

# Formation à l'intervention médicale en cas d'événement radiologique ou nucléaire

Pr Michel Bourguignon  
Commissaire ASN

michel.bourguignon@asn.fr ----- www.asn.fr



**Autorité  
de Sûreté Nucléaire**



**SAMU de Paris**



**Service de Protection  
Radiologique des Armées**

## **MODULE 1**

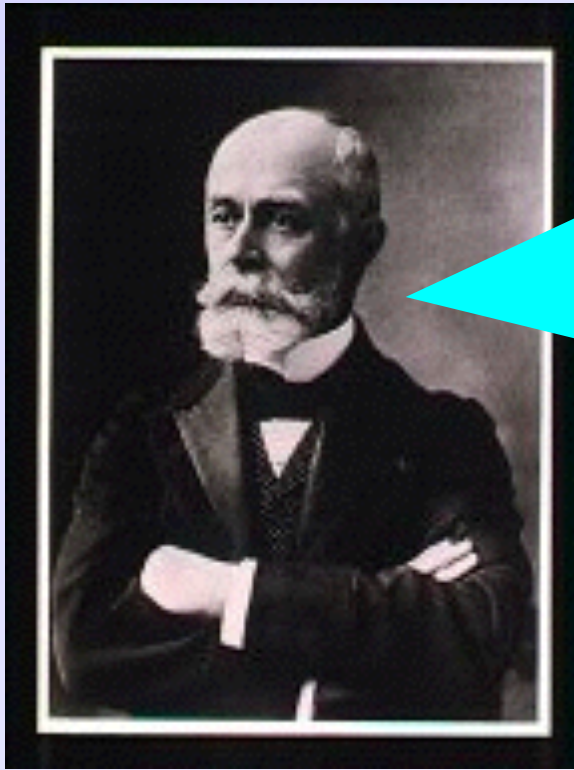
# **BASES THÉORIQUES**

1-1 : Définitions

1-2 : L'irradiation et la contamination

1-3 : Les effets biologiques des rayonnements  
ionisants

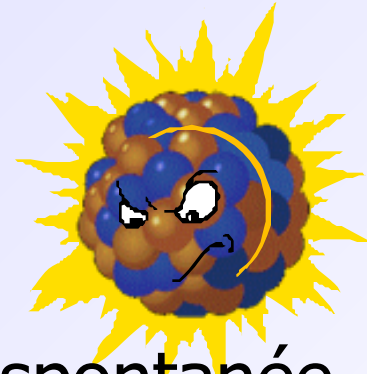
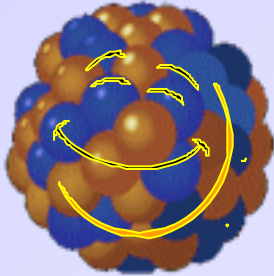
# QU'EST-CE QUE LA RADIOACTIVITÉ ?



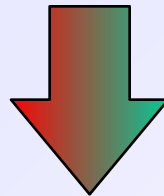
**Je l'ai découverte  
il y a 100 ans et pourtant  
elle a toujours existé**

# LA RADIOACTIVITÉ

**Atomes stables** : constitution inchangée sans intervention extérieure

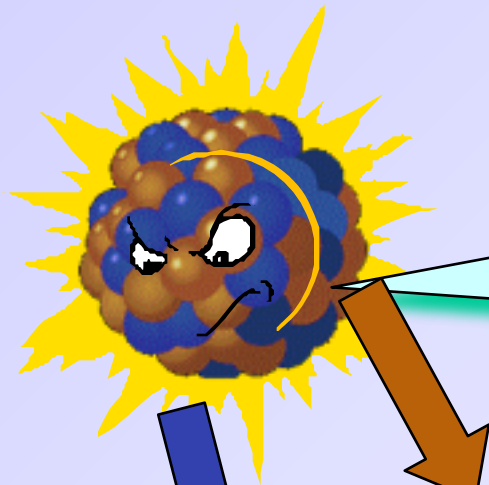


**Atomes instables** : transformation spontanée



état de stabilité

# POURQUOI CERTAINS NOYAUX SONT-ILS RADIOACTIFS ?



Je ne parviens pas  
à trouver mon  
équilibre

Trop de neutrons

Trop de protons

Trop  
d'énergie

# POURQUOI CERTAINS NOYAUX SONT-ILS RADIOACTIFS ?



Je dois évacuer  
de l'énergie

Je me  
transforme

**RAYONNEMENTS**

# L'ACTIVITÉ

Nombre de transformations par unité de temps

Unité légale : becquerel (Bq)

