



**La radioprotection  
appliquée à la  
radiologie  
en quelques mots...**

Pierre NAULET



# Quelques QCM

# L'irradiation naturelle par an en France est de l'ordre de :


- A : 3 Gy
- B : 3,5 mSv
- C : 3500 Bq
- D : 10 mSv
- E : 0,1 Gy

# Quelles techniques médicales utilisent des rayonnements ionisants

- A : l'IRM
- B : le scanner (= la tomодensitométrie)
- C : les radiographies
- D : l'échographie
- E : la radiothérapie
- F : la scintigraphie

# Quels sont les risques des rayonnements ionisants :

- A : des brûlures (radiodermite)
- B : la surdité
- C : des mutations génétiques transmissibles à sa descendance
- D : des cancers
- E : des perturbations hématologiques

- 
- A : un scanner est le plus souvent plus irradiant que des radiographies de la même région anatomique
  - B : quelle que soit la région explorée un scanner délivre la même dose d'irradiation
  - C : un TEP scanner est beaucoup moins irradiant qu'un scanner
  - D : L'IRM est plus irradiante que le scanner car l'examen dure plus longtemps
  - E : le PDL (Produit Dose Longueur) s'exprime en mGy/cm



# introduction

## ➤ les rayonnements ionisants

- de multiples applications
  - médicales,
  - industrielles,
  - scientifiques...
- des risques réels
  - connus et contrôlables
- mais une angoisse diffuse



# les rayonnements ionisants



## ➤ Définition

- *rayonnement capable de transférer au cours d'une interaction une énergie suffisante à un électron pour l'arracher à un atome*
- **provoque**
  - excitation de l'atome
  - altération de son comportement chimique

# les rayonnements ionisants

The background of the slide features a sunset over a savanna. The sky is a gradient of orange and yellow, transitioning to a dark horizon. Silhouettes of several animals, including what appear to be giraffes and antelopes, are visible against the bright sky on the right side of the image.

## ➤ rayonnements particuliers

- $\alpha$ ,  $\beta^+$ ,  $\beta^-$ , proton, noyaux atomiques

## ➤ rayons X et $\gamma$

- rayonnement électromagnétique
- même nature que la lumière mais énergie très élevée
- seuls les RX sont utilisés en radiologie



# les unités

# les unités

## ➤ Le Becquerel (Bq) :

- 1 désintégration par seconde

## ➤ L' électron volt (eV) :

- *quantité d'énergie acquise sur 1 mètre par un électron soumis à une différence de potentiel de 1 Volt*
- caractérise le pouvoir d'ionisation d'un rayonnement

# les unités

The background of the slide features a sunset over a savanna. The sky is a gradient of orange and yellow, transitioning to a dark horizon. Silhouettes of several animals, including what appear to be giraffes and antelopes, are visible against the bright sky on the right side of the image.

## ➤ Le Gray (Gy) :

- *dose absorbée dans une masse de 1 kg à laquelle les RI communiquent de façon uniforme une énergie de 1 joule*
- grandeur physique mesurant l' énergie absorbée

# les unités

## ➤ Le Sievert (Sv)

- grandeur calculée à partir de :
  - la dose absorbé (Gy)
  - de la nature du rayonnement
  - des organes irradiés
- mesure 'l' efficacité' d' un rayonnement à produire des effets stochastiques (retardés)
- unité de la dose efficace



