

# **Effets sanitaires des rayonnements ionisants**

**8 octobre 2014**

**André Aurengo**

# unités

**activité** : désintégrations par seconde

- becquerel **Bq** : 1 désintégration / seconde

**dose absorbée** : énergie absorbée / masse de matière

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

**dose efficace** : indicateur du risque global

- Somme<sub>organes</sub> dose absorbée  $\times W_R \times W_T$

- sievert **Sv**

- unité adaptée aux besoins de la radioprotection

# proportionnelle au risque aléatoire  $> 200$  mSv

sans valeur probabiliste aux faibles doses

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

## activités

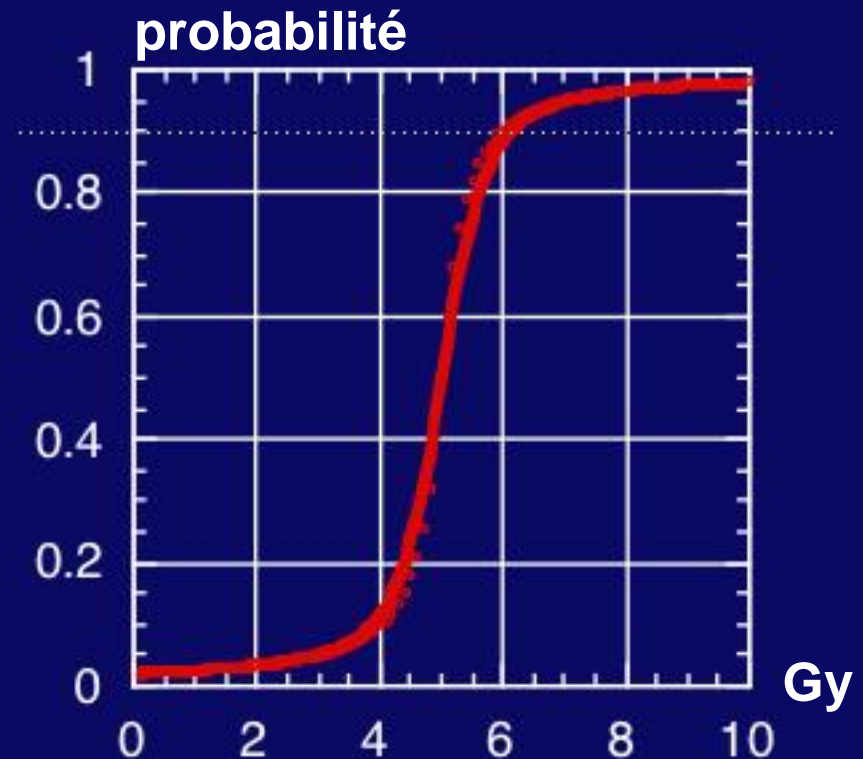
- 10.000 Bq : un homme de 83 kg (C 14 & K 40)
- 50 Bq : un litre de lait
- 15 Bq : un litre d'eau de mer
- 100 Bq : un mètre cube d'air (10 à 400 radon)

## doses efficaces

- 10.000 mSv : irradiation aiguë globale / mort rapide
- 700 mSv : irradiation aiguë globale / signes cliniques
- 5 - 30 mSv : scanner RX
- 20 mSv : dose maximale travailleurs / 12 mois**
- 2,5 / 5 mSv : dose annuelle Paris / Clermont-Ferrand
- 1 mSv : irradiation annuelle moyenne médicale
- 1 mSv : dose maximale public / 12 mois**

# risques déterministes

- précoces
- ne se produisent jamais si la dose  $< D_{\text{seuil min}}$
- se produisent à coup sûr si la dose  $> D_{\text{seuil max}}$
- leur gravité croît avec la dose



# irradiation aiguë globale

Syndrome Aigu des Rayonnements. Seuil # 0,5 – 2 Gy

- **prodromes**

nausées, vomissements,  
diarrhée, fatigue, malaises

- **latence**

- **> 3 Sv syndrome hématopoiétique (10 j)**

lymphopénie, leucopénie,  
thrombopénie, anémie

- **> 10 Sv syndrome gastro-intestinal (5 j)**

vomissements, diarrhée,  
hémorragie digestive, mort

- **> 20 Sv syndrome nerveux (2 j)**

convulsion, coma, mort

# irradiations aiguës locales

## peau

- érythème # 5 Gy
- > 20 Gy épidermite exsudative
- > 30 Gy radionécrose

## gonades

- stérilité définitive
- homme > 4 Gy
- femme > 3 Gy

## cristallin

- opacités > 0,5 - 1 Gy
- cataracte > 5 Gy

# embryon et fœtus

## malformations non héréditaires

- seuil # 100 - 200 mGy
- risque maximal : 9<sup>o</sup> jour - 9<sup>o</sup> semaine
- malformations spontanées # 3 %