**1 Bq = 1 désintégration par seconde**

1 kBq = 1 000 Bq

1 MBq = 1 000 000 Bq

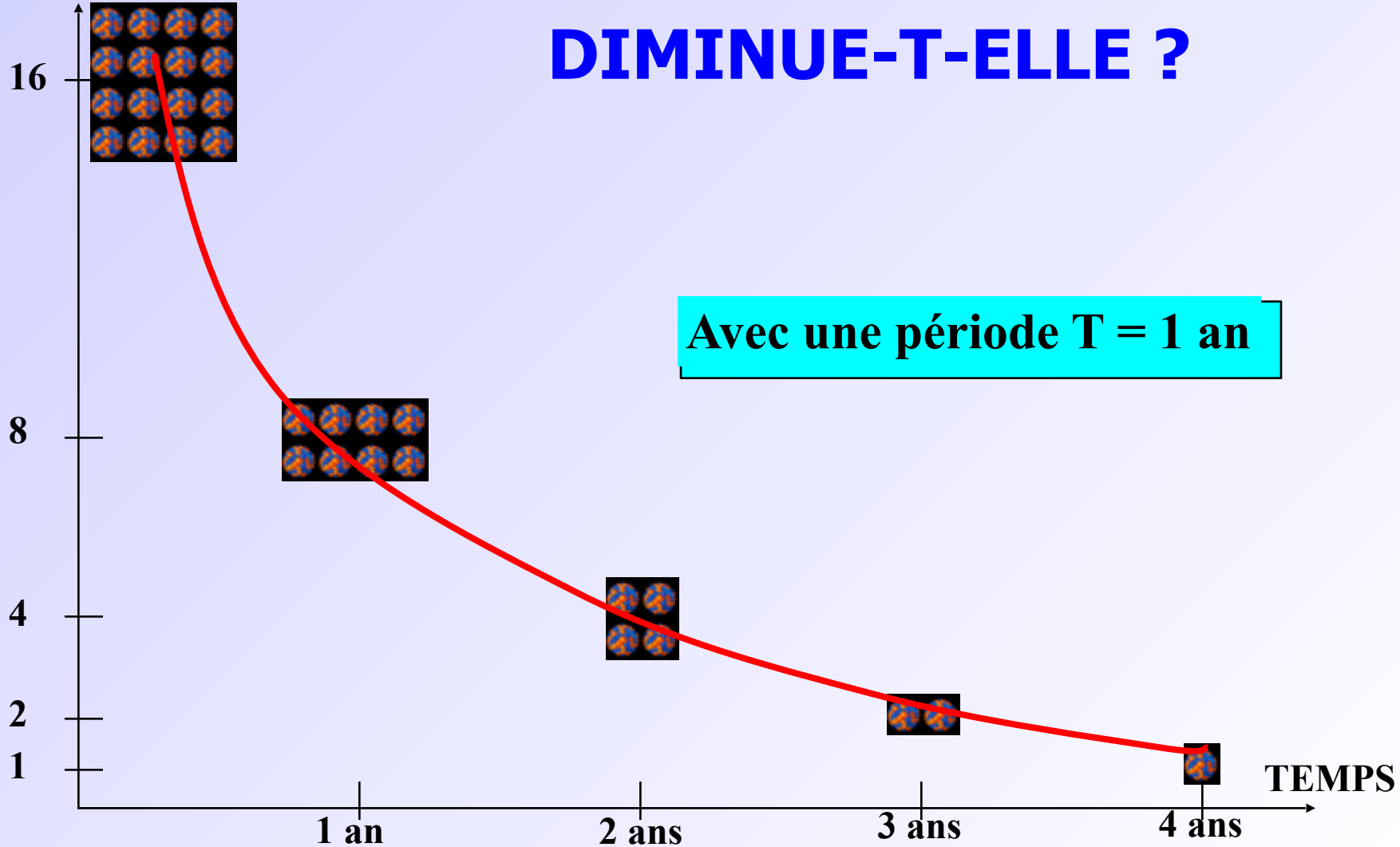
1 GBq = 1 000 000 000 Bq

Ancienne unité : curie

1 Ci = 37 milliards de Bq

RADIOACTIVITE

# COMMENT LA RADIOACTIVITE DIMINUE-T-ELLE ?





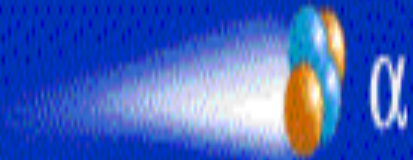
# RAYONNEMENTS

FAIBLE

MOYEN

FORT

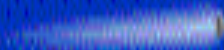
ALPHA



$\alpha$



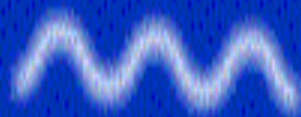
BETA



$\beta$



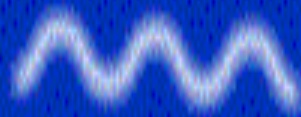
GAMMA



$\gamma$



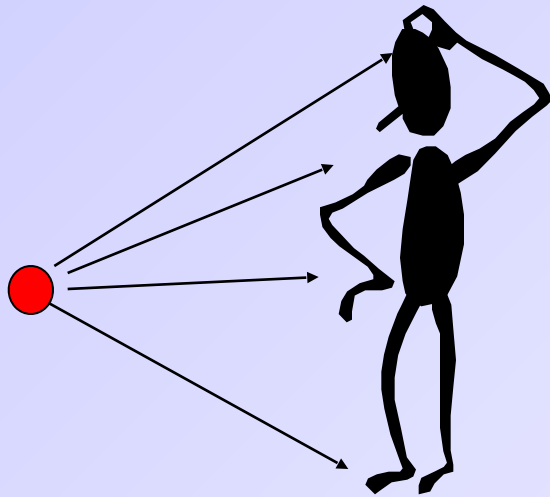
X



RX

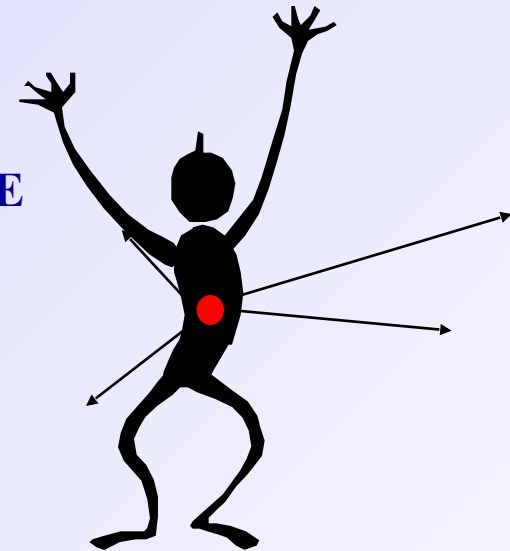


# L'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS



**EXTERNE**

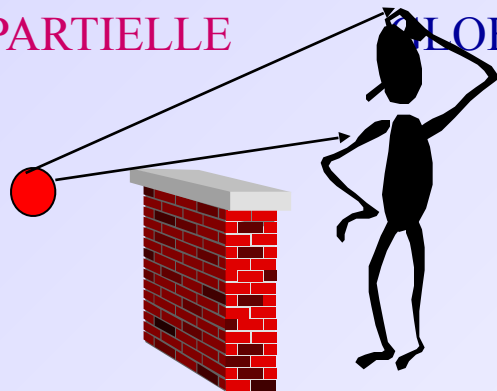
**INTERNE**



**PARTIELLE**

**GLOBALE**

**TOTALE**



**Organisme  
entier**

**externe  
+interne**

# DOSE ABSORBÉE : D

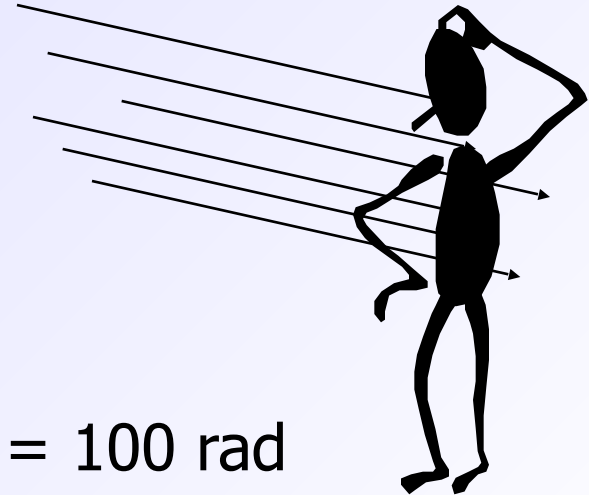
## ÉNERGIE CÉDÉE A LA MATIÈRE

Des rayonnements ionisants qui cèdent une énergie de 1 Joule dans 1 kilogramme de matière délivrent une dose de 1 Gray

Unité : le Gray  
 $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$

Ancienne unité : rad

$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$



# DÉBIT DE DOSE ABSORBÉE : $\dot{D}$

ÉNERGIE CÉDÉE A LA MATIÈRE PAR UNITÉ DE TEMPS

Unité légale : le Gray par seconde

pas pratique

On utilise : mGy/h ou  $\mu$ Gy/h

$\dot{D}$   
Si  $\dot{D}$  est constant :

$$D = \dot{D} \times t$$

# DOSE ÉQUIVALENTE H

Afin de traduire les différences de nuisance biologique des rayonnements (**aux faibles doses**) on a créé cette grandeur

$$H = D \times w_R$$



$w_R$  facteur de pondération des rayonnements

$\beta, X, \gamma : w_R = 1$

neutrons : en moyenne  $w_R = 10$

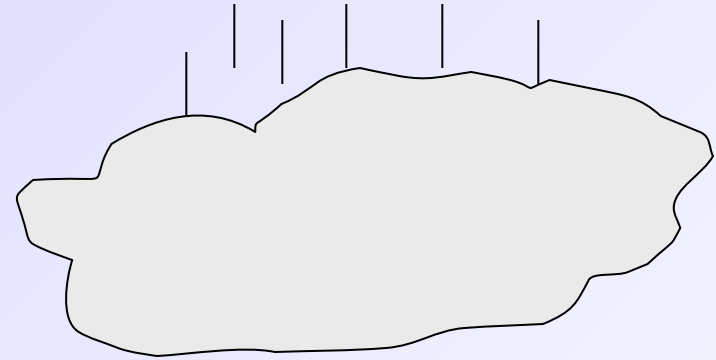
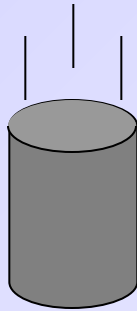
$\alpha : w_R = 20$

# DOSE ÉQUIVALENTE H

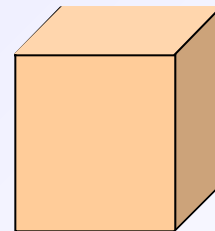
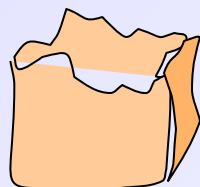
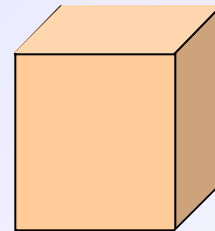
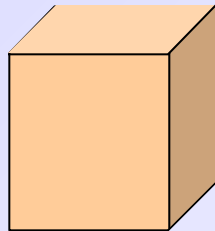
**1 kg de plomb**

**1 kg de plumes**

**avant**



**après**



# DOSE ÉQUIVALENTE H

Unité : le Sievert

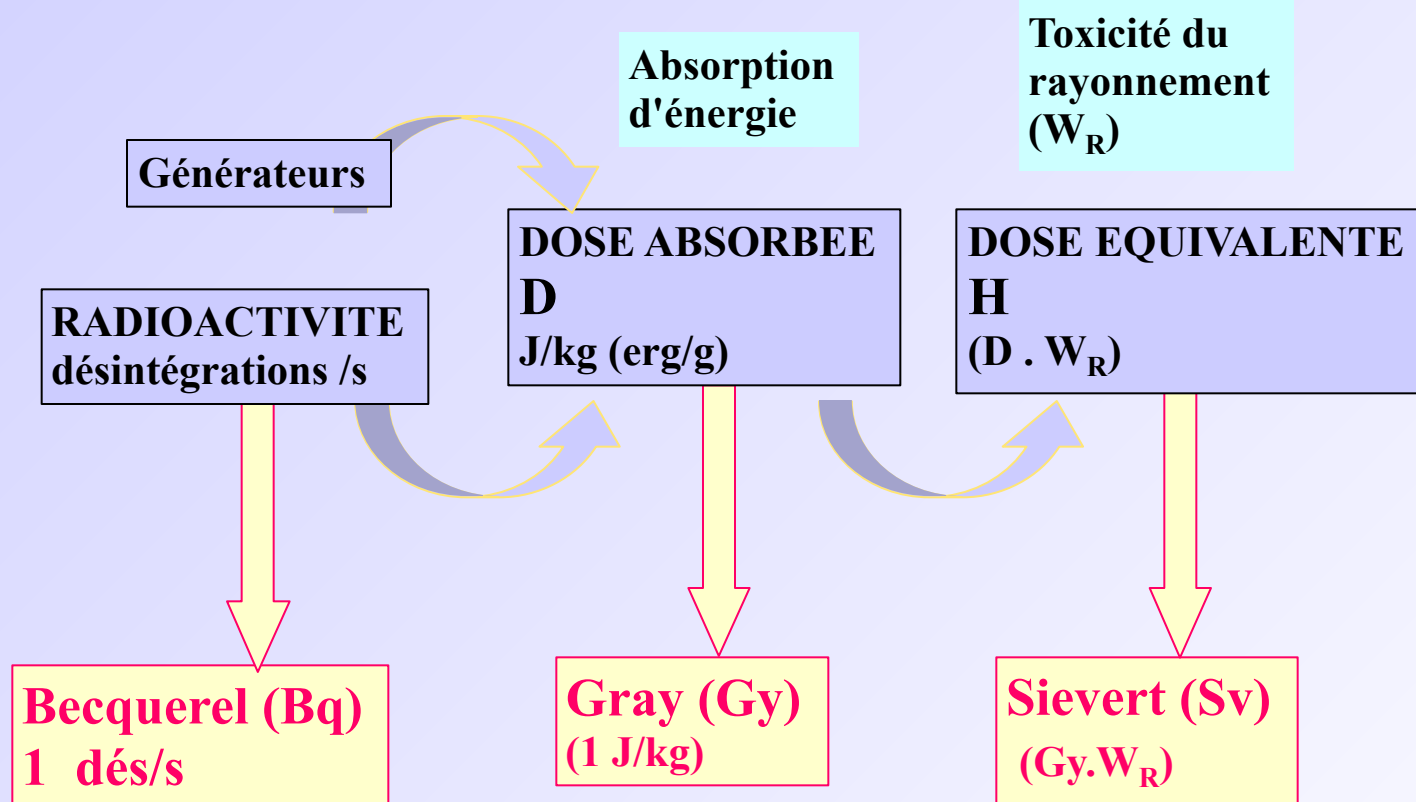
on utilise plutôt le mSv ou le  $\mu\text{Sv}$

