique
 - > 10 Gy en exposition fractionnée
- DMA = 150 mGy appelée à disparaître

données plus récentes...

- opacité cristallinienne après dose < 2 Gy
 - Klein 1993, scanner
 - Hall 1999, Wilde 1997, radiothérapie
 - Cuinotta 2001, Rastegar 2002, astronautes
 - Nakashima 2006, Neriishi 2007, Hiroshima/Nagasaki
 - Day 1995, Worgul 2007, Tchernobyl
 - Chodik 2008, manipulateurs
 - Junk 2004, radiologues interventionnels
 - Kleiman 2009, Vano 2010, cardiologues interventionnels

» ...mais pas les patients en interventionnel « tête »

cependant pas toutes concordantes ..

- Blue Mountains eye study (Hourihan 1999)
 - pas d'augmentation de la prévalence de cataracte après scanner
- Chmelevsky 1988
 - pas d'augmentation après exposition au radium > 2 Gy
- Guskova (1999)
 - pas d'augmentation chez les travailleurs du nucléaire après exposition chronique < 2 Gy

- arguments biologiques expérimentaux

- pas de cataracte après irradiation si inhibition de division cellulaire (Worgul 1989, 1991)

- » altération génomique et non mort cellulaire

- » (i.e : stochastique et non déterministe)

données biologiques compatibles avec un
risque stochastique

Exposition manipulateurs radio .. en tant que patients

- Chodick 2008
 - étude prospective, 20 ans, 37 500 manipulateurs
 - questionnaire (cataracte ou chirurgie), incluant facteurs de confusion (soleil, obésité, diabète, HTA)
 - risque augmente avec le nombre d'examens radiologiques subis par le sujet, stt tête et cou
 - en revanche risque n'augmente pas significativement avec la longueur d'exposition professionnelle (médiane dose # 30mGy)
 - risque OSCP 1/ppl à l'âge à l'exposition

opacités ≠ cataracte

- irradiation teigne
 - effectifs $\approx 200\ 000$
 - dose $\approx 0,2-0,8$ Gy
 - à 15 ans : 13 cas d'opacités postérieures vs 2 témoins
 - à 25 ans pas d'augmentation cataracte (Shore 1976)

- ☞ opacités cristalliniennes : 96% > 60 ans

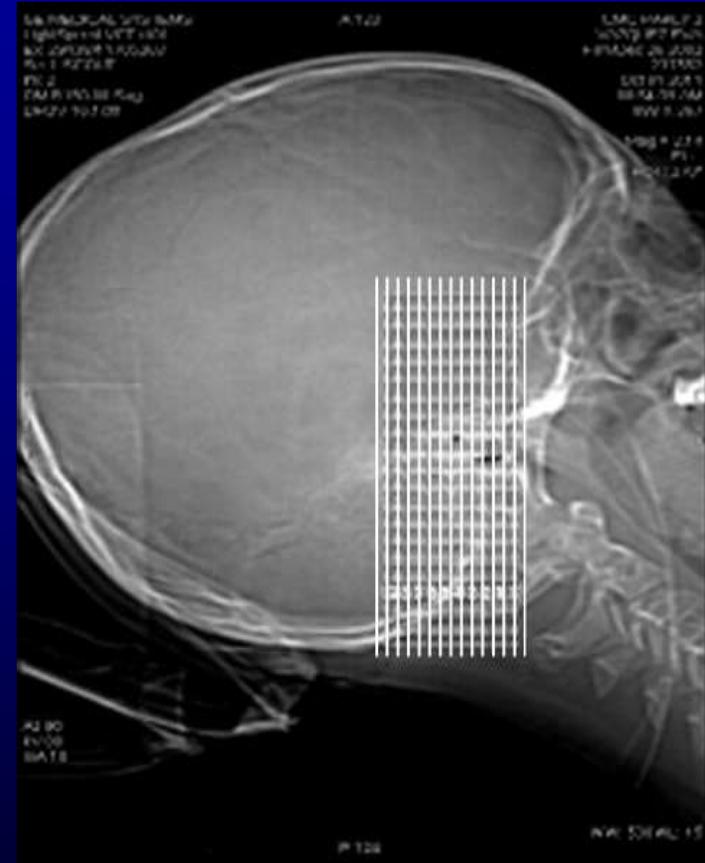
MODIFICATION EN COURS

- Le seuil actuel pour les expositions fractionnées,
 - 5 Gy, pour les opacités infracliniques
 - 8 Gy pour le handicap visuel
sous estime probablement le risque
- La directive 2013-59 EURATOM fixe une DMA cristallin à
 - 20 mSv/an (100 mSv/5 ans ; pas plus de 50 mSv en un an)
 - » = DMA « organisme entier »
 - Transposition avant février 2018

opérateurs et assistants



scanner rochers (enfant ++)



sans attendre..

