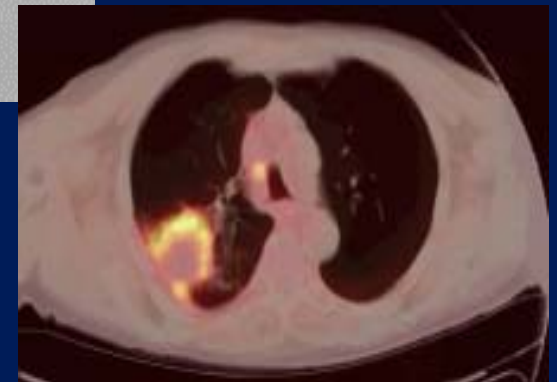


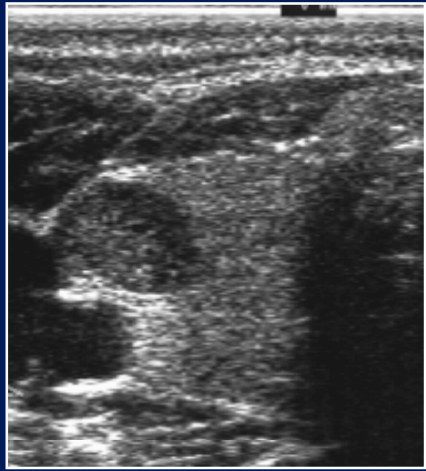
Les dangers et les risques des techniques d'imagerie médicale

évaluation, réglementation, gestion

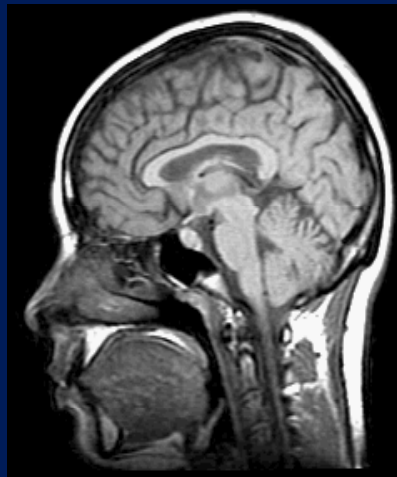
- à chacun ses risques
- ultrasons
- rayonnements non ionisants
- rayonnements ionisants
- les vrais risques
- aurengo@wanadoo.fr