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg (!)}$$

**Ancienne unité : rem**

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

# RAPPEL SUR LES UNITÉS



$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$



# DOSE EFFICACE E

Afin de traduire la différence de sensibilité biologique aux rayonnements des différents tissus on a créé la dose efficace

$$E = \sum_T H_T \times w_T$$

$w_T$  facteur de pondération des tissus

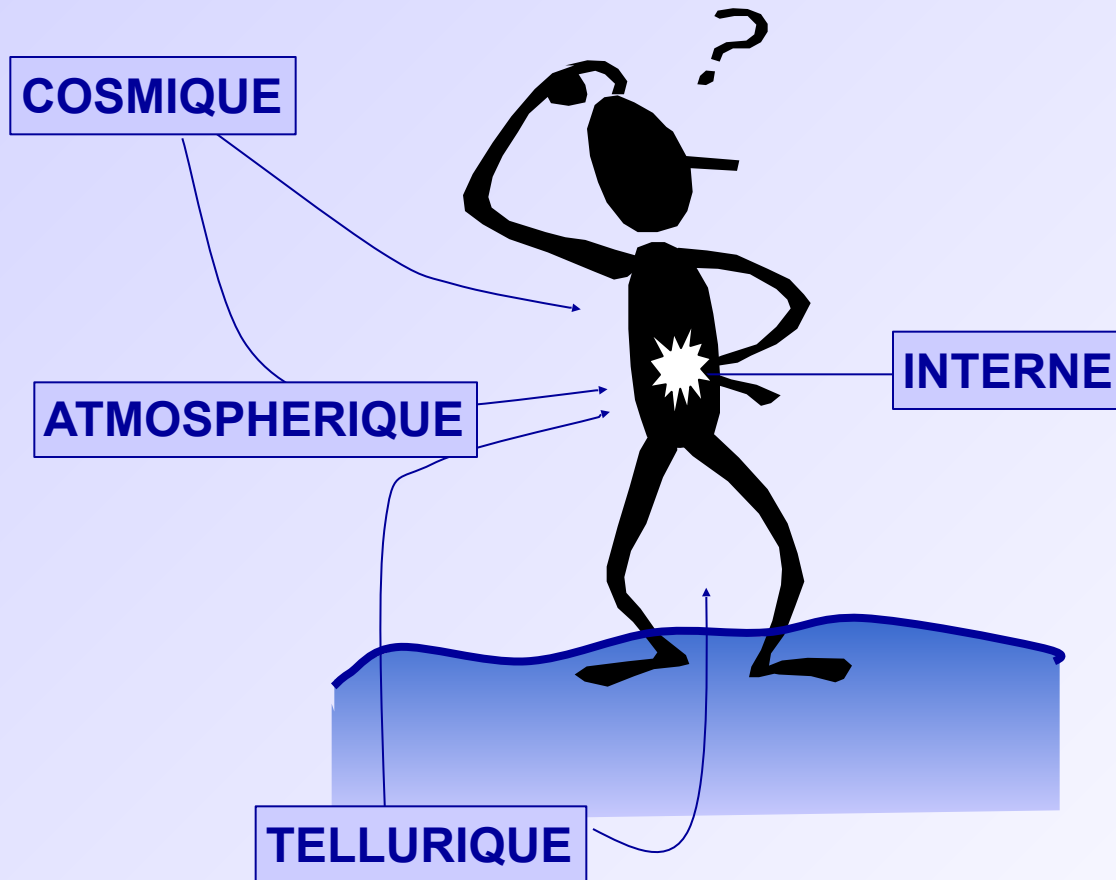
$$\sum_T w_T = 1$$

$$\text{Thyroïde } w_T = 0.05$$

$$\text{Gonades } w_T = 0.20 \dots$$

Valeur en Sv

# IRRADIATION NATURELLE



# IRRADIATION ARTIFICIELLE

(autres que sources naturelles et "professionnelles ")