# Quelques repères de dose

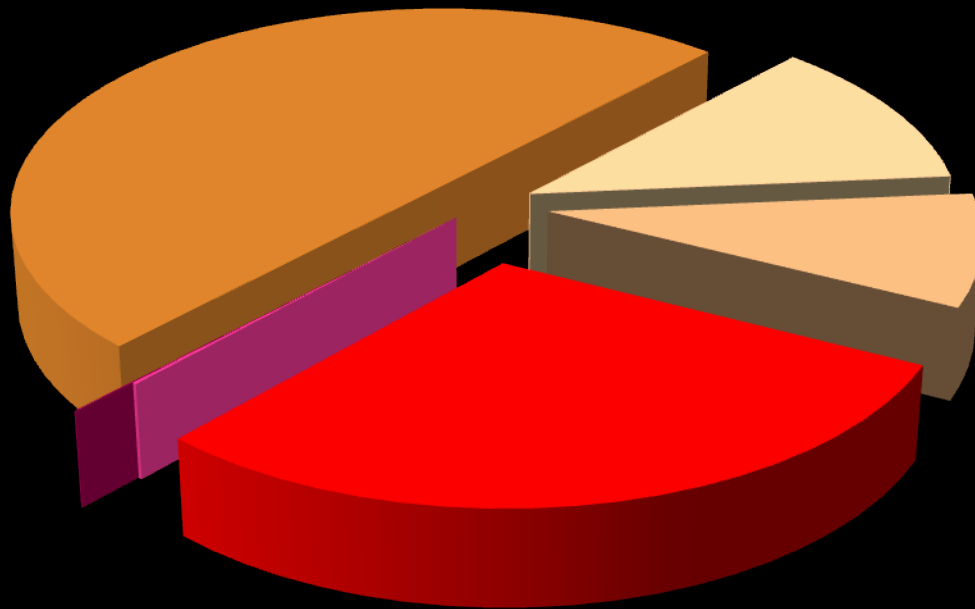
# quelques repères de dose



- 1 mSv : limite annuelle pour le 'public'
- **entre 2,5 et 3,5 mSv : exposition annuelle naturelle en France**
- 6 mSv : limite annuelle pour personnel cat 'B'
- **20 mSv : limite annuelle pour personnel cat 'A'**
- 50 mSv : ancienne limite annuelle cat 'A'
- **200 mSv : effets stochastiques prouvés et seuil d'apparition de malformations**
- 500 mSv : seuil des effets déterministes

# Différentes sources d'irradiation

mSv



- Radon
- Rayons cosmiques
- Potassium 40
- Médical
- essais nucléaires
- industrie nucléaire

# quelques repères de dose pour les examens médicaux

- 0,1 mSv : RP
  - 0,3 mSv : TDM sinus (basse dose)
  - 2 mSv : TDM encéphale\*
  - 3 mSv : ASP, Rachis lombaire
  - 5 mSv : urographie intraveineuse
  - 10 mSv : TDM thorax \*
  - 20 mSv : TDM abdomino-pelvin ou rachis lombaire \*
- varie en fonction du patient et des paramètres techniques

\* par acquisition



# **interactions avec la matière et le vivant**

# interaction des RX avec la matière



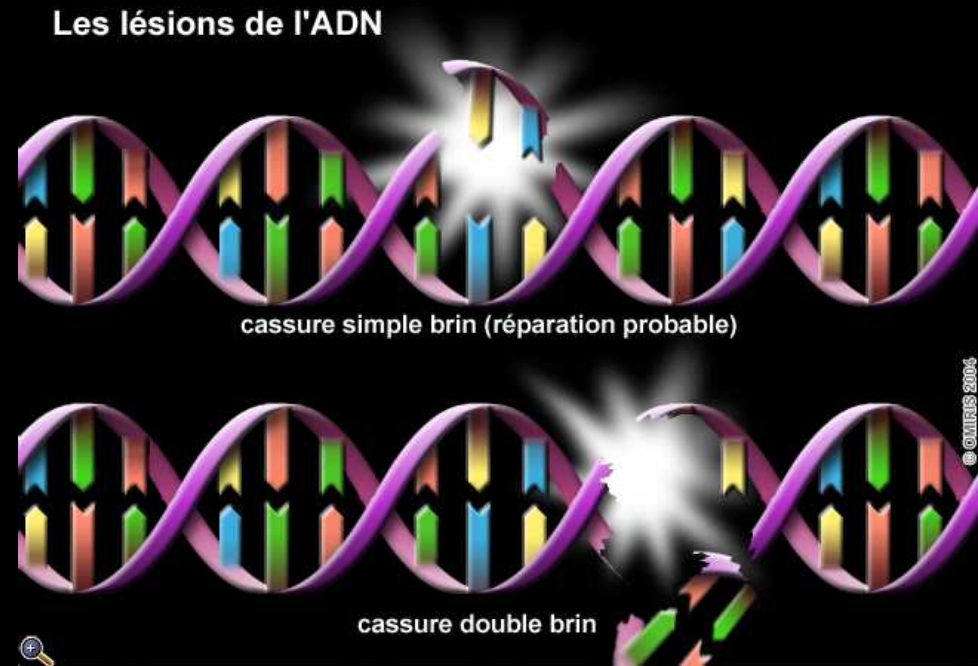
- seuls les RX de moins de 140 keV sont utilisés en radiologie.
- interaction non obligatoire avec la matière
  - atténuation du rayonnement mais pas arrêt
  - épaisseur de demi atténuation
    - dépend du matériau
    - et de l'énergie du rayonnement