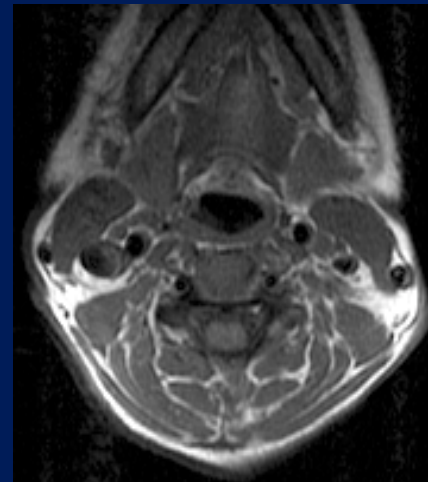
à chacun ses risques



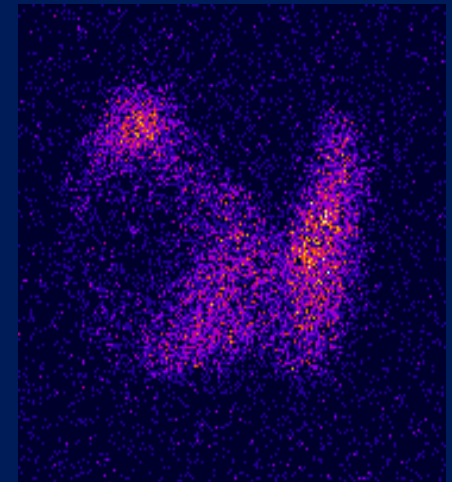
échographie



IRM



radiographie
scanner
TEP-scanner

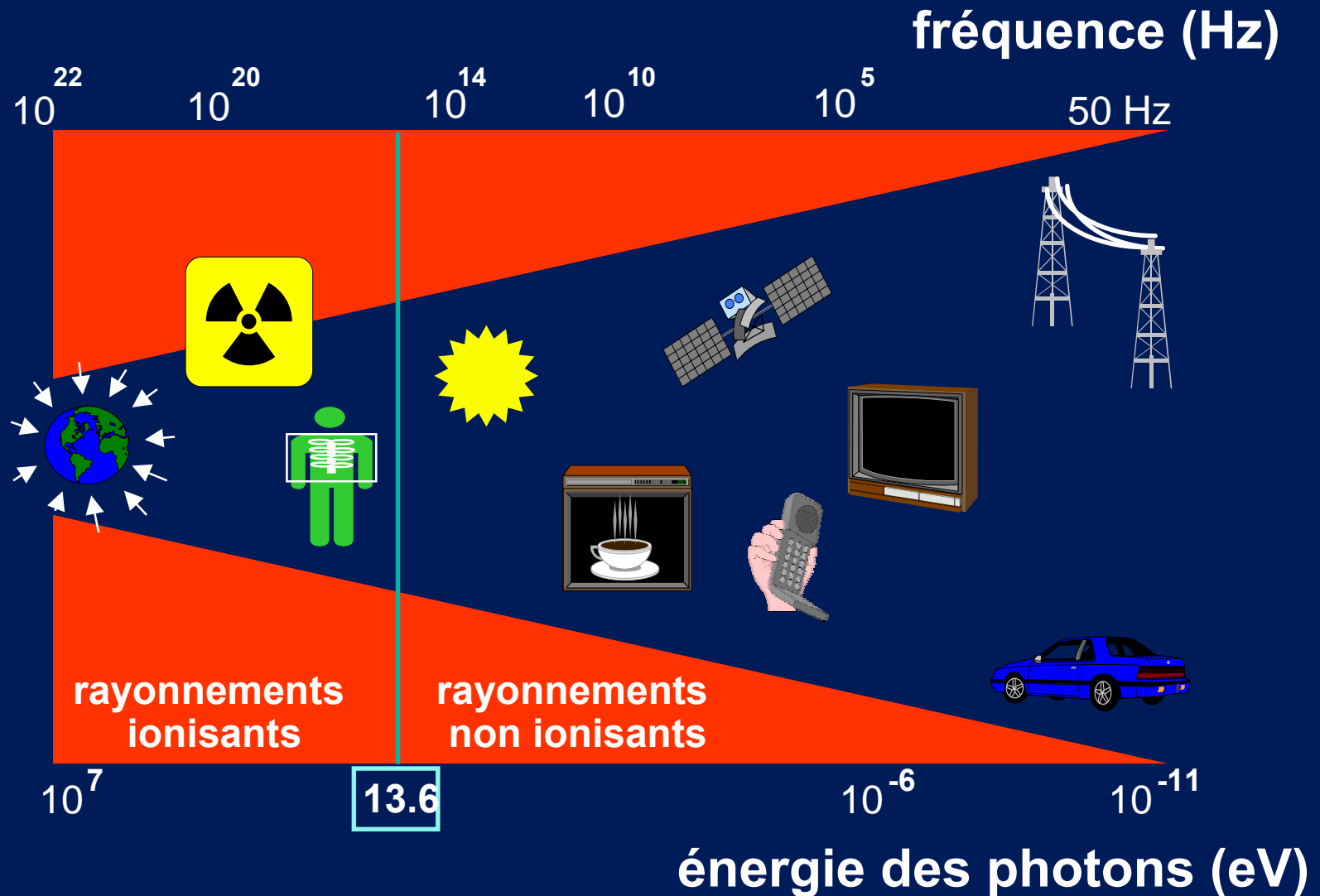


scintigraphie
TEP

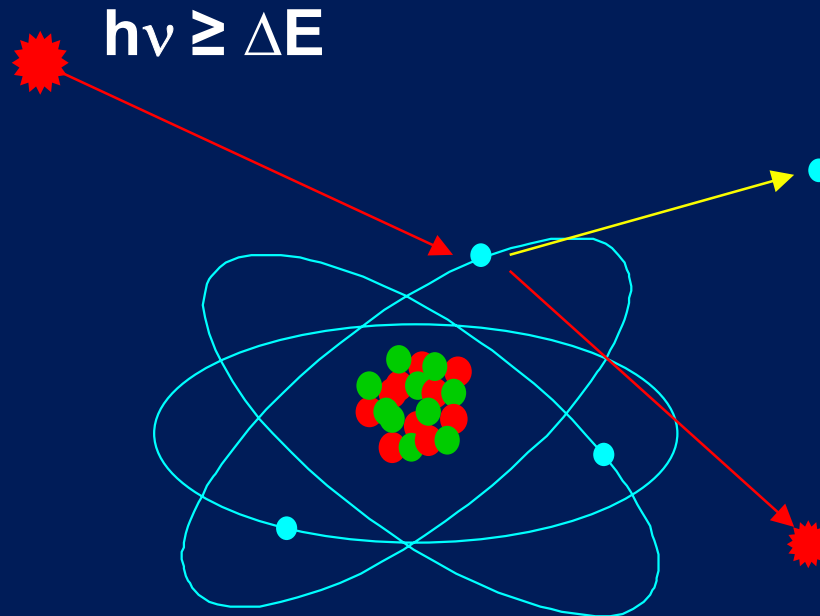
non ionisant

ionisant

rayonnements ionisants et non ionisants



rayonnements ionisants et non ionisants



	ΔE
C	11,24 eV
H	13,54 eV
O	13,57 eV
N	14,24 eV

H₂O # 13,6 eV

altérations de l'ADN
mutations radioinduites

- liaisons covalentes 1 eV
- liaisons de van der Waals 10^{-1} eV

échographie ultrasons non ionisants

effets thermiques

- intensité $> 5 \text{ W.cm}^{-2}$ à 3 MHz
- intensité usuelle $\approx 0,01 \text{ W.cm}^{-2}$



cavitation transitoire

- basse pression : microbulles
- haute pression : implosion, échauffement, $\text{H}\cdot$ et $\text{OH}\cdot$
- intensité $> 100 \text{ W.cm}^{-2}$ à 1 MHz

utilisations industrielles

- désablage des moules
- nettoyage des coques de navires

échographie

cavitation stable

- oscillations forcées de microbulles préexistantes
- $F_{US} \times R_{bulle} = 0,33 \text{ m.s}^{-1}$
- intensité $> 3 \text{ W.cm}^{-2}$ à 1 MHz / durée $> 2 \text{ ms}$
- intensité usuelle $\# 0,01 \text{ W.cm}^{-2}$
- durée des pulses $\#$ quelques μs