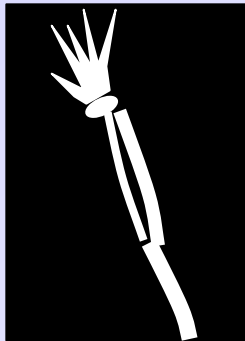
RETOMBÉES



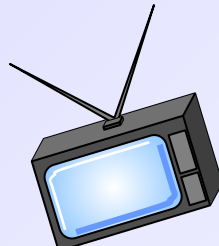
VOYAGES  
AVION



CADRANS  
PEINTURES  
LUMINESCENTS



RADIOLOGIE  
MEDICALE



TELEVISION



SEJOURS  
ALTITUDE

# BILAN DE L'IRRADIATION NATURELLE ET ARTIFICIELLE

## NATURELLE

COSMIQUE : 0,3 mSv/an

TELLURIQUE : 0,4 mSv/an

RADON : 1,2 mSv/an

1,9 mSv/an

INTERNE  
0,25 mSv/an

## ARTIFICIELLE

RADIOLOGIE : 0,7 mSv/an

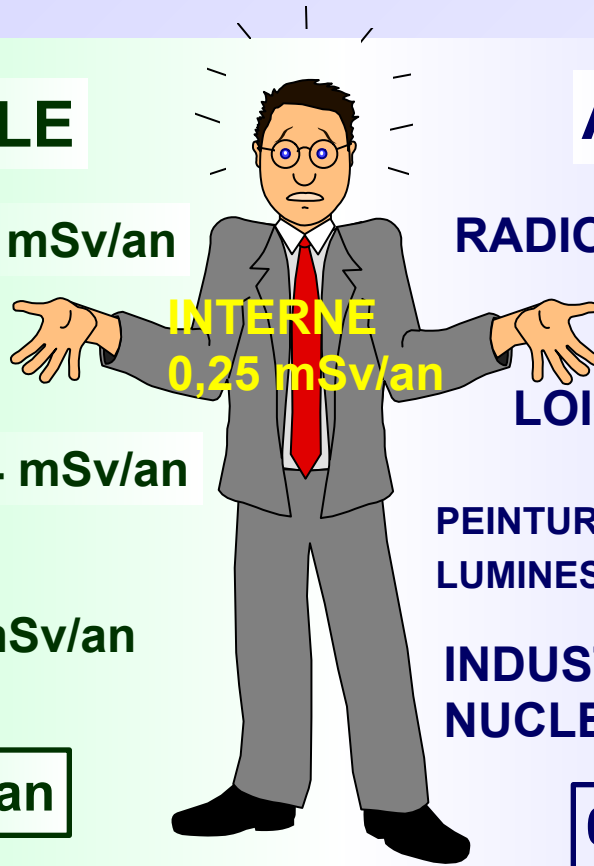
LOISIRS : 0,05 mSv/an

PEINTURES  
LUMINESCENTES : 0,01 mSv/an

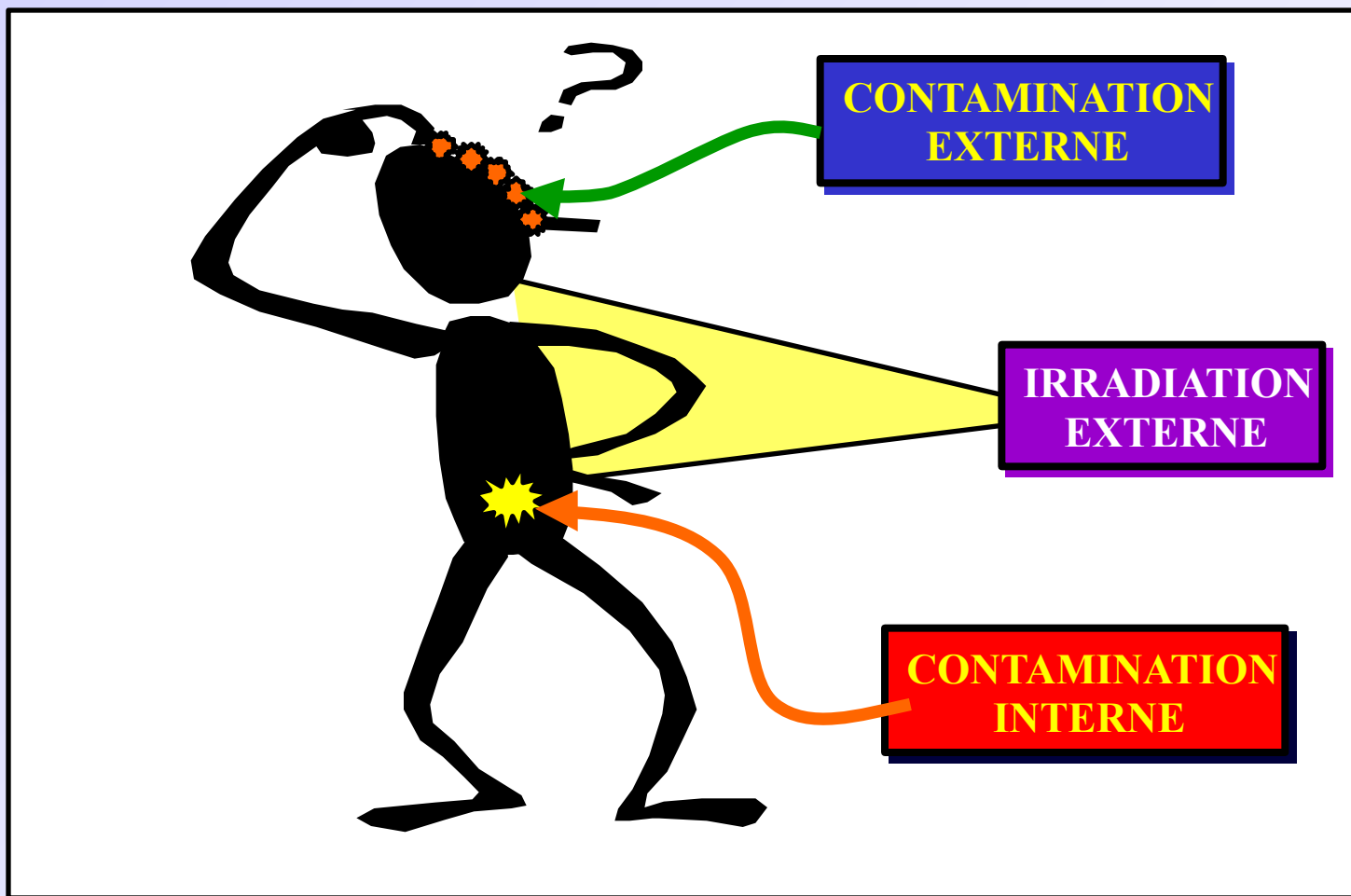
INDUSTRIE  
NUCLEAIRE : 0,001 mSv/an

0,75 mSv/an

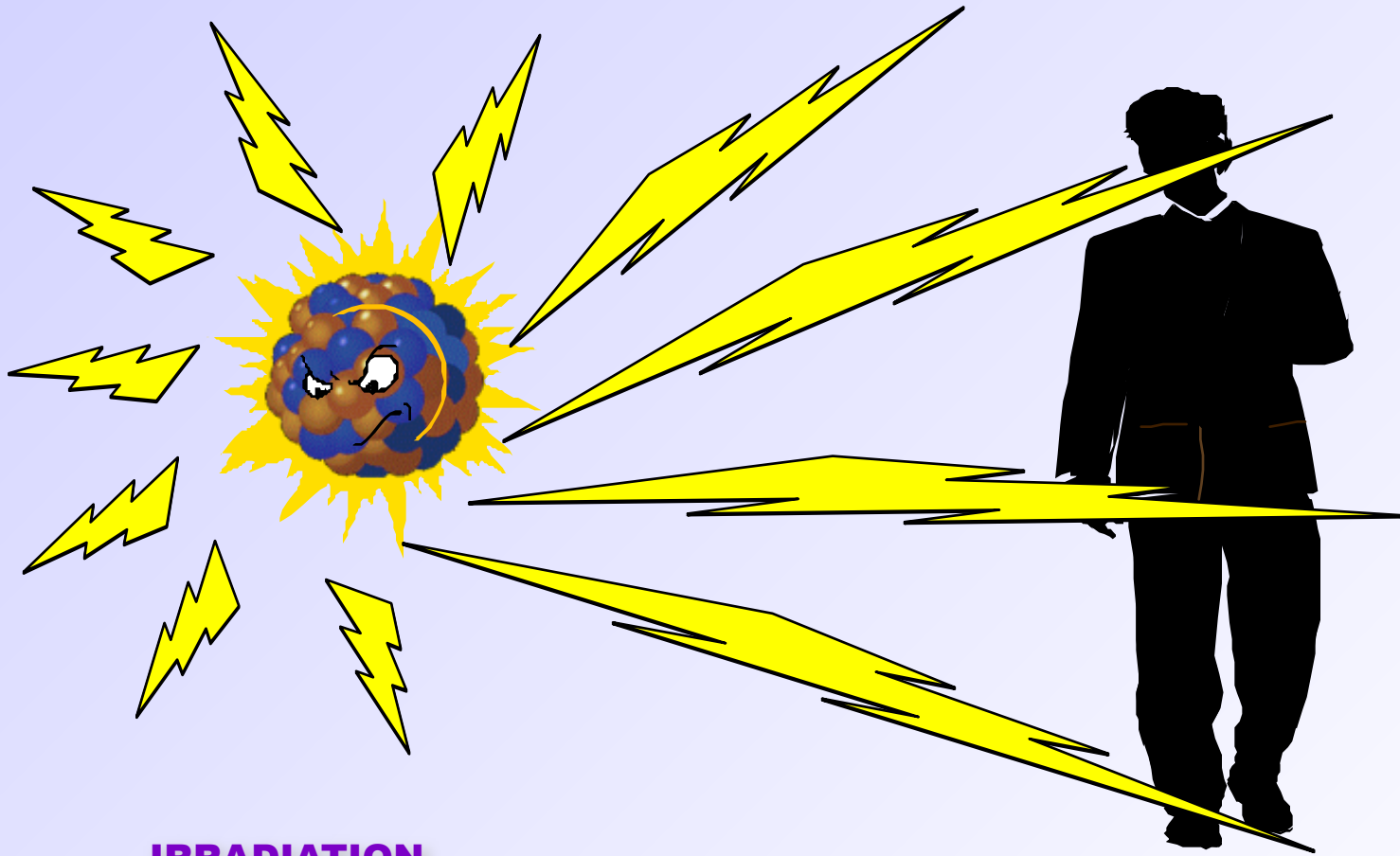
3 mSv/an



# LES MODES D'EXPOSITION



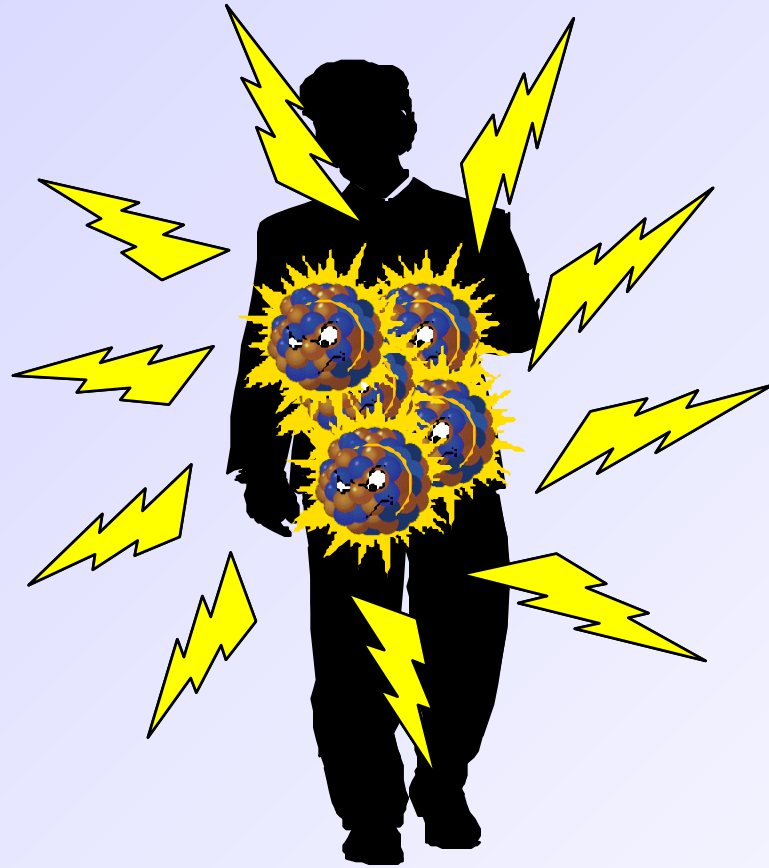
# QUELLE EST LA DIFFÉRENCE ENTRE IRRADIATION ET CONTAMINATION ?