# effets biologiques

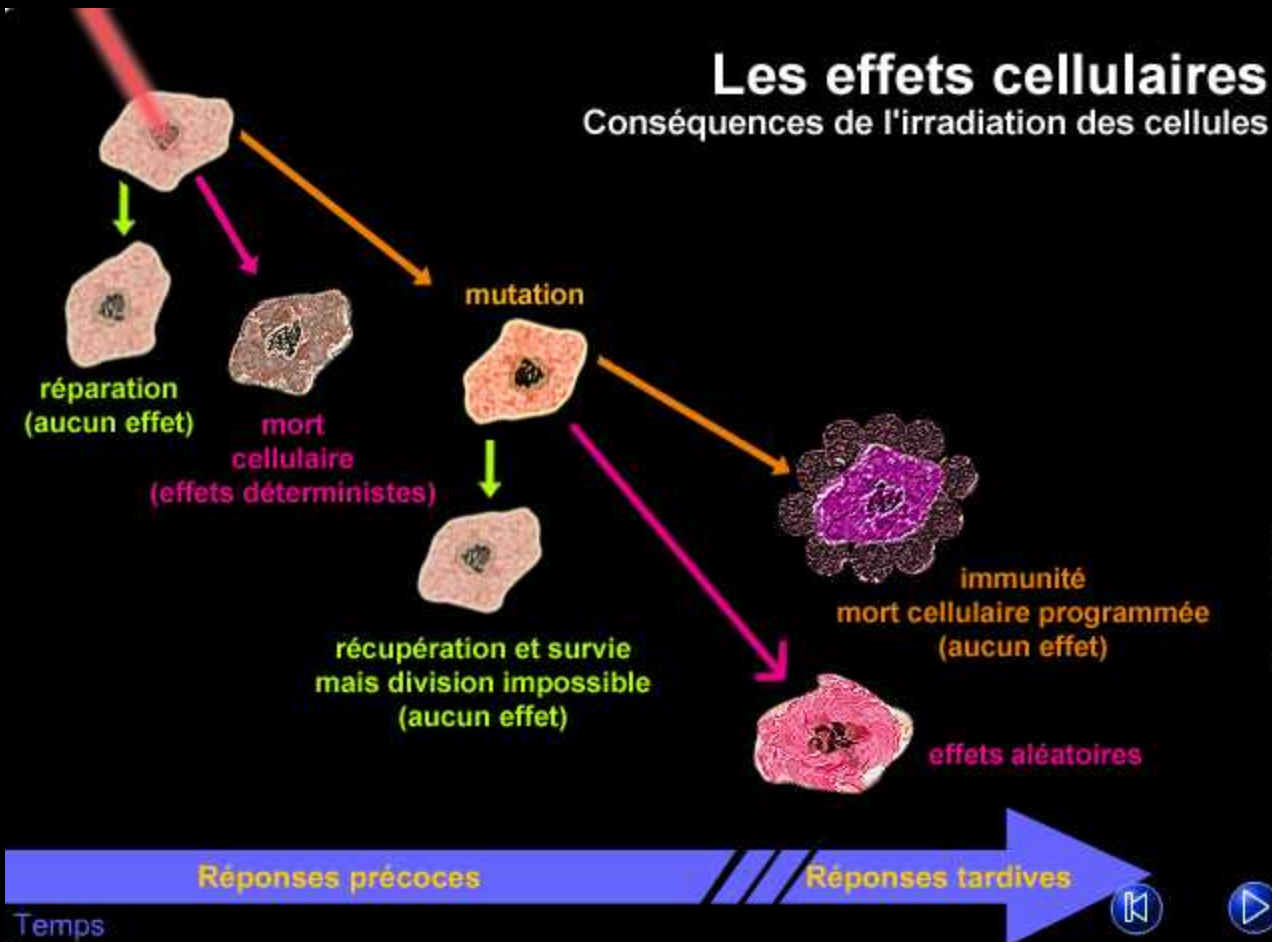
## ➤ Lésions de l'ADN

- mutation d'une base
- ponts intra et inter – brins
- cassure
  - simple brin
  - double brin => réparation difficile

➤ 1 Gray : 1000 cassures simple brin et 40 cassures double brin par cellule



# effets biologiques



A photograph of a savanna landscape at sunset. The sky is a gradient of orange and yellow, with a dark horizon line. In the distance, three deer are silhouetted against the bright sky. The foreground is dark and mostly black.