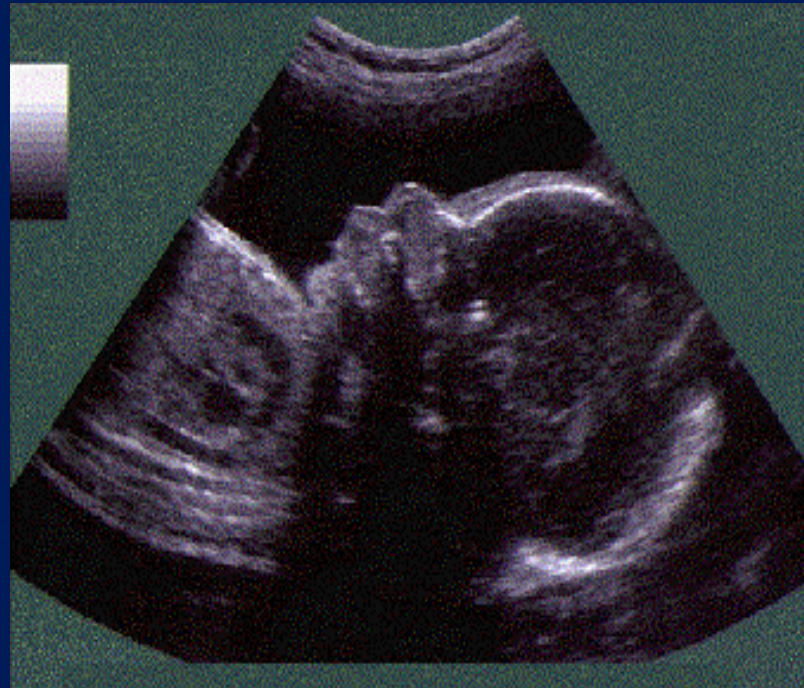
études épidémiologiques chez l'homme

- pas d'atteinte génétique
- pas d'effet tératogène
- pas d'augmentation de l'incidence des cancers
- pas de retard psycho-moteur chez l'enfant

échographie

recommandation

$$I_{\text{moyenne}} \times t_{\text{exposition}} < 50 \text{ J.cm}^{-2}$$

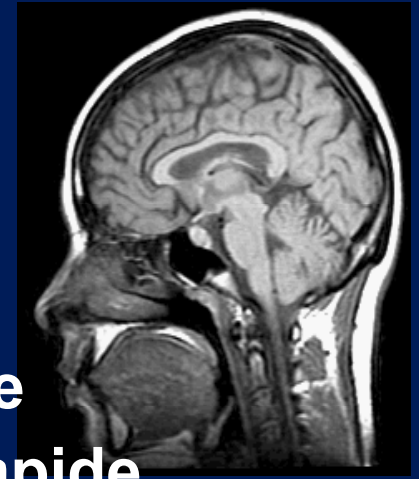


IRM

CM et RF non ionisants

agents physiques... et chimiques

- champ magnétique permanent uniforme
- champs magnétiques à commutation rapide
- radiofréquences ($43 \text{ MHz} \cdot \text{T}^{-1}$)
- produits de contraste (Gd)



IRM

a priori d'une totale innocuité

sang en mouvement dans le champ magnétique statique

- courants induits
- potentiels transmembranaires (5 mV dans l'aorte)
- sans danger avec les champs actuellement utilisés (≤ 4)
- facteur limitant l'augmentation future des champs

énergie déposée par la radio fréquence excitatrice

- dissipée dans les tissus sous forme thermique
- maximal au niveau des membres, du cou et de la tête
- sans danger compte tenu des puissances utilisées
- les techniques nécessitant de fortes énergies s'approchent des puissances maximales acceptables

IRM

formellement contre-indiquée :

- **porteurs de prothèses et implants métalliques**
couples de torsion mécaniques intenses
éventuels phénomènes d'échauffement local
prothèses actuelles non ferromagnétiques
- **dispositifs de type pacemaker**
fonctionnement gravement perturbé

mise en mouvement des objets métalliques

- **clefs, chariots : dangereux projectiles**

risques des produits de contraste

effacement des cartes bancaires, disques magnétiques

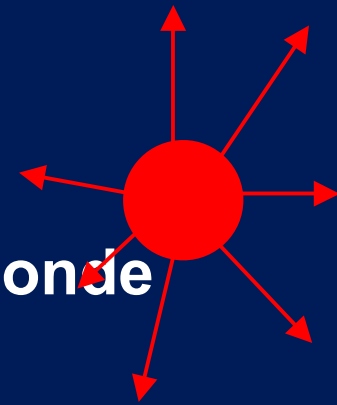
examens utilisant des rayonnements ionisants

- radiographie classique
- scanner
- radiologie interventionnelle
- scintigraphie
- TEP
- TEP-scanner

unités

activité : désintégrations par seconde

- becquerel **Bq** : 1 désintégration / seconde
- curie **Ci** : 37×10^9 Bq (37 GBq)