Autres organes

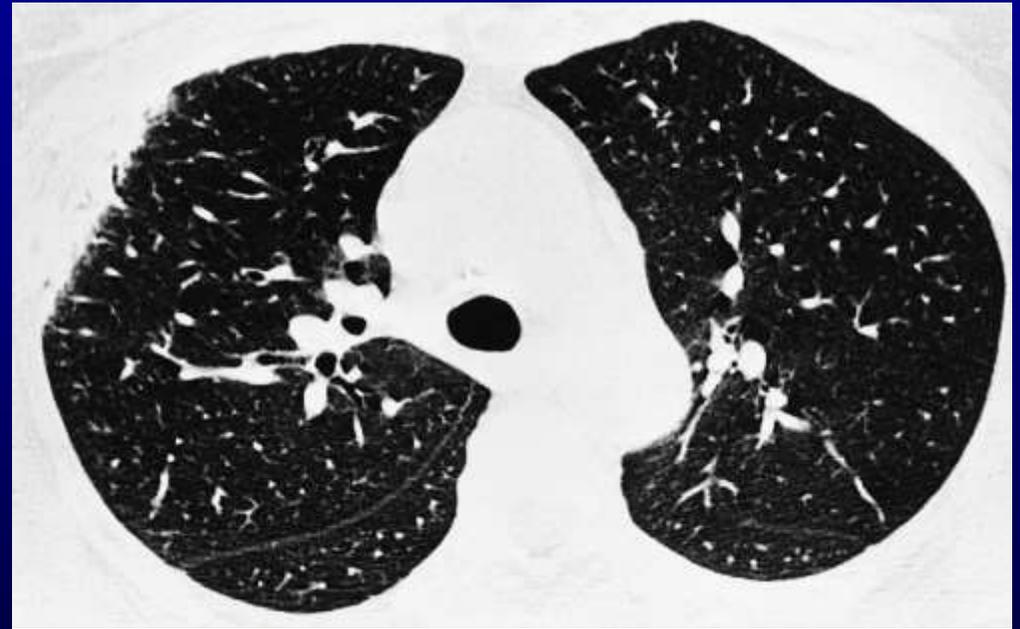
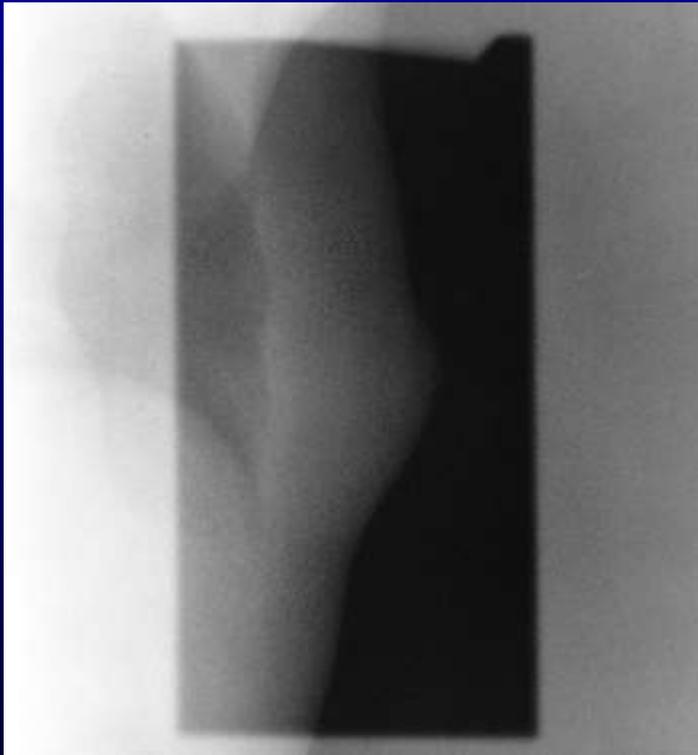
- gonades
- Poumons
- Intestin
- Os
- SNC

gonades

- Homme
 - Stérilité transitoire $> 0,2$ Gy
 - Stérilité définitive 4 à 6 Gy
- Femme
 - Stérilité définitive 3 – 6 Gy
 - et castration