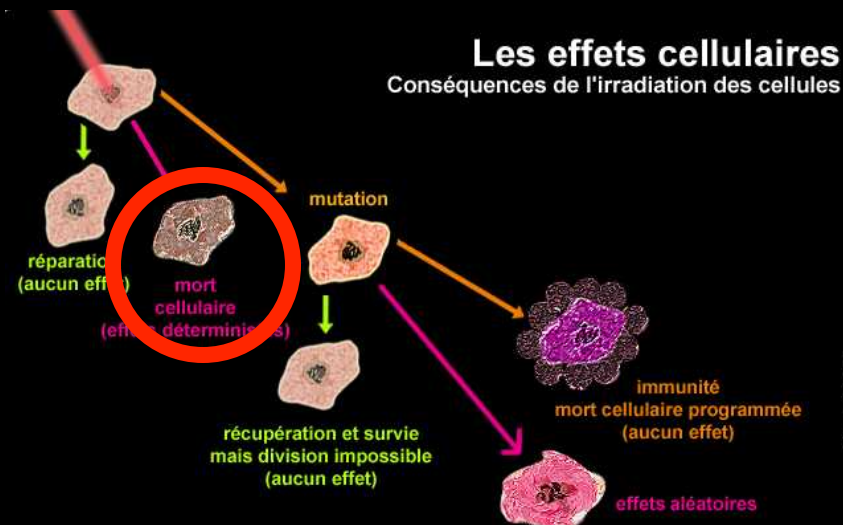
**Quels sont les  
risques ?**

# effets déterministes => risque immédiat

- en une exposition unique corps entier
  - 0,5 Gy : troubles hématologiques mineurs
  - 1 Gy : vomissements précoces
  - 3 Gy : atteinte hématologique et digestive sévère différée
  - 4,5 Gy : DL 50
  - 5 Gy : érythème cutané précoce
  - 15 Gy : atteinte neurologique suraigüe => décès immédiat