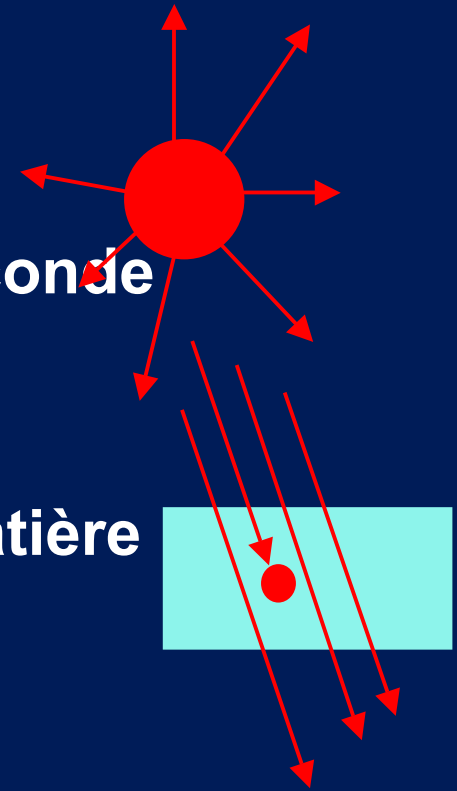
unités

activité : désintégrations par seconde

- becquerel **Bq** : 1 désintégration / seconde
- curie **Ci** : 37×10^9 Bq (37 GBq)

dose : énergie absorbée / masse de matière

- gray **Gy** : 1 joule / kilogramme



unités

activité : désintégrations par seconde

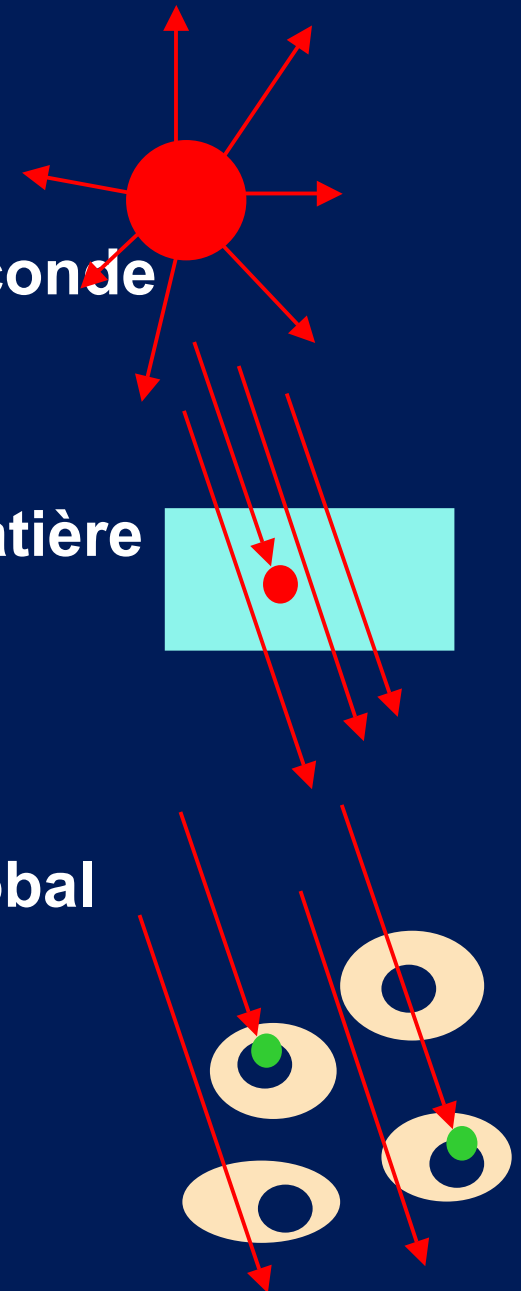
- becquerel **Bq** : 1 désintégration / seconde
- curie **Ci** : 37×10^9 Bq (37 GBq)

dose : énergie absorbée / masse de matière

- gray **Gy** : 1 joule / kilogramme

dose efficace : indicateur du risque global

- dose absorbée $\times W_R \times W_T$
- sievert **Sv**
- $W_R = 1$ pour RX, bêta et gamma
- $W_T = 0.05$ pour la thyroïde



intérêt et limites de la dose efficace



bien adaptée aux besoins de la radioprotection

unité additive

- exemple

	W_R	W_T	%
RX : 100 mGy / 50 cm² peau	1	0,01	30 %
¹³¹I : 10 mGy / thyroïde	1	0,05	100 %
dose efficace = (100 x 1 x 0,01 x 0,30) + (10 x 1 x 0,05 x 1)			
dose efficace = 0,8 mSv			

indicateur de risque stochastique (# proportionnel) > 200 mSv

sans valeur probabiliste aux faibles doses

ne tient compte ni du débit de dose, ni de l'âge

ordres de grandeur des doses efficaces

10.000 mSv : irradiation aiguë / mort rapide

1.000 mSv : irradiation aiguë / signes cliniques

5 mSv : irradiation annuelle à Clermont-Ferrand

2,5 mSv : irradiation annuelle à Paris

1 mSv : limite annuelle légale pour la population

1 mSv : irradiation annuelle moyenne médicale en France

dangers et risques des RI

risques non stochastiques (déterministes)

- se produisent à coup sûr si la dose $> D_{\text{seuil}}$
- gravité croît avec la dose
- exemple : irradiation moëlle osseuse $> 5 \text{ Gy} \Rightarrow$ aplasie
- erythème, brûlure, **aplasie**, **radiomucite aiguë**, **œdème cérébral**
- protection simple