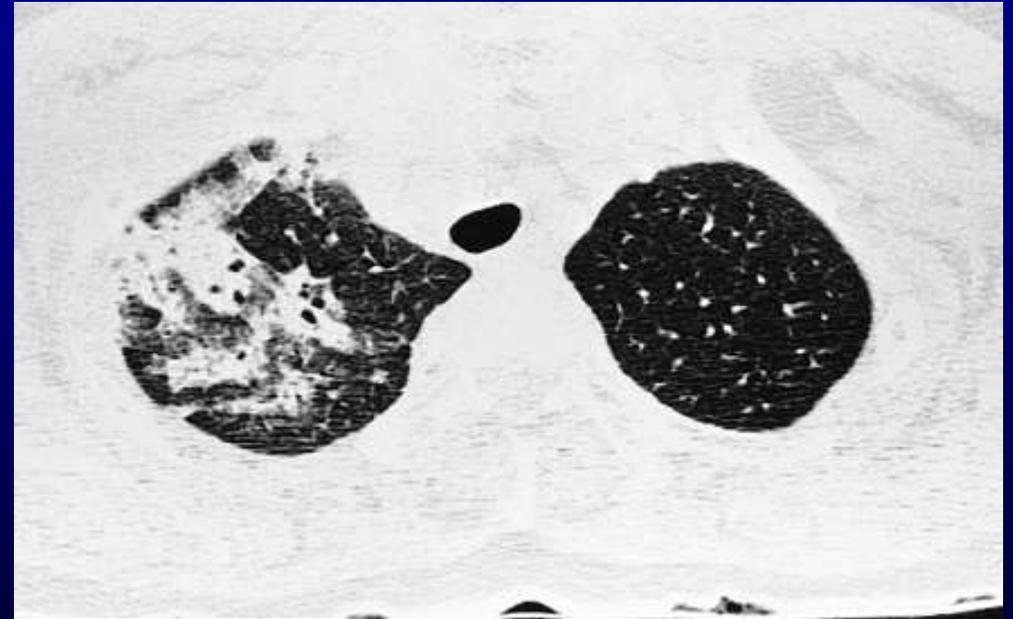
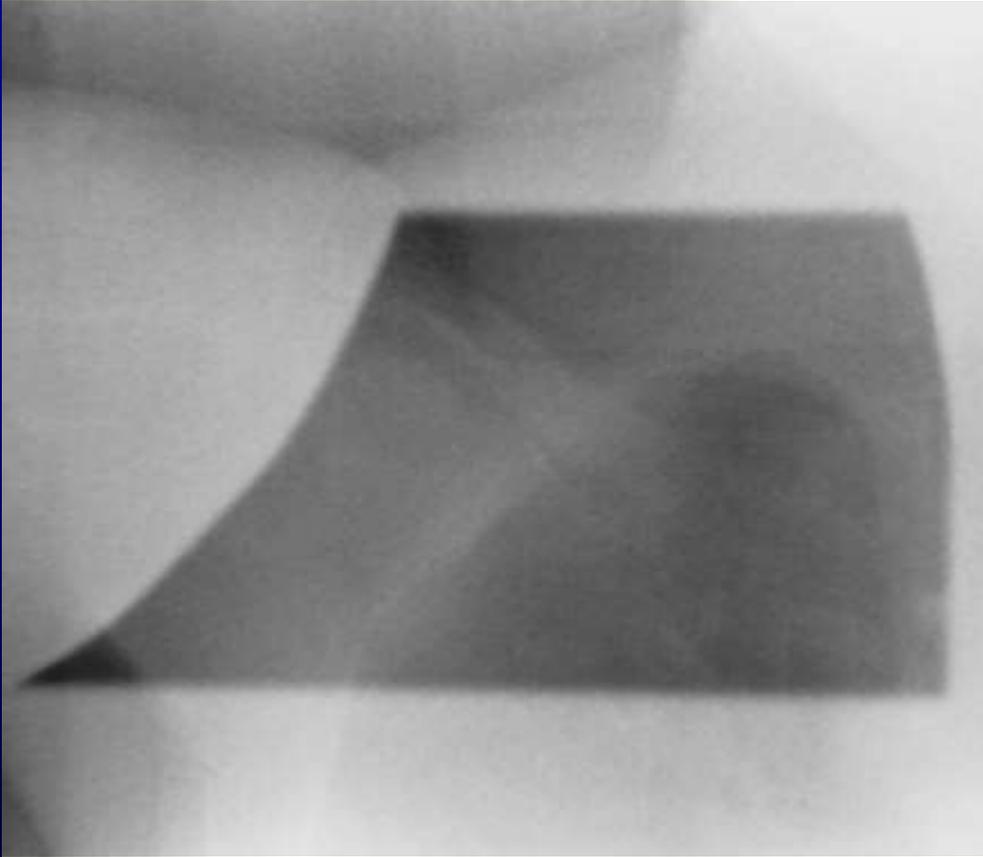
Lésions pulmonaires radiques