**IRRADIATION**

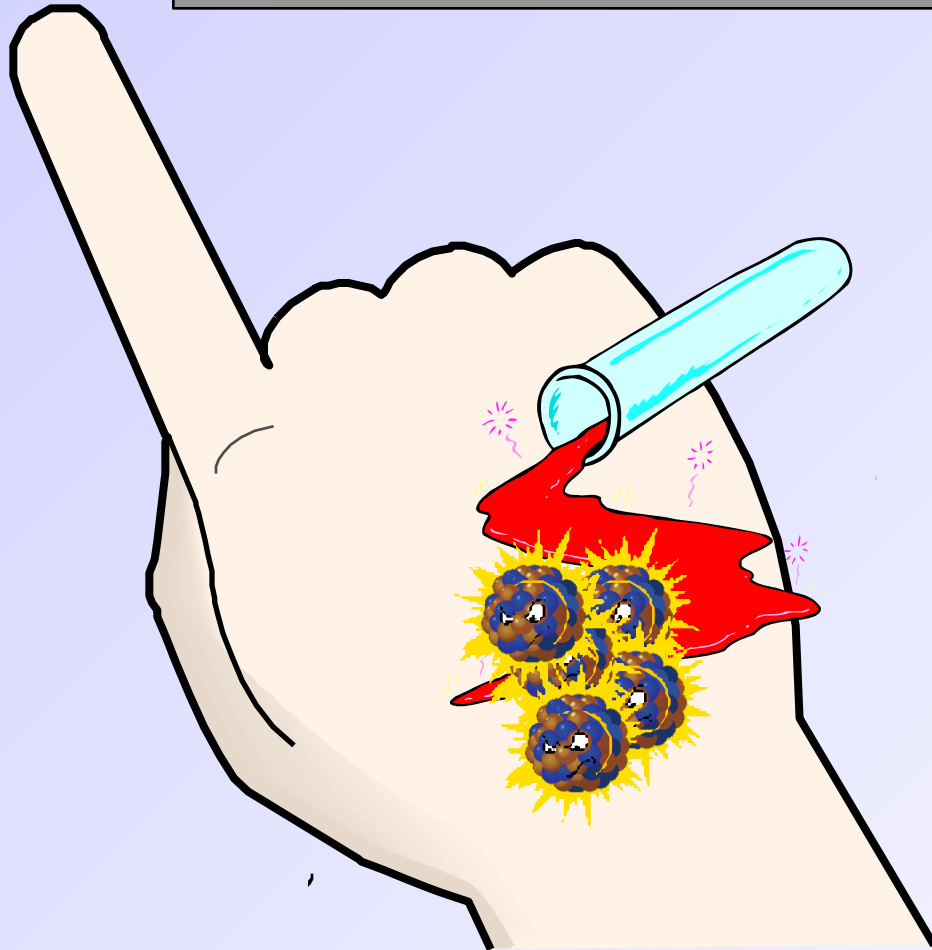
ou **EXPOSITION EXTERNE**

# QUELLE EST LA DIFFÉRENCE ENTRE IRRADIATION ET CONTAMINATION ?



**CONTAMINATION**

# CONTAMINATION EXTERNE



dépôt

de substances

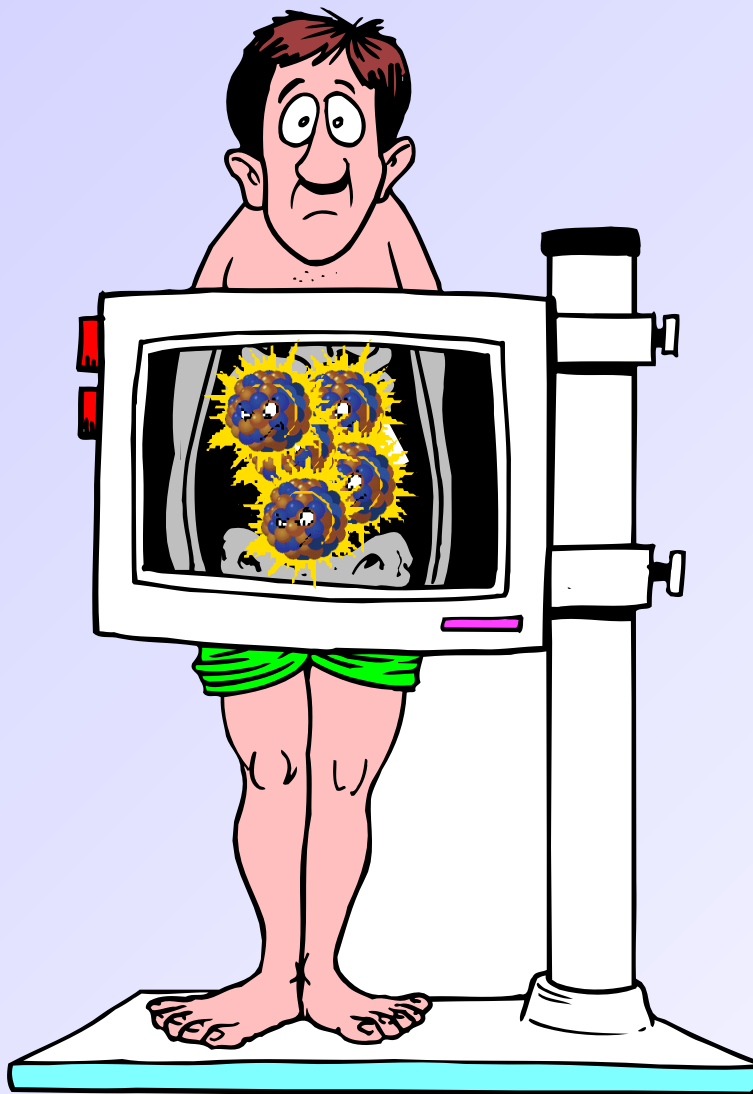
radioactives

sur la peau ou

les cheveux



# CONTAMINATION INTERNE



dépôt

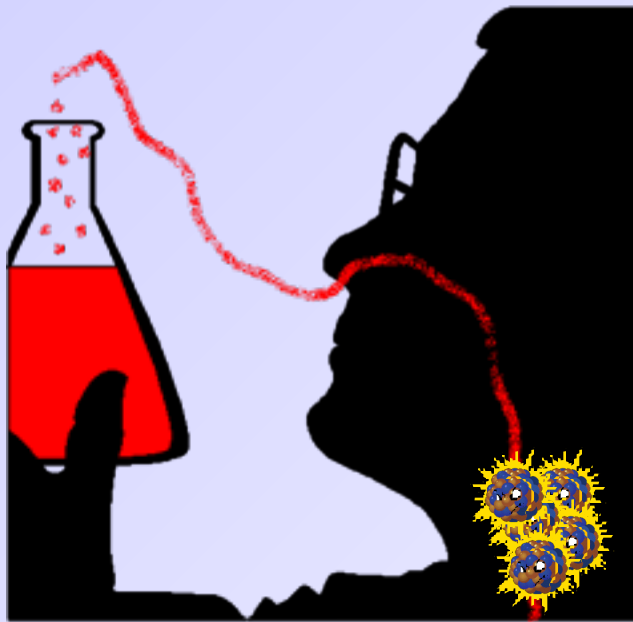
de substances

radioactives

à l'intérieur

de l'organisme

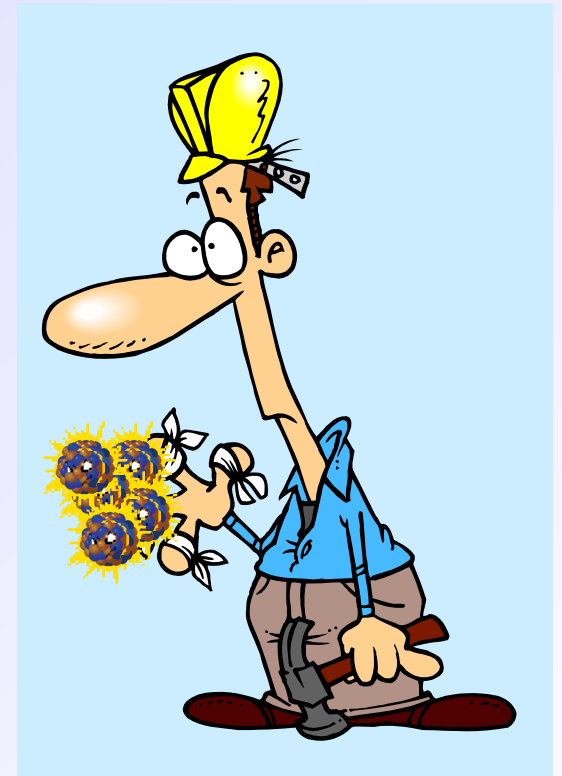
# MODES DE PÉNÉTRATION DE LA CONTAMINATION INTERNE



Inhalation

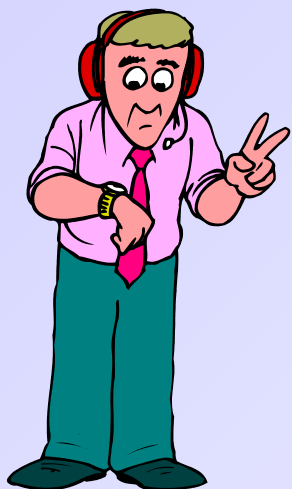


Ingestion

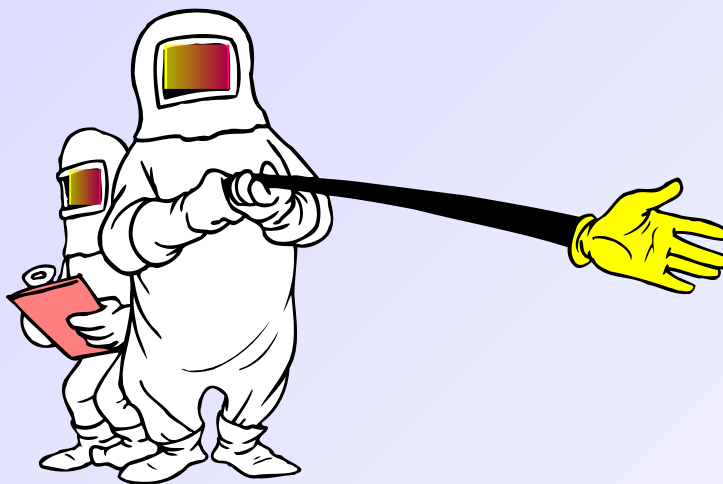


Blessure

# COMMENT SE PROTÉGER DE L'IRRADIATION ?



TEMPS



DISTANCE

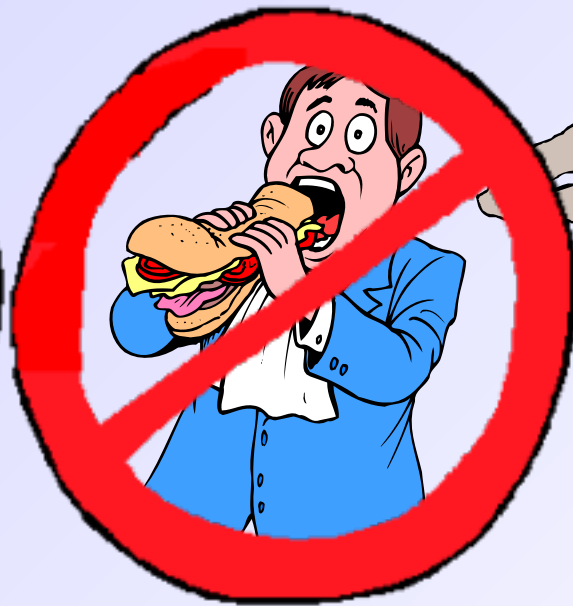


ECRAN

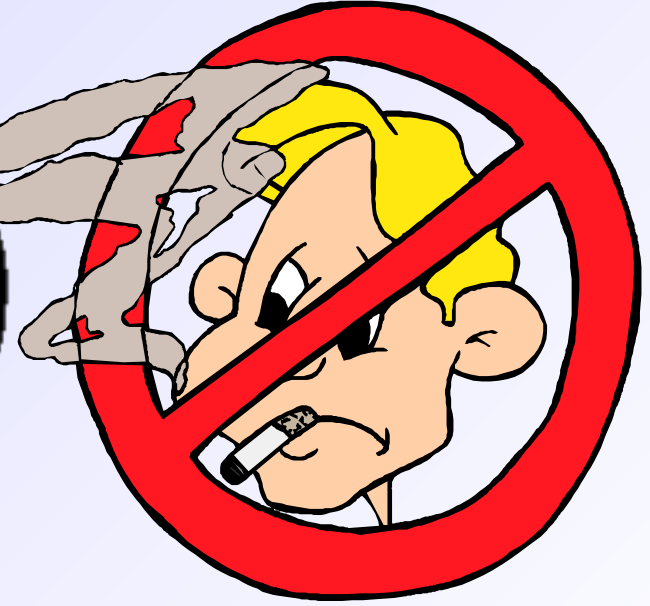
# COMMENT SE PROTÉGER DE LA CONTAMINATION INTERNE ?