dangers et risques des RI

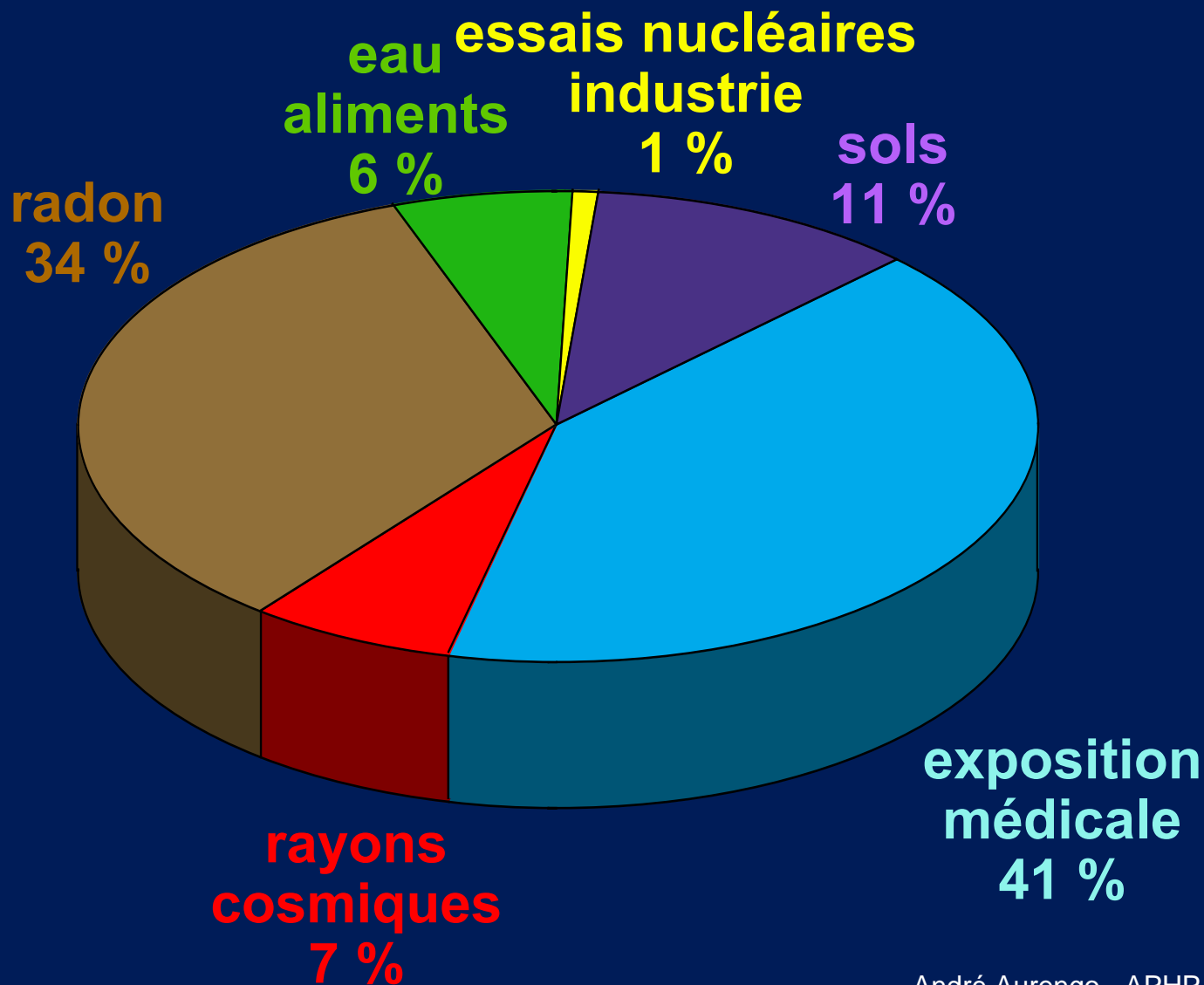
risques non stochastiques (déterministes)

- se produisent à coup sûr si la dose $> D_{\text{seuil}}$
- gravité croît avec la dose
- exemple : irradiation moëlle osseuse $> 5 \text{ Gy} \Rightarrow$ aplasie
- erythème, brûlure, **aplasie**, **radiomucite aiguë**, **œdème cérébral**
- protection simple

risques stochastiques (aléatoires)

- probabilité croît avec la dose
- gravité indépendante de la dose
- exemple : irradiation thyroïde enfant $> 100 \text{ mGy}$ fort dd \Rightarrow cancer
- cancérogénèse, malformations congénitales
- protection complexe : exposition, modèle dose-risque, seuil

irradiation naturelle et médicale



variations de l'irradiation naturelle

rayons cosmiques

- niveau de la mer 0,25 mSv / an
- Mexico (2240 m) 0,80 mSv / an
- La Paz (3900 m) 2,00 mSv / an

exposition externe aux rayonnements terrestres (20 TW)

- moyenne 0,9 mSv / an
- Espirito Santo (Brésil) 35 mSv / an
- Maximum (Iran) 250 mSv / an
- Bouches du Rhone 0,20 mSv / an
- Limousin 1,20 mSv / an