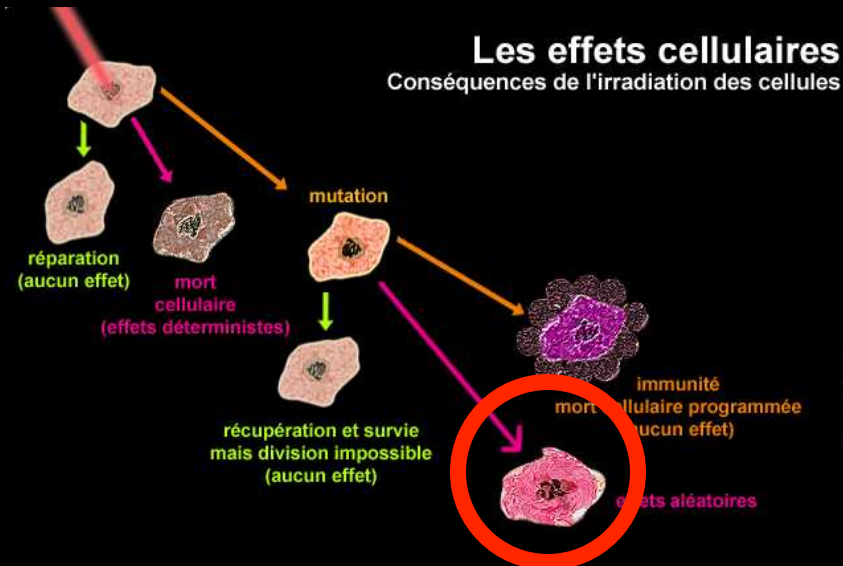
- expositions répétées

- radiodermite



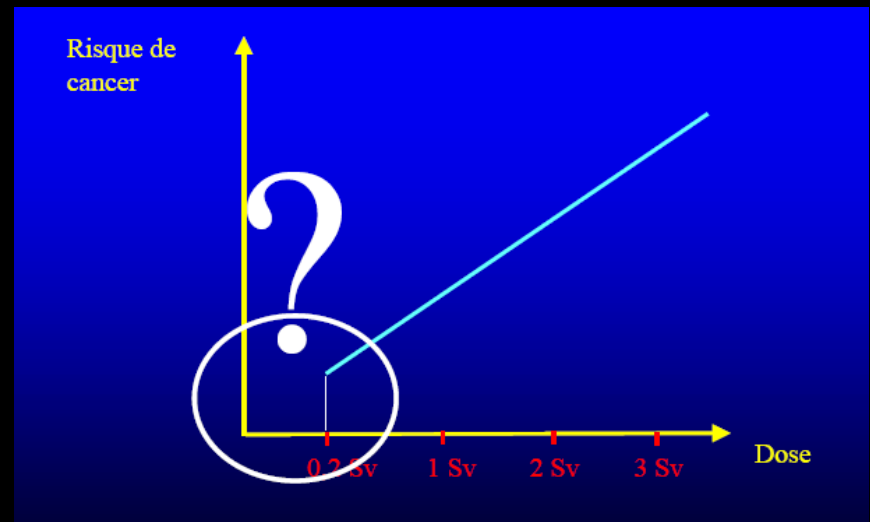
# effets stochastiques => cancérogénèse

- une certitude pour des doses  $> 200$  mSv
  - survivants d'Hiroshima et Nagasaki
  - cancers de la thyroïde des enfant ukrainiens après Tchernobyl
  - patients traités par radiothérapie
  - 5,5 % par Sv (CIPR 103 en 2007)



# effets stochastiques => cancérogénèse

- en dessous de 200 mSv  
relation linéaire sans  
seuil ???
  - en contradiction avec la  
radiobiologie
  - sans preuve  
épidémiologique
- effet du fractionnement  
des doses ?
- multiples mécanismes  
de réparation cellulaires



# effets stochastiques => mutations génétiques

➤ mutations génétiques transmissent à la descendance

- cellules des lignées sexuelles
- étudiées dès le début du XX<sup>ème</sup> siècle chez la drosophile

➤ jamais mis en évidence chez l'homme

- en particulier pas dans la descendance des survivants d'Hiroshima et Nagasaki



# la grossesse



- malformations et retards mentaux
  - effet déterministe avec un seuil de 200 mSv
  - spontanément 3% des naissances sans irradiation
- cancérogénèse
  - effet stochastique (aléatoire)
  - prouvé au delà de 200 mSv
  - pour les faibles doses ???