## retard mental

- seuil 100 - 200 mGy
- 1 Gy : - 30 points de QI

## cancer

- risque aléatoire

## malformations héréditaires

- drosophile, souris
- jamais observées dans l'espèce humaine

# risques aléatoires (stochastiques)

- **tardifs**
- **probabilité augmente avec la dose**
- **gravité indépendante de la dose**
- **cancérogenèse**
- **malformations congénitales héréditaires (?)**

# délai d'apparition des cancers radioinduits survivants d'Hiroshima & Nagasaki

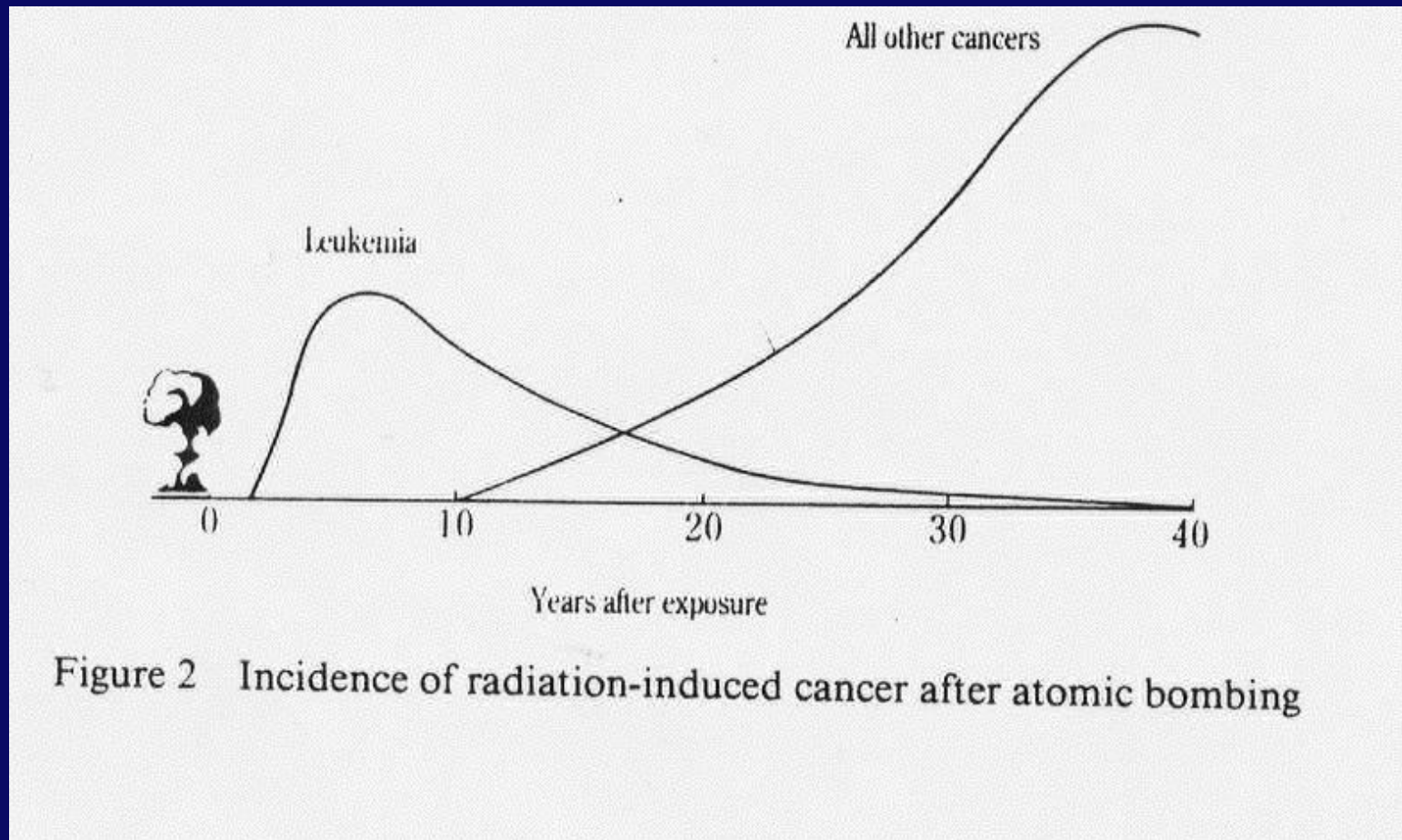


Figure 2 Incidence of radiation-induced cancer after atomic bombing

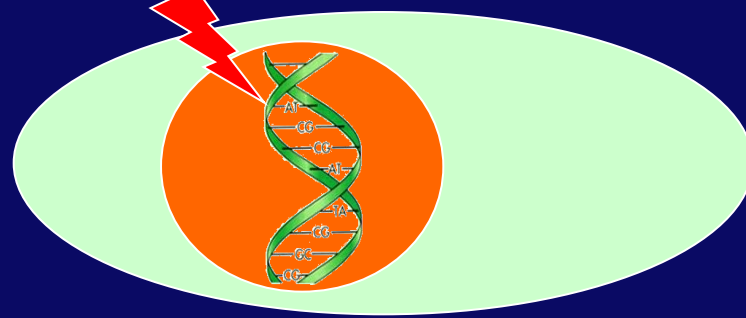
# lésions de l'ADN

<b>nb par cellule</b>	<b>par jour métabolisme O<sub>2</sub></b>	<b>par Gray exposition RI</b>
<b>cassures simple brin</b>	<b>10 000</b>	<b>1 000</b>
<b>lésions de base</b>	<b>3 000</b>	<b>2 000</b>
<b>cassures double brin</b>	<b>8</b>	<b>40</b>
<b>lésions multiples loc.</b>		

rayonnement  
ionisant



lésions  
de l'ADN

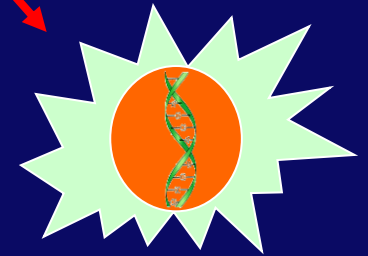
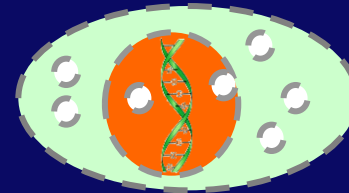
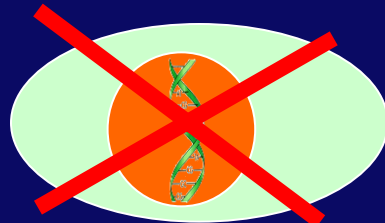