exposition interne liée aux eaux de boisson

- eau d'Evian 0,03 mSv / an
- eau de St Alban 1,25 mSv / an

risques de l'irradiation

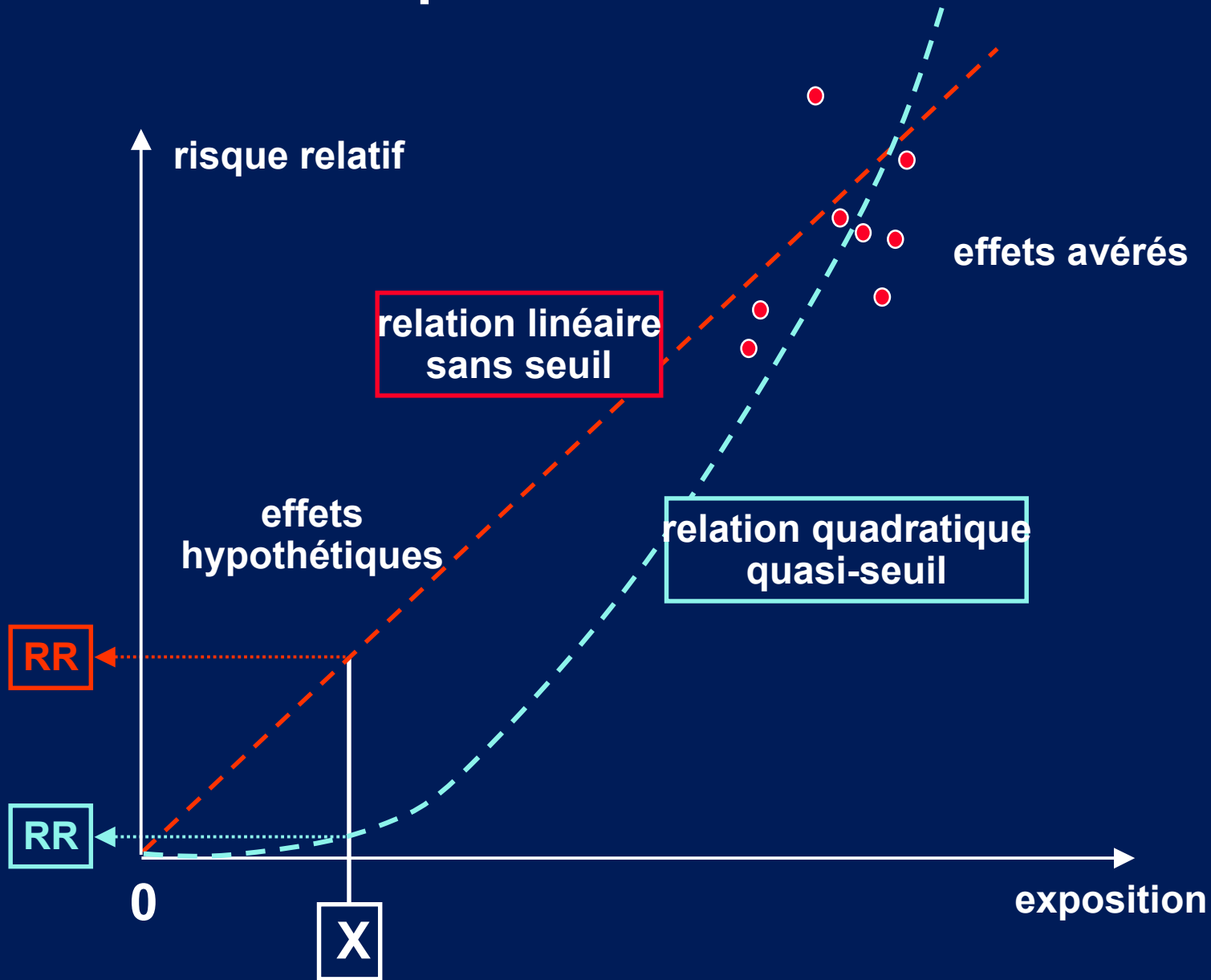
seuils des effets sanitaires mis en évidence

- non stochastique # 700 mSv
- stochastique adulte # 200 mSv
- stochastique enfant # 100 mSv (thyroïde, sein)
- stochastique fœtus # 20 mSv (?)

pourquoi une limite aussi basse que 1 mSv / an ?

- pas d'argument sanitaire
- possibilités industrielles (10 à 15 μ Sv / an)
- conduit à des incohérences de radioprotection

évaluation du risque d'une irradiation



exposition lors des examens radiologiques

Union européenne

- 360 millions d 'habitants
- 230 millions d 'examens radiologiques / an

exposition lors des examens radiologiques

Union européenne

- 360 millions d 'habitants
- 230 millions d 'examens radiologiques / an

concerne

- patient, manipulateurs, intervenants, proches
- champ de l 'examen + rayonnement diffusé

exposition lors des examens radiologiques

Union européenne

- 360 millions d 'habitants
- 230 millions d 'examens radiologiques / an

concerne

- patient, manipulateurs, intervenants, proches
- champ de l 'examen + rayonnement diffusé

quantification de l 'exposition

- DES : dose à la surface d 'entrée (à la peau)
- PDS : produit dose x surface
- permet de calculer la dose aux organes

exposition lors des examens radiologiques

Union européenne

- 360 millions d 'habitants
- 230 millions d 'examens radiologiques / an

concerne

- patient, manipulateurs, intervenants, proches
- champ de l 'examen + rayonnement diffusé

quantification de l 'exposition

- DES : dose à la surface d 'entrée (à la peau)
- PDS : produit dose x surface
- permet de calculer la dose aux organes

limitation des doses

- pas de cliché inutile, diminuer la scopie
- collimation, protection des organes sensibles
- choix des films et des paramètres, contrôles

exposition lors des examens radiologiques

exemples

organe	dose peau mGy	dose efficace mSv
thorax face	0,2 - 0,5	0,015 - 0,15
rachis lombaire	4 - 28	1,5
UIV	40 - 60	3
scan cerveau	7 - 78	
scan corps	30 - 60	4 - 10
mammographie	7 - 25	0,5 - 1

exposition lors des examens radiologiques

variabilité : radio du thorax de face

pays	dose peau mGy
Pays-Bas	0,13
Italie	0,14
Royaume Uni	0,19
Belgique	0,38
France	0,47
Grèce	1,93