Boire



Manger



Fumer

# Formation à l'intervention médicale en cas d'événement radiologique ou nucléaire

Pr Michel Bourguignon  
Commissaire ASN

michel.bourguignon@asn.fr ----- www.asn.fr



**Autorité  
de Sûreté Nucléaire**



**SAMU de Paris**



**Service de Protection  
Radiologique des Armées**

## **MODULE 1**

# **BASES THÉORIQUES**

1-1 : Définitions

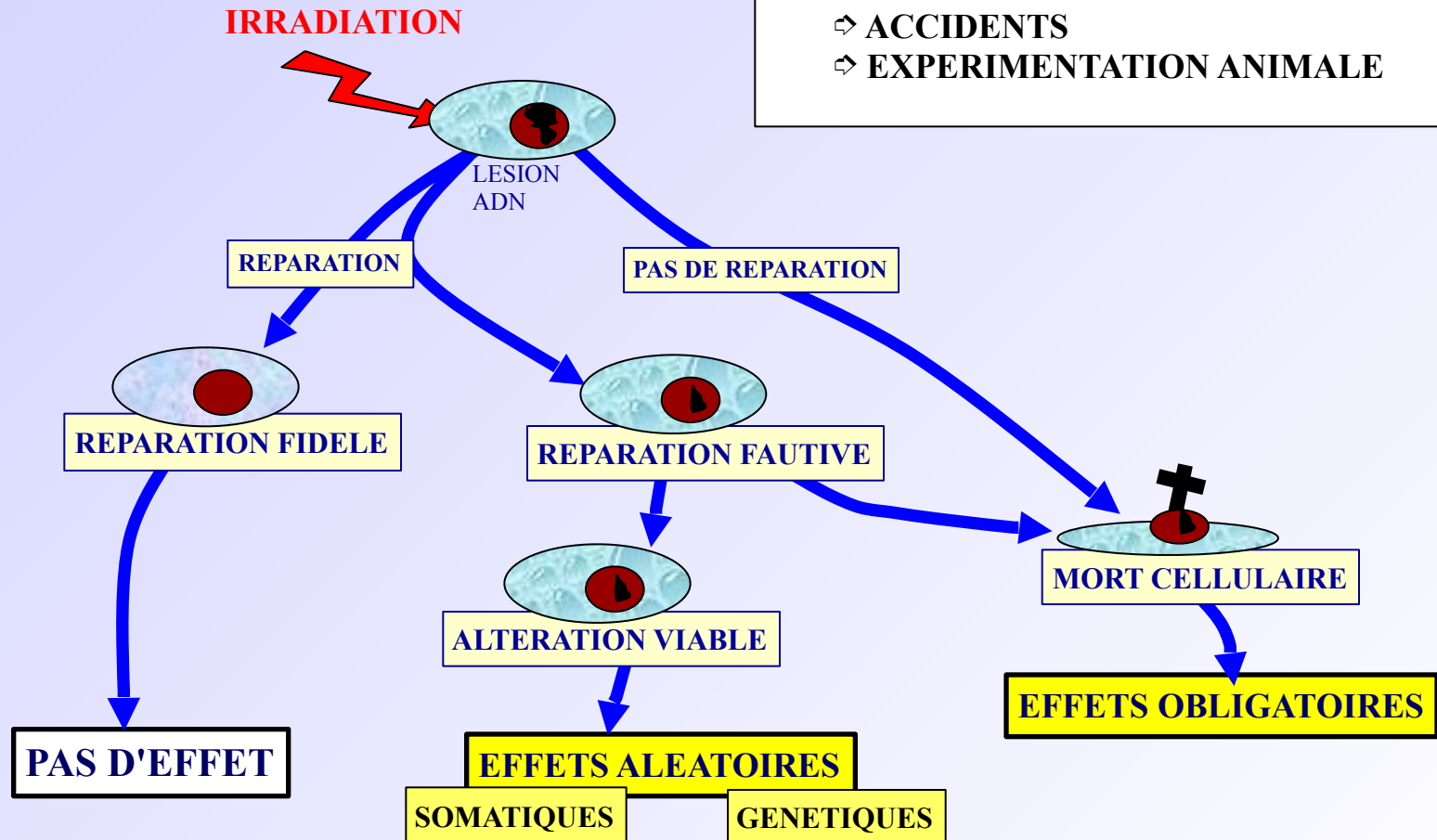
1-2 : L'irradiation et la contamination

1-3 : Les effets biologiques des rayonnements  
ionisants

# EFFETS SUR L'ORGANISME RADIOPATHOLOGIE

## 4 GRANDS TYPES D'OBSERVATIONS

- ⇨ HIROSHIMA, NAGASAKI
- ⇨ POPULATIONS PARTICULIERES
- ⇨ ACCIDENTS
- ⇨ EXPERIMENTATION ANIMALE



## **EFFETS OBLIGATOIRES OU DETERMINISTES OU NON STOCHASTIQUES**

**MORT CELLULAIRE**

- » SEUIL
- » CARACTERE OBLIGATOIRE
- » GENERALEMENT REVERSIBLES
- » PROPORTIONNELS A LA DOSE
- » CARACTERISTIQUES
- » PRECOCES OU MOYEN TERME

- **SYNDROME D'IRRADIATION  
GLOBALE AIGUE**
- **BRULURES RADIOLOGIQUES**

## **EFFETS ALEATOIRES OU NON DETERMINISTES OU STOCHASTIQUES**

**SURVIE DE CELLULES LESEES**

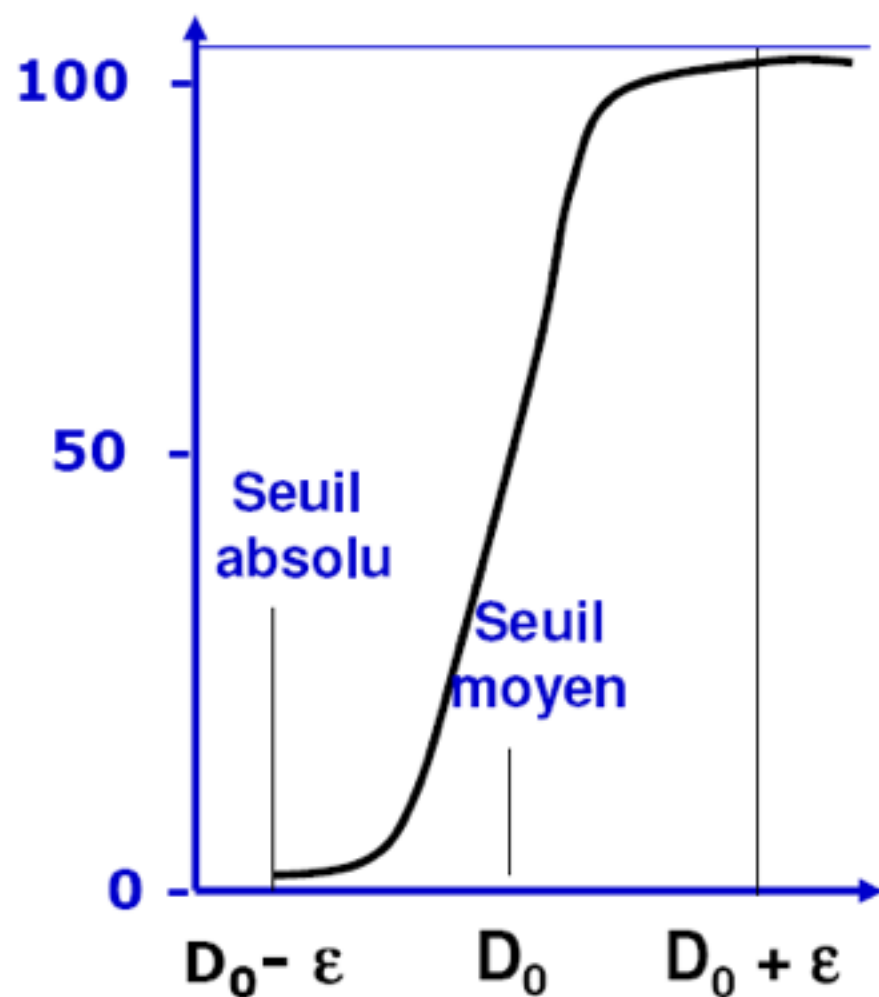
- » PAS DE SEUIL RECONNU
- » GENERALEMENT IRREVERSIBLES
- » GRAVITE NON PROPORTIONNELLE  
A LA DOSE
- » FREQUENCE PROPORTIONNELLE  
A LA DOSE
- » NON CARACTERISTIQUES
- » TARDIFS