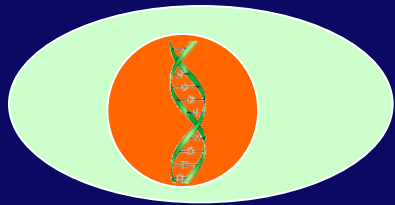


réparation  
fidèle

pas de  
réparation

réparation  
fautive

mutations



intégrité  
génomique

mort  
mitotique

apoptose

cancer  
radioinduit

# la cellule n'est pas isolée et se défend

## études épidémiologiques ou sur l'animal

- pas d'augmentation significative des cancers < 100 mSv

## lésions initiales proportionnelles à la dose

- 1 cassure simple brin par cellule et par mGy

## mécanismes de défense fortement non linéaires

- différents à faible et à forte dose
- proportionnellement plus efficaces à faible dose

# une défense au moindre coût

## très faible dose (quelques mGy)

- les lésions complexes ne sont pas réparées
- mort mitotique

## de quelques mGy à # 100 - 200 mGy

- mise en action de systèmes de réparation
- leur efficacité diminue avec la dose
- les lésions simples sont réparées
- les lésions complexes conduisent à l'apoptose

## au delà de 100 - 200 mGy

- réparation impérative pour la fonction tissulaire
- lésions complexes réparées avec risque d'erreur
- la cancérogénicité augmente
- le risque de cancer est le prix de la réparation