- Pneumopathie radique = 8 Gy en dose unique



Park K J et al. Radiographics 2000;20:83-98

Lésions pulmonaires radiques



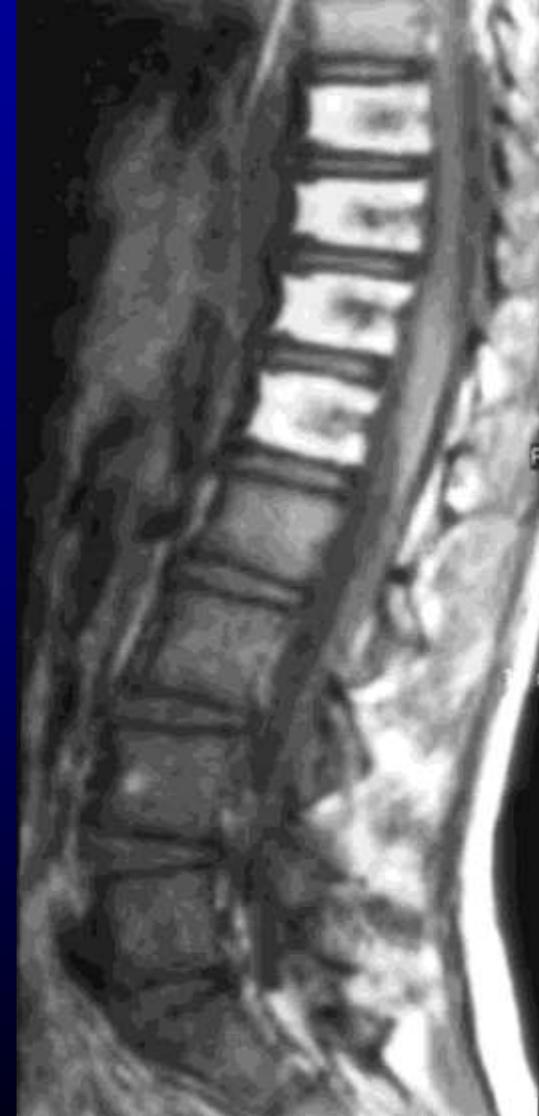
Entérite radique



- 4 à 6 Gy dose unique

Lésions osseuses radicales

- Moelle osseuse
 - Destruction et remplacement par de la graisse





Lésions osseuses radiques

Cartilages de croissance

Stérilisation (à partir de 20 Gy en dose fractionnée)