- **CANCERS**
- **EFFETS GENETIQUES**



# ***EFFETS DETERMINISTES***

Fréquence%



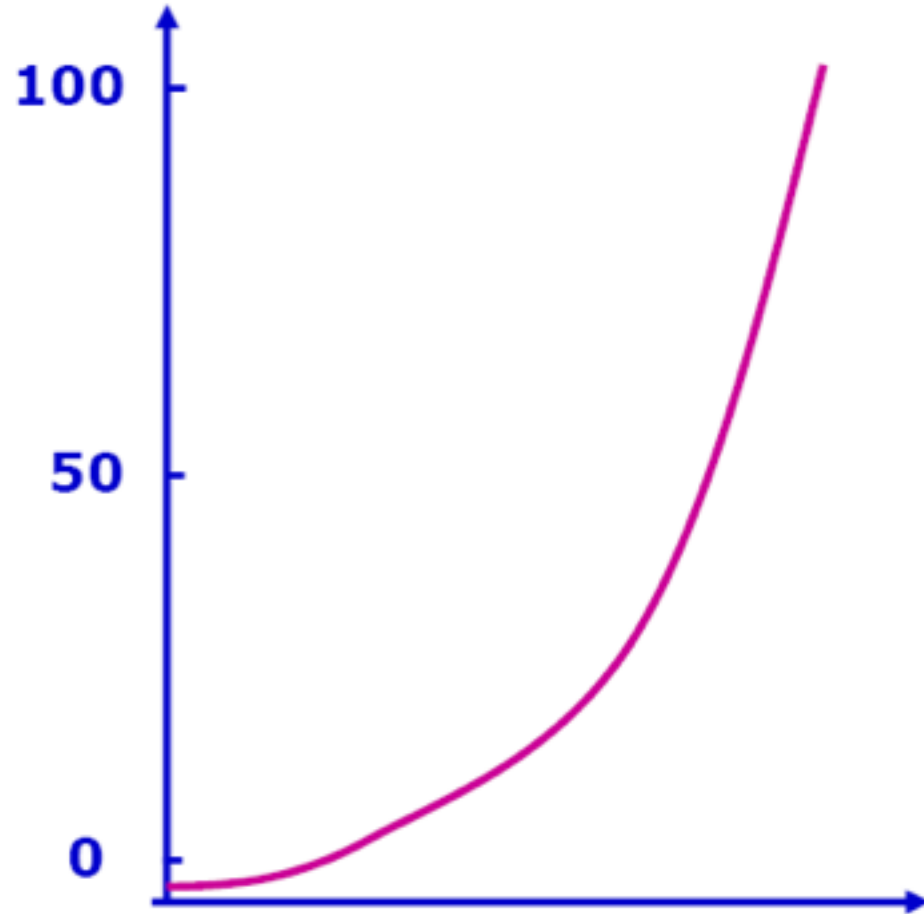
Gravité



***Pour un effet donné le seuil varie suivant les individus.***

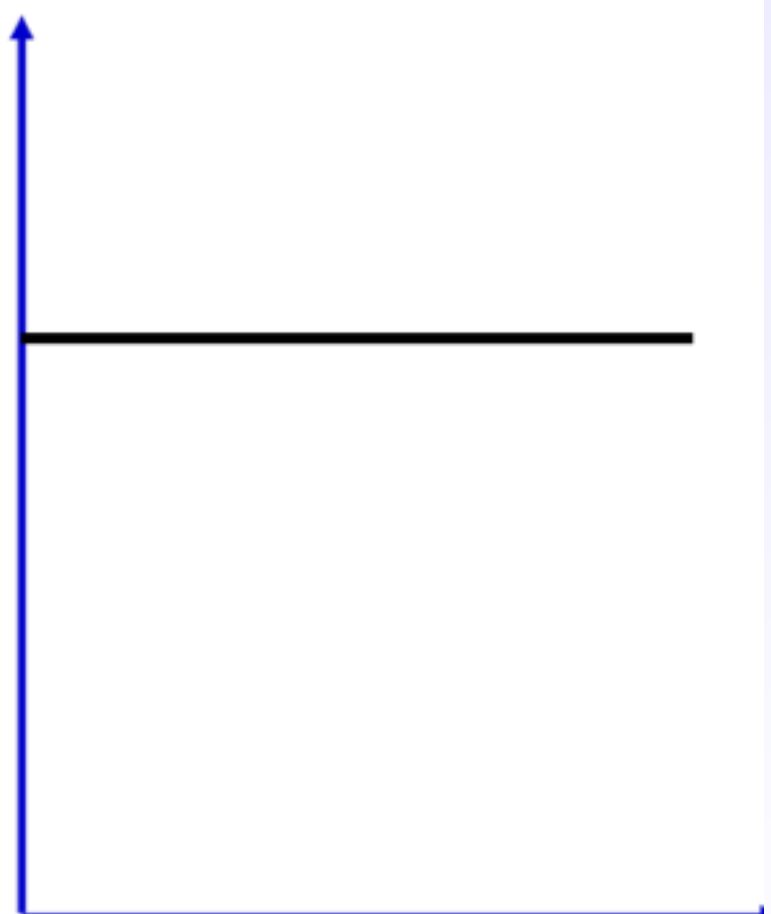
# EFFETS STOCHASTIQUES

Fréquence%



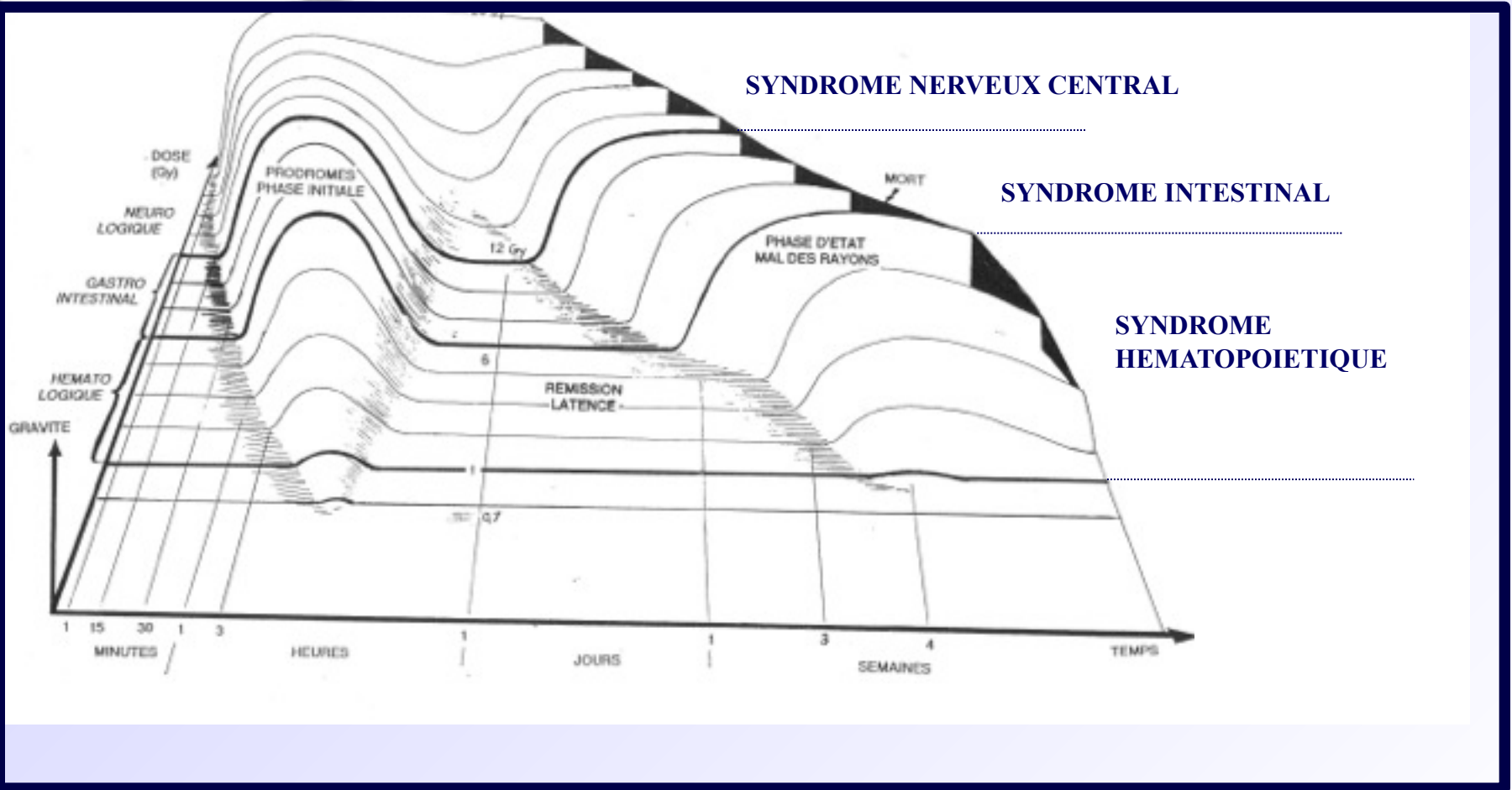
Dose

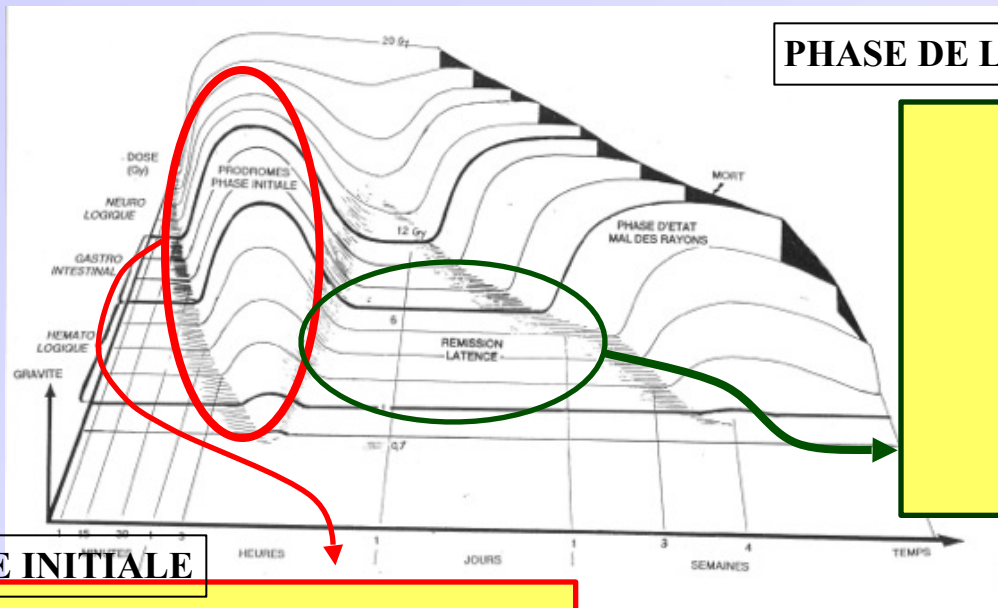
Gravité



Dose

# L'IRRADIATION GLOBALE AIGUË





**PHASE DE LATENCE**

**(Phase de rémission) APPARENTE ( pour D < 10 Gy)**

**DOSE AUGMENTE, PHASE :**

- PLUS COURTE
- PLUS TARDIVE
- MAUVAISE QUALITE

**PHASE INITIALE**

- SEUIL : 0,7 GY
- SIGNES GENERAUX (neurovégétatifs, digestifs)
- DOSE AUGMENTE, PHASE :
  - PLUS PRECOCE
  - PLUS FORTE
  - PLUS LONGUE