exposition lors des examens scintigraphiques

concerne

- patient, manipulateurs, intervenants
- proches, enfant allaité, public

quantification de l'exposition

- organes cibles : concentration, excrétion
- irradiation externe et contamination interne
- mesure du captage ; modèles métaboliques

limitation des doses

- pas de scintigraphie inutile
- activité injectée minimale
- protection des proches et de l'environnement

scintigraphie osseuse

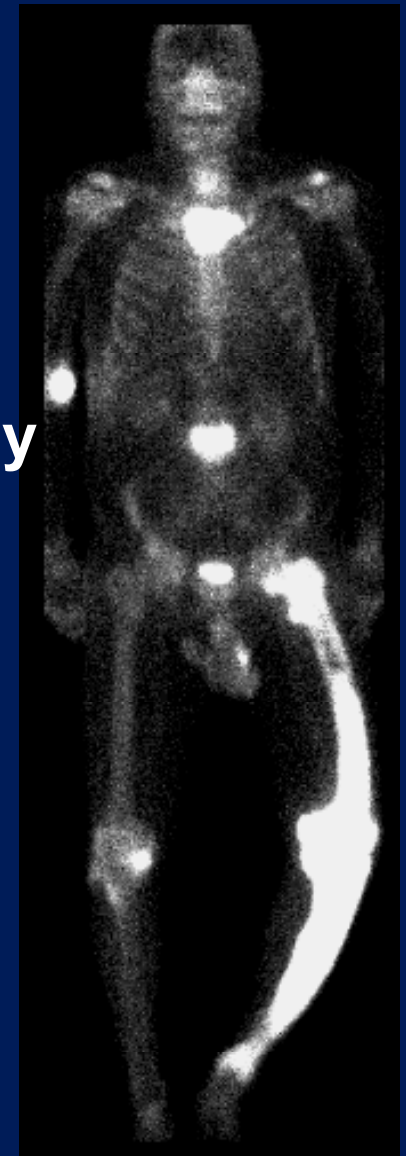
doses absorbées / 400 MBq HMDP ^{99m}Tc

ovaires	testicules	mœlle os.	vessie
1 mGy	0,2 mGy	2,7 mGy	7,5 mGy

débit de dose réel à 1 m # 8 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

risques de contamination minimales

- urines



scintigraphie thyroïdienne

doses absorbées / 4 MBq ^{123}I

- corps fœtus # 30 μGy
- thyroïde mère # 15 mGy
- thyroïde fœtus > 3 m # 45 mGy

doses absorbées / 40 MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$

- corps fœtus # 320 μGy
- thyroïde mère # 1,5 mGy
- thyroïde fœtus > 3 m # 4,5 mGy

débit de dose réel à 1 m

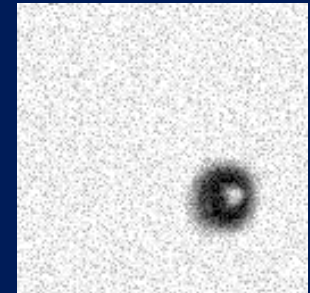
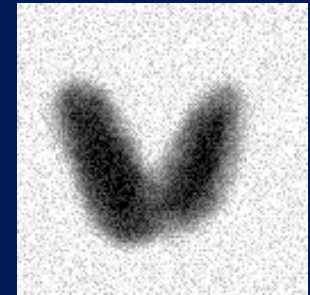
0,07 $\mu\text{Sv.h}^{-1}$

0,8 $\mu\text{Sv.h}^{-1}$

naturel # 0,3 $\mu\text{Sv.h}^{-1}$

passage dans le lait

- iode # 50 %



textes réglementaires en radioprotection

analyse des publications scientifiques

- Rapports de l'UNSCEAR

textes généraux

- CIPR 60
- Directive européenne 96/29 Euratom
 - limites de dose professionnelles 100 mSv / 5 ans
 - limites de dose pour le public 1 mSv / an

textes spécifiques aux irradiations médicales

- CIPR 73
- Directive Européenne 97/43 Euratom

transcription en droit français avant mai 2000 (!)

organismes réglementaires en radioprotection

expertise et recherche

- **IRSN**

Institut de Recherche et Sûreté Nucléaire

- **fusion de l'OPRI et de l'IPSN**

contrôles

- **DGSNR**

Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection

- **extension au domaine médical des missions de la DSN**

**évaluation
des risques**

**identification
des dangers**

**relation
dose-réponse**

**évaluation
de l'exposition**

**caractérisation
des risques**

**gestion
des risques**

**choix
réglementaires
possibles**

**conséquences
des choix
possibles**

**décision
mise en œuvre**

évaluation des risques des RI

effets pour des expositions élevées

- LSS : survivants H & N 86 % < 200 mSv
- CIRC : travailleurs nucléaire UK 98 % < 200 mSv

	LSS-HN	CIRC-UK
effectif	76.000	96.000
leucémies observées	200	100
leucémies attendues	100	90
cancers observés	6000	4000
cancers attendus	5300	> 4000
leucémie / 200 mSv	+70 % (40 à 130)	+40% (2 à 110)
cancer / 200 mSv	+3 % (1-7)	-1% (-7 à 6)