Troubles de croissance et de modelage

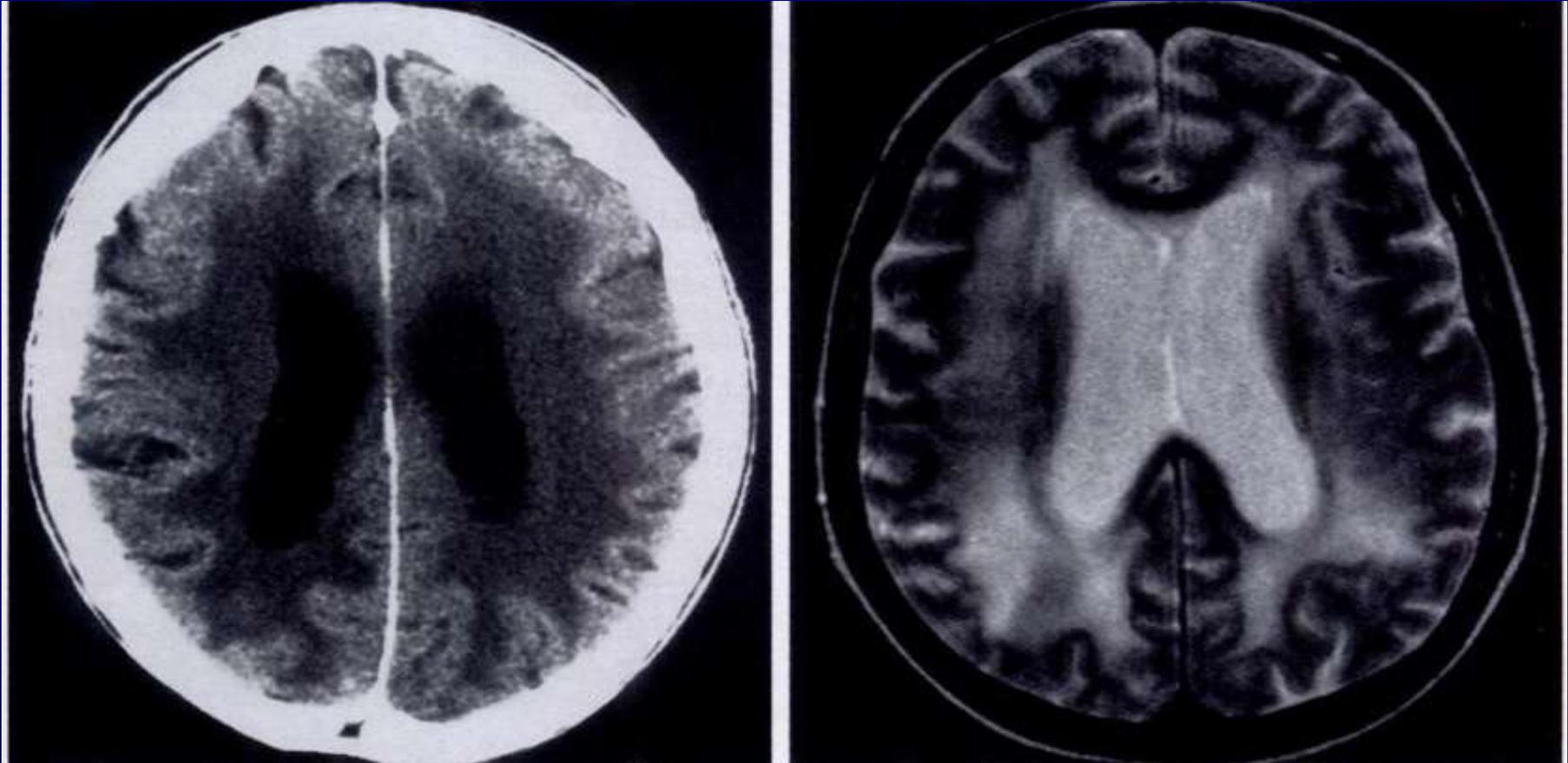


Lésions osseuses radiques

Cartilages de croissance

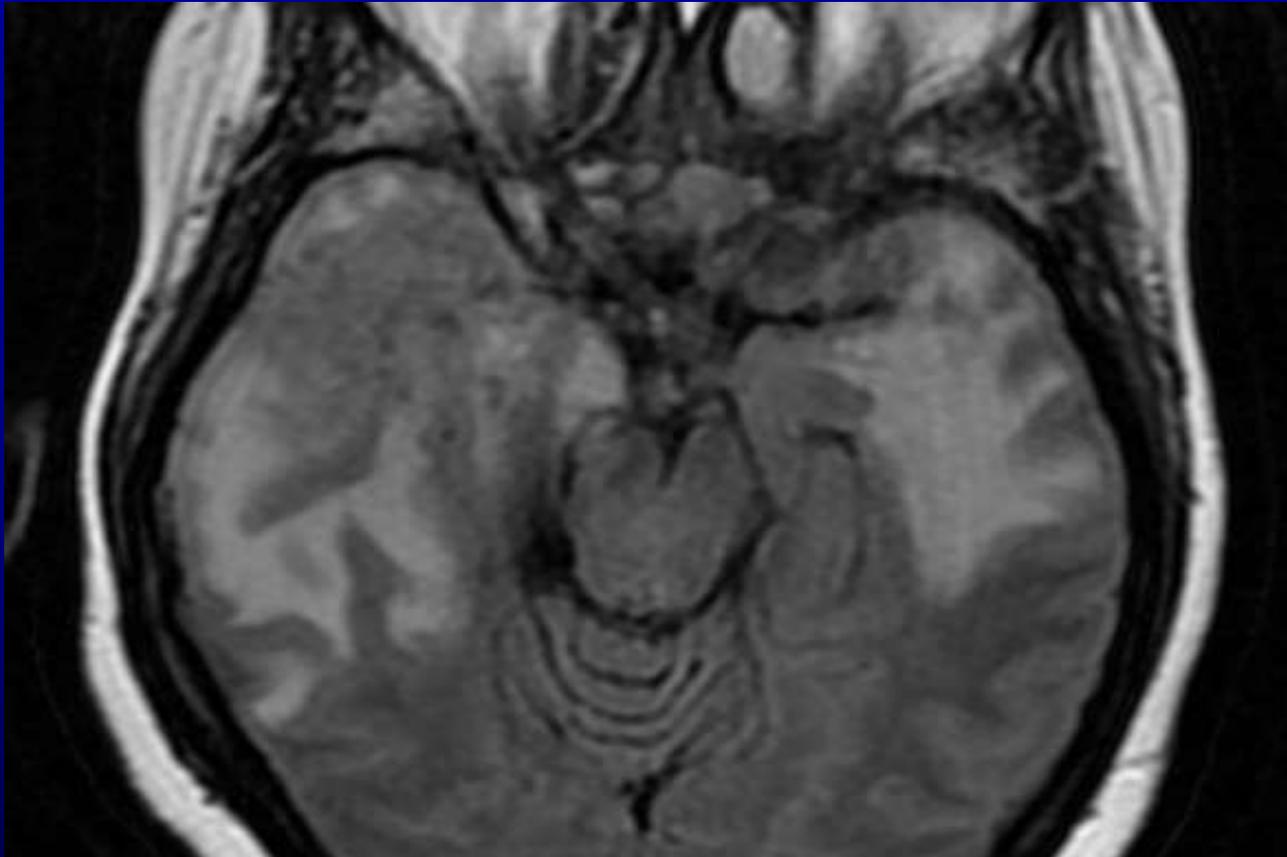
Stérilisation

Troubles de croissance : scoliose



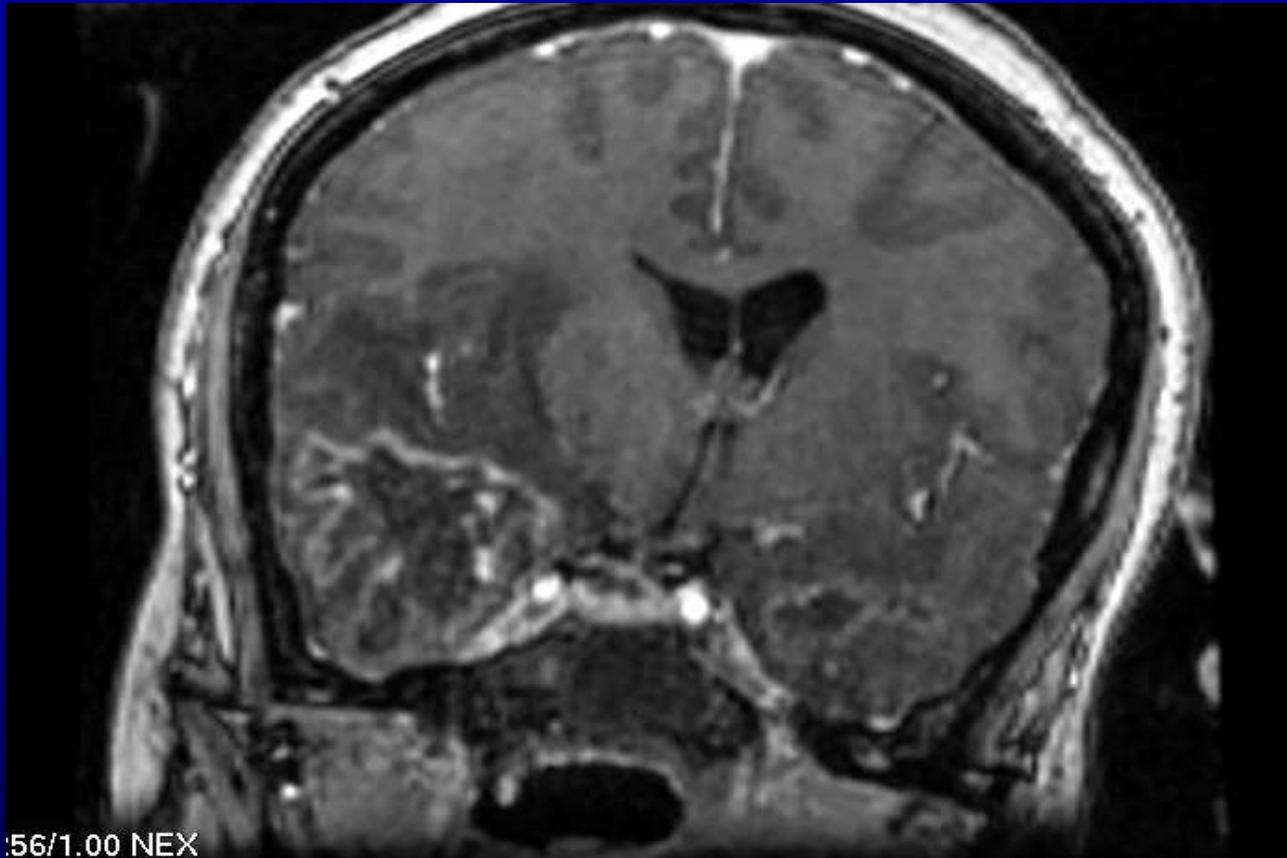
Lésions cérébrales radiques

Leucoencéphalopathie > 30 Gy dose fractionnée



Lésions cérébrales radiques

Radionécrose cérébrale > 50 Gy dose fractionnée



Lésions cérébrales radiques

Radionécrose cérébrale



Myélopathie radique

à suivre

Effets sur l'embryon et le foetus

Rayonnement naturel

rayons cosmiques

- niveau de la mer 0,25 mSv / an
- Mexico (2240 m) 0,80 mSv / an

exposition externe aux rayonnements terrestres

- moyenne 0,9 mSv / an
- Espirito Santo (Brésil) 35 mSv / an