# la grossesse : doses à l'utérus



- ASP : 1 à 4 mSv
- rachis lombaire : 1 à 10 mSv
- RP : < 0,01 mSv
- TDM crane : < 0,01 mSv
- angio TDM pulmonaire (sans abdomen et membres inférieurs) : 0,1 mSv
- Irradiation naturelle : 3,5 mSv /an soit 0,01mSv /j

The background of the slide features a silhouette of a savanna landscape at sunset. The sky is a gradient of orange and yellow, while the ground is dark. In the distance, three giraffes are silhouetted against the horizon. The text is centered in the lower half of the image.

**Comment calculer  
les doses reçues en  
scanner ?**

# Comment calculer les doses reçues en scanner ?

- Les éléments nécessaires au calcul de dose figurent obligatoirement dans le compte rendu
  - Produit Dose Longueur : PDL (ou DLP)
  - en mGy . cm
- mais ce qui est intéressant c'est une valeur simple intelligible et comparable
  - dose efficace en mSv
  - évalue le risque de cancer radio-induit

# Des tableaux très utiles :

Patient Name:  
Accession Number: A10048170509  
Patient ID: A10043417001  
Exam Description: ANGIOSCAN THORACO-ABDO

Exam no: 18854  
09 sep 2009  
LightSpeed VCT

## Rapport de dose

Series	Type	Scan Range (mm)	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom cm
1	Scout	-	-	-	-
2	Helical	I34.000-I398.000	25.23	1081.00	Body 32
200	Axial	I154.000-I154.000	11.34	5.68	Body 32
3	Helical	I8.750-I705.750	31.95	2374.43	Body 32

Total Exam DLP: 3461.11

1/1

- nom du patient
- date
- la machine
- le type d'examen
- le phantom
- la région explorée...

# CTDI vol et DLP

## ➤ la dose

Patient Name:  
Accession Number: A10048170509  
Patient ID: A10043417001  
Exam Description: ANGIOSCAN THORACO-ABDO

Exam no: 18854  
09 sep 2009  
LightSpeed VCT

Rapport de dose

Series	Type	Scan Range (mm)	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom cm
1	Scout	-	-	-	-
2	Helical	134.000-1398.000	25.23	1081.00	Body 32
200	Axial	1154.000-1154.000	11.34	5.68	Body 32
3	Helical	18.750-1705.750	31.95	2374.43	Body 32
Total Exam DLP:				3461.11	

1/1

CTDI vol est un index d'exposition quantifiant la dose délivrée en fonction des paramètres physiques et du pas pour une coupe

PDL ou DLP (Produit Dose Longueur)

- = CTDI vol x longueur
- c' est la grandeur appropriée pour l'estimation de la dose qui doit figurer sur le compte rendu d'examen.



# pour simplifier

- CTDI vol correspond à l'énergie déposée pour une coupe
- PDL (ou DLP) correspond à l'énergie déposée pour l'ensemble de l'acquisition et permet le calcul pour l'ensemble de l'examen
- exemple : même PDL
  - coroscanner : CTDI vol élevée et petite longueur
  - TAP : CTDI vol moins élevée mais grande longueur

# La dose efficace

Patient Name:  
Accession Number: A10048170509  
Patient ID: A10043417001  
Exam Description: ANGIOSCAN THORACO-ABDO

Exam no: 18854  
09 sep 2009  
LightSpeed VCT

Rapport de dose					
Series	Type	Scan Range (mm)	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom cm
1	Scout	-	-	-	-
2	Helical	I34.000-I398.000	25.23	1081.00	Body 32
200	Axial	I154.000-I154.000	11.34	5.68	Body 32
3	Helical	I8.750-I705.750	31.95	2374.43	Body 32
Total Exam DLP:				3461.11	

1/1

- le produit dose longueur total
- la dose efficace (mSv)
  - tête :  $PDL / 500$
  - thorax abdo pelv :  $PDL / 50$
- dose efficace =  $3461 / 50$   
= 69 mSv