# trois types d'expositions

- irradiation externe
- contamination externe
- contamination interne

*uranium ingéré*

absorbé # 2‰ – 2%

élimination urinaire et dépôt osseux

80 – 90 % dépôt osseux éliminé /1 an

toxicité rénale

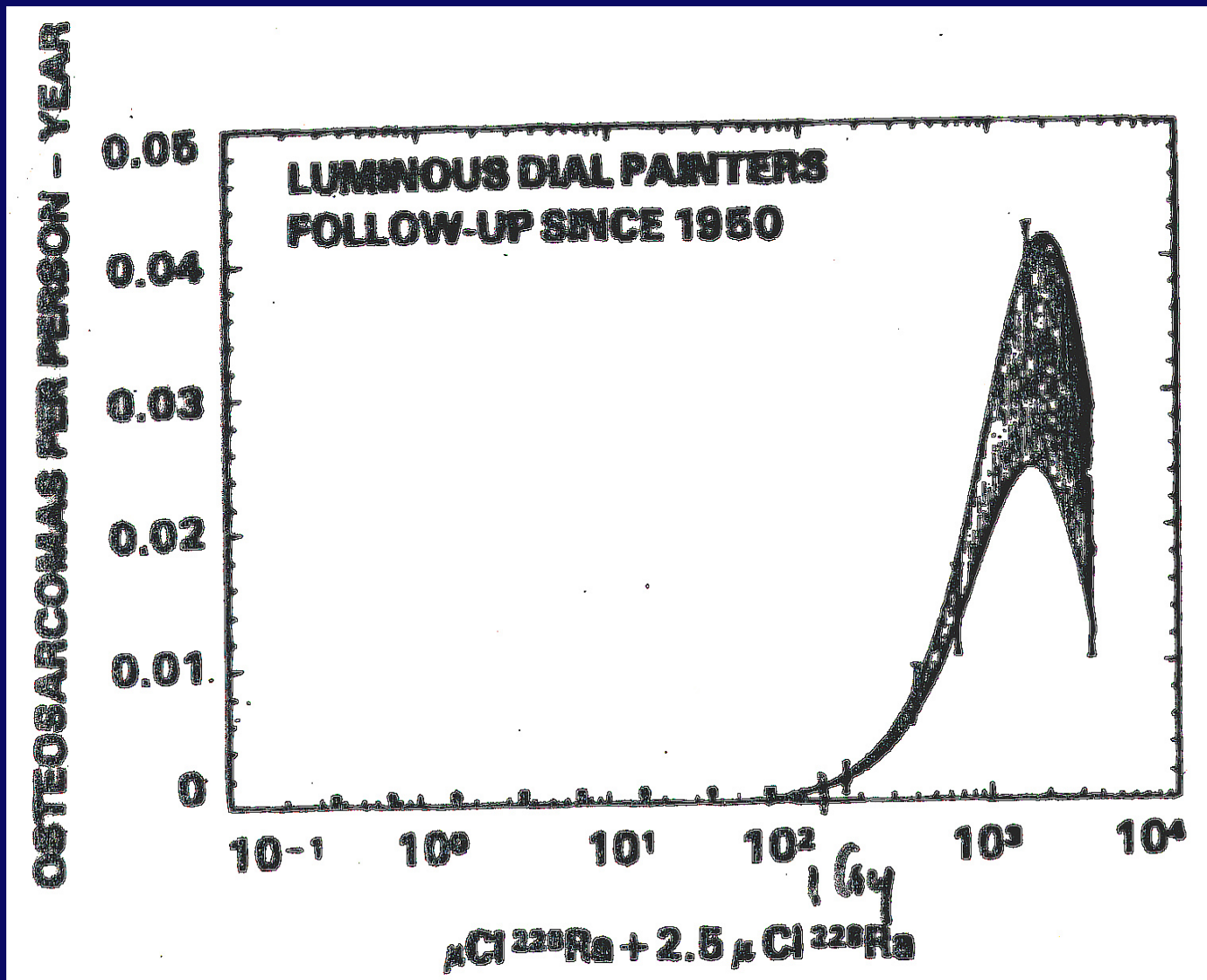
*uranium inhalé*

absorbé # 1% – 5% élimination urinaire

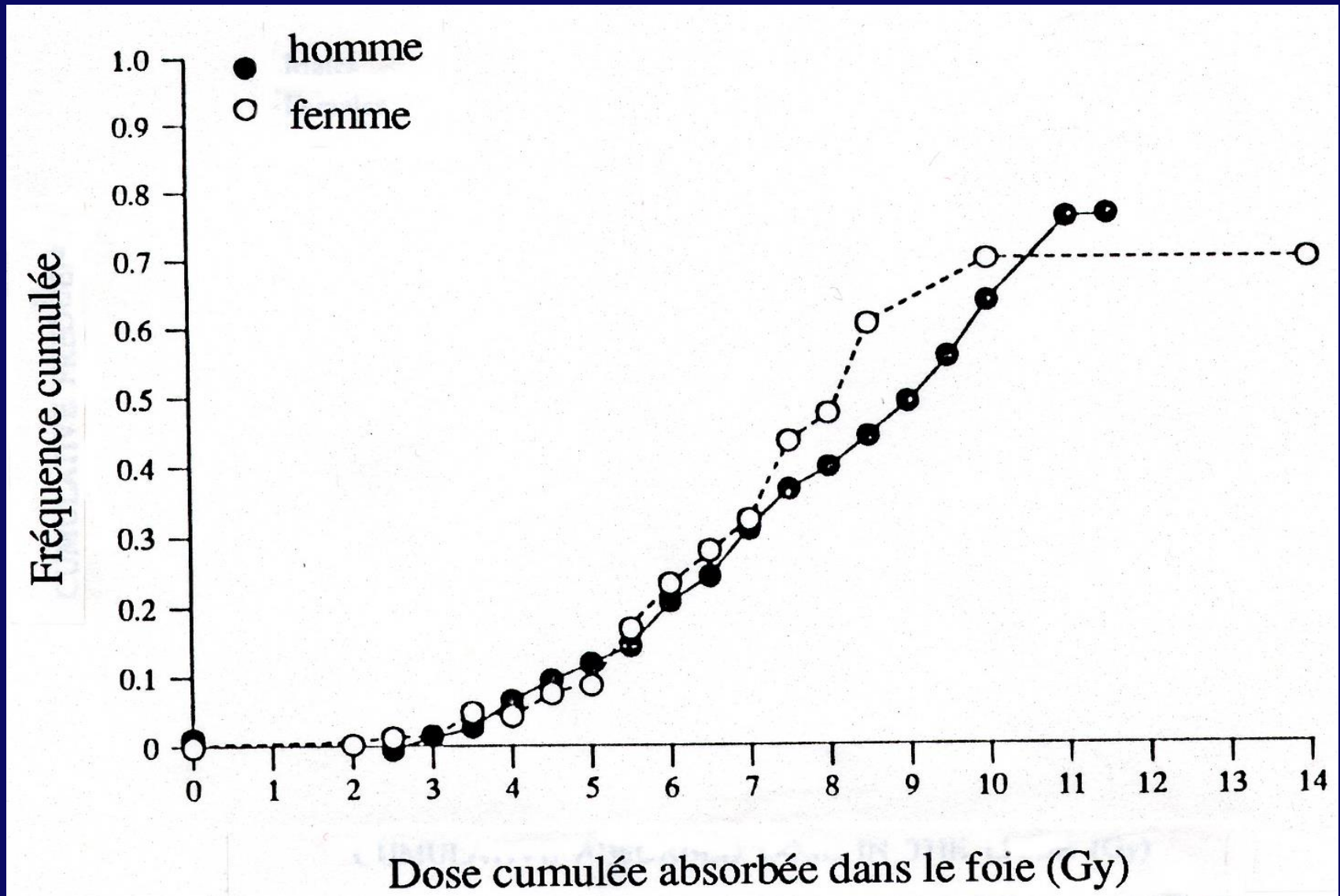
pénètre dans les alvéoles si # 1 µm

toxicité pulmonaire

# peintres des cadrans lumineux $^{226}\text{Ra}$ $^{228}\text{Ra}$



# cancer du foie et Thorotrast



# **susceptibilité individuelle**

**anomalies génétiques de systèmes  
de réparation de l'ADN**

**sensibilité anormale aux fortes doses**

**augmentation du risque de cancer radioinduit**

**conséquences**

- radiothérapie**
- médecine du travail**

# **cas particulier du démantèlement**

## **des conditions spécifiques**

- **spécificité de chaque filière**
  - réacteur à eau lourde (Brennilis)
  - réacteur à eau pressurisée (Chooz A)
  - réacteur à eau neutrons rapides (Creys-Malville)
- **situations post-accidentelles (Fukushima)**

## **multiplicité des sources d'exposition aux RI**

- **exposition externe, contaminations externe / interne**
- **115 radionucléides différents**

## **gestion complexe de la radioprotection**

- **état des lieux radiologique et chimique des sites et de leur environnement à chaque phase**
- **protection et surveillance (personnel et environnement)**
- **mise en œuvre ALARA (e.g. télé-démontage, robotique..)**

# conclusion

**les opérations de démantèlement exigent  
une radioprotection complexe des personnels  
et de l'environnement**

**il ne faut pas sous-estimer les autres risques**

- **risque chimique**
- **silice cristalline, amiante**
- **accidents, incendies**