- Limousin 1,20 mSv / an

exposition interne liée aux eaux de boisson

- eau de St Alban 1,25 mSv / an

CIPR effets déterministes cristallin

- In recent years a number of new studies have suggested an elevated risk for cataract development in populations exposed to low doses of ionising radiation below these assumed thresholds. For example, dose-related lens opacification has been reported at exposures significantly lower than 2 Gy among those undergoing CAT scans (Klein et al., 1993) or radiotherapy (Hall et al., 1999; Wilde and Sjostrand, 1997), in astronauts (Cucinotta et al., 2001; Rastegar et al., 2002; Chylack et al., 2009), atomic bomb survivors (Nakashima et al., 2006; Neriishi et al., 2007), residents of contaminated buildings (Chen et al., 2001, Hsieh et al., 2010), victims of the Chernobyl nuclear accident (Day et al., 1995; Worgul et al., 2007), radiologic technologists (Chodick et al., 2008), interventional radiologists (Junk et al., 2004) and interventional cardiologists (Kleiman et al., 2009, Vano et al., 2010). These human epidemiological studies, as well as recent work with experimental radiation cataract in animals, suggest that cataract may occur following exposure to significantly lower doses of ionising radiation than assumed previously. Such observations have implications for individuals undergoing radiotherapy or diagnostic procedures and for those occupationally exposed to ionising radiation, such as interventional medical personnel, nuclear workers or astronauts