# un autre exemple : scanner des sinus

➤ PDL 150 mGy.cm

➤ crane donc facteur 500

➤ dose efficace =  $150 / 500$   
= 0,3 mSv

soit 1/200<sup>ème</sup> de la dose du  
TAP précédent

1 Patient Name: Exam no: 15555  
Accession Number: A10047562044 25 mai 2009  
Patient ID: A10009826685 LightSpeed VCT  
Exam Description: SINUS

Rapport de dose					
Series	Type	Scan Range (mm)	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom cm
1	Scout	-	-	-	-
2	Helical	146.000-599.500	8.06	150.47	Head 16
Total Exam DLP:				150.47	

1/1

A photograph of a savanna landscape at sunset. The sky is a gradient of orange and yellow, with a dark horizon line. In the distance, three deer are silhouetted against the bright sky. The foreground is dark and mostly black.

**Comment diminuer  
les doses ?**

# Justification



- un examen utile :
  - son résultat modifie la prise en charge thérapeutique
  - rapport bénéfice risque
  - ne pas prescrire d'examen inutile
    - ex : ASP pour une douleur abdominale
- attendre le moment optimum
  - ex : une pancréatite aigüe à 48h
- ne pas répéter inutilement un examen

# Optimisation



- choisir le meilleur examen ou le moins irradiant :
  - ex : échographie pour les voies biliaires et la gynéco-obstétrique.

IRM du rachis lombaire vs TDM

- optimiser la réalisation de l'examen
  - rôle du radiologue et des manipulateurs
  - **indication clinique précise**
  - adaptation à l'âge et à l'espérance de vie

# limitation

The background of the slide features a sunset scene with silhouettes of animals, including a large antelope and two smaller ones, against a bright orange and yellow sky.

- principe pour l' exposition des travailleurs
  
- n' est pas applicable en médecine
  - rapport bénéfice / risque
    - ex : en radiologie interventionnelle bénéfice toujours présent même en cas de dose élevée...
    - en diagnostique : risque opératoire (anesthésie + complications chirurgicales + infections nosocomiales...) >>> risque de cancer radio induit par un scanner



# Quelques QCM

# L'irradiation naturelle par an en France est de l'ordre de :


- A : 3 Gy
- B : 3,5 mSv
- C : 3500 Bq
- D : 10 mSv
- E : 0,1 Gy

# Quelles techniques médicales utilisent des rayonnements ionisants

- A : l'IRM
- B : le scanner (= la tomодensitométrie)
- C : les radiographies
- D : l'échographie
- E : la radiothérapie
- F : la scintigraphie

# Quels sont les risques des rayonnements ionisants :

- A : des brûlures (radiodermite)
- B : la surdité
- C : des mutations génétiques transmissibles à sa descendance
- D : des cancers
- E : des perturbations hématologiques

- 
- A : un scanner est le plus souvent plus irradiant que des radiographies de la même région anatomique
  - B : quelle que soit la région explorée un scanner délivre la même dose d'irradiation
  - C : un TEP scanner est beaucoup moins irradiant qu'un scanner
  - D : L'IRM est plus irradiante que le scanner car l'examen dure plus longtemps
  - E : le PDL (Produit Dose Longueur) s'exprime en mGy/cm



**En conclusion**

# A retenir



- En radiologie et en scanner uniquement des rayons X de faible énergie.
- des risques certains pour des doses  $> 200$  mSv, inconnu à faible dose
- quelques doses repères :
  - radioactivité naturelle : 3,5 mSv / an
  - limite travailleurs : 20 mSv / an
  - survivants d'Hiroshima et Nagasaki : 200 mSv

# A retenir : le scanner

## ➤ tête et cou :

- dose efficace =  $PDL / 500$

## ➤ thorax abdomen et pelvis

- dose efficace =  $PDL / 50$

## ➤ exemple de dose :

- scanner sinus : 0,3 mSv
- scanner crane : 3 mSv
- scanner TAP : 30 mSv
  - thorax 10 mSv + abdomino pelvien 20 mSv



*Primum non nocere*