Étude du CIRC en cours : 600.000 travailleurs du nucléaire de 14 pays

gestion des risques des RI

effets pour des expositions élevées

- 76.000 survivants H & N 4 x 10⁻⁵ / mSv

relation exposition - risque

- sievert et Relation Linéaire Sans Seuil
- extrapolation linéaire sans seuil (RLSS)

pas de réelle référence au niveau de risque

- limite professionnelle : 100 mSv / 5 ans
- limite public : 1 mSv / an
- limites de dose # possibilités industrielles
- démarche ALARA : *As Low As Reasonably Achievable*

décalage CIPR - réglementation

approche très réductrice

âge, débit de dose, cofacteurs, susceptibilité individuelle
ne couvre pas les risques foœtaux

- **HN : pas de malformations radioinduites**
- **CIPR 84 : RR cancer radio induit 1,4 / 10 mGy**
- **étude suédoise 2001 Namburg *Radiat Res*
leucémies enfant : 578 LL + 74 LM
naissance 1973 - 1989
examen radiologique pendant la grossesse
pas d 'augmentation du risque de leucémie**

mais l'art est difficile...

modèle incapable de faire des prévisions fiables

- ^{131}I usage diagnostique ou thérapeutique
- doses 15 à 300.000 mGy
- débit de dose faible : 10 $\mu\text{Gy} / \text{s}$
- risque de cancer thyroïdien ?

Suède 10.500 adultes x 15 ans : NS

USA 34.600 adultes x 8 ans : NS

1960 enfants : NS

difficulté des études épidémiologiques

- facteurs de confusion
- effet de 100 mSv ? 2×10^6 personnes
- effet de 10 mSv ? 2×10^8 personnes

la directive européenne 97/43 Euratom

responsabilité partagée : ordonnateur et praticien

niveaux de référence et contraintes de dose pour le patient

justification

- **avantage net pour le patient ou les proches**
- **autres techniques non irradiantes**
- **interdiction des expositions non justifiées**

optimisation

- **équipement, contrôle de qualité**

information pour limiter l'exposition des proches

procédures écrites

formation initiale et continue

justification

générique et individuelle

avantage net / autres techniques non irradiantes

- **pour le patient ou la société**
- **pratique nouvelle ou ancienne « revue »**

expositions à fins de recherche

- **comité d'éthique**
- **avec ou sans bénéfice direct**

interdiction des expositions non justifiées

optimisation : ALARA adapté

- niveau le plus faible raisonnablement possible
- facteurs économiques et sociaux
- pour obtenir l'information diagnostique requise
- doses aux tissus en dehors de la cible

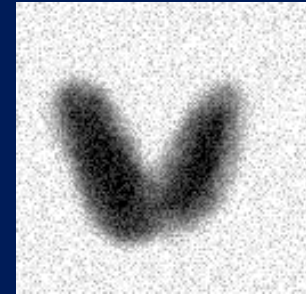
- **routine** : niveaux de référence diagnostiques
- **recherche sans bénéfice direct** : contrainte de dose
- **recherche avec bénéfice direct** : au cas par cas...
- **réconfort et soutien** : contrainte de dose

- choix des équipements
- assurance de qualité (dont le contrôle de qualité)
- évaluation des doses ou des activités
- informations pour limiter les doses aux proches

un exemple : scintigraphie thyroïdienne et grossesse

rayonnements γ

- irradiation fœtale
- contamination fœtale
- contamination du lait
- irradiation d'une femme enceinte



prévention

principes généraux de la radioprotection

- justification
- contraintes de doses
- optimisation

recherche et respect des contre-indications

- grossesse ou suspicion de grossesse
- fiabilité de l'interrogatoire
- allaitement
- une scintigraphie est rarement urgente
hyperthyroïdie ? nodule ?

informations

- protection des proches et du public
- délais de grossesse
- information des correspondants

précautions après une scintigraphie

pendant 48 heures

- éviter les enfants et les femmes enceintes (2 m)

contraception efficace pendant 1 mois

précautions particulières selon

- mode de transport
- profession (institutrice..)

éviter les inquiétudes injustifiées

une urgence scintigraphie pulmonaire de perfusion

- microsphères marquées ^{99m}Tc
- doses absorbées / 40 MBq ^{99m}Tc

poumons mère	# 6 mGy
corps fœtus	# 50 μGy
- passage dans le lait



conduite à tenir en cas de problème

- **scintigraphie chez une femme enceinte**
- **traitement par le ^{131}I chez une femme enceinte**
- **contact avec une femme enceinte**

- **évaluation des doses absorbées**
- **organe(s) critique(s) selon l'âge du fœtus**
- **effets déterministes et stochastiques**
- **information rigoureuse**
- **prise en compte consensuelle du contexte**
- **prise en compte de l'âge du fœtus**
- **seuils pratiques : 100 - 200 mSv**

les vrais dangers

- produits de contraste iodés
- radiologie interventionnelle (patient et radiologue)
- appareils mal réglés
- multiplication des actes (réa néo-natale)
- exposition du personnel

- interruption « thérapeutique » de grossesse injustifiée
- limitation des actions de prévention (mammographie)
- refus d'un examen justifié

- actes non justifiés : conséquences indirectes

conclusion

(ré)évaluer soigneusement les indications

former les prescripteurs

- e.g. échographie + “conseil de scintigraphie”

on ne dispose pas des données scientifiques permettant d ’élaborer une réglementation indiscutable

la surperception des risques des RI ne doit pas conduire

- à des dépenses inconsidérées sans bénéfice sanitaire
- à renoncer à des examens utiles

si le bénéfice de l ’imagerie médicale est largement démontré, ses risques réels restent à prouver...