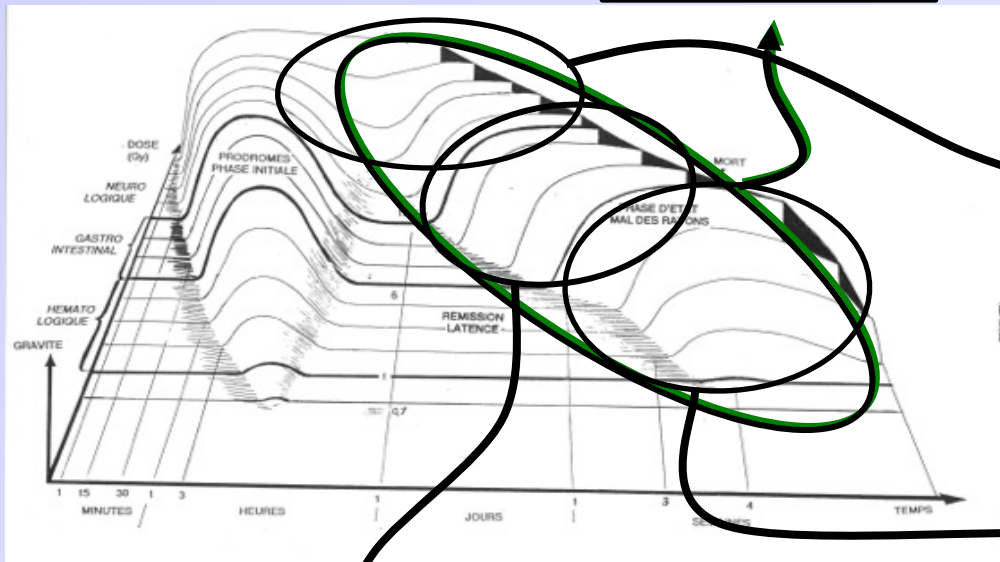
**PHENOMENES PEU PRECIS  
RESSEMBLANCE AVEC PHENOMENES PSYCHOLOGIQUES**

**CEPENDANT**

**DOSIMETRIE CLINIQUE POSSIBLE**

## PHASE D'ETAT

D > 10-15 Gy



### SYNDROME NERVEUX CENTRAL

**PERENNISATION ET AGGRAVATION DE LA PHASE INITIALE :**

- ⇒ PAS DE REMISSION
- ⇒ TROUBLES NERVEUX AVANT COMA
- ⇒ MORT RAPIDE

D > 6 Gy

### SYNDROME INTESTINAL

**EXPRESSION EN QUELQUES JOURS DE LA PERTE DES CELLULES DE LA MUQUEUSE INTESTINALE :**

- ⇒ ANOREXIE, DIARRHEES
- ⇒ INFECTIONS
- ⇒ DESHYDRATATION
- ⇒ HEMORRAGIES DIGESTIVES
- ⇒ OCCLUSIONS, PERFORATIONS...

D > 1 Gy

### SYNDROME HEMATOLOGIQUE

*ZONE DE LA DL 50*

**EXPRESSION EN 3 SEMAINES D'UNE APLASIE MEDULLAIRE :**

- ⇒ TROUBLES INFECTIEUX
- ⇒ TROUBLES DE LA COGULATION
- ⇒ ANEMIE
- ⇒ LES LYMPHOCYTES ONT DISPARU

## EFFETS RARES EN CAS D'EXPOSITION ACCIDENTELLE

Liés à une irradiation très forte  
à fort débit  
homogène

Peu vraisemblable en cas de  
contamination interne ou externe

**Accident de TOKAÏ MURA (Japon)**

***Effet contrôlé recherché en radiothérapie  
avant greffe de moelle osseuse***

# IRRADIATION LOCALISÉE

## Exposition de la peau

### à fort débit de dose

5 Gy < D > 10 Gy : Érythème (coup de soleil)

10 Gy < D > 20 Gy : Radiodermite

25 Gy < D : Radionécrose

### à faible débit de dose

D > 20 Gy : modifications esthétiques

- Signes cutanés plus précoces et plus sévères pour des doses plus élevées
- Évolution longue : mois

LESION POST  
RADIOLOGIE INTERVENTIONELLE



Dose >20Gy

6 à 8 sem



16 à 21 sem



18 à 21 mois

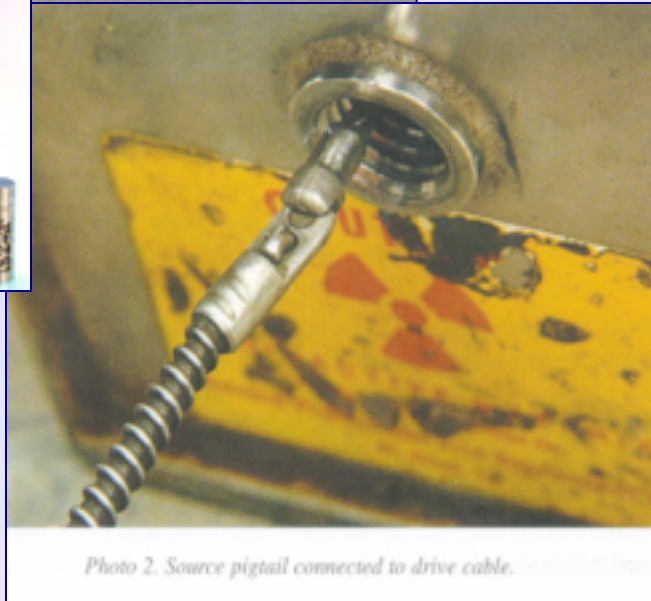


# EXEMPLE D'IRRADIATION AIGUË ACCIDENTELLE PERTE DE SOURCE DE GAMMAGRAPHIE

Yanango (Pérou) 20 février 1999



**Radiographie sur la tuyauterie  
d'une usine hydroélectrique :  
vérification des soudures**



*Photo 2. Source pigtail connected to drive cable.*

Source  $^{192}\text{Ir}$   
1370 GBq (40 Ci)  
contact 6 heures  
20 février 1999

# IRRADIATION AIGUË ACCIDENTELLE PERTE DE SOURCE DE GAMMAGRAPHIE

Yanango (Pérou) 20 février 1999

Les doses calculées **en GRAY** par les médecins péruviens ont donné les résultats suivants :

peau (1cm) :		10000
tissus mous (2 cm) :		2500
tissus mous (5 cm) :		400
fémur et artère fémorale (7 cm) :	140	
gonades (18 cm) :	23	
rectum (20 cm) :		18

Traitements médicaux entamés le lendemain

traitement au Pérou de février jusqu 'au 28 mai

traitement à l 'hôpital Percy jusqu 'au 17 octobre

Décès du patient fin année 2001

LE CHOC DES PHOTOS

ÂMES SENSIBLES

S 'ABSTENIR

ça n 'est pas une plaisanterie

# PERTE DE SOURCE DE GAMMAGRAPHIE

**DOSE EN  
PROFONDEUR  
ESTIMEE A  
30 - 40 Gy (g)**



# Nouveau paradigme de traitement des lésions cutanées aiguës (2006) - 1

- Traitement précoce
- Ablation chirurgicale de tout ce qui va nécroser (dose > 20 Gy) : évaluation IRM + modélisation
- Greffe de peau et de cellules souches mésenchymateuses (autologues si possible)
- Utilisation éventuelle de cytokines

# Nouveau paradigme de traitement des lésions cutanées aiguës (2006) - 2

- Traitement d'un jeune peintre chilien (même histoire que le péruvien)
- Récupération exceptionnelle au niveau de la fesse et de la main
- Utilisation de cytokines pour une lésion de la muqueuse buccale : excellent résultat, mais récurrence tardive !

**EVOLUTION 162 Days P.I.**



**EVOLUTION 204 Days P.I.**



# EFFETS STOCHASTIQUES CANCÉRISATION

PAS DE SEUIL RECONNU

CARACTERE ALEATOIRE

GRAVITE INDEPENDANTE DE LA DOSE

FREQUENCE PROPORTIONNELLE A LA DOSE

NON CARACTERISTIQUES

TARDIFS

**INCONTESTABLES  
PEU FRÉQUENTS  
DIFFICILES A DÉTECTER**

*ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES  
avec leurs limitations  
Expérimentation animale et cellulaire*





# Exemples d'effets stochastiques

## Irradiation externe

### HIROSHIMA NAGASAKI

Pour 86 572 personnes 1950-1997	Cas attendus (témoins)	Cas observés	Excès
Leucémies Cancers solides	156 8895	231 9335	75 440
			515

## Contamination interne

### TCHERNOBYL (Thyroïde)

Environ 4000 CANCERS DE LA THYROÏDE (cumulés)

- INCIDENCE NATURELLE : 0,04/100 000
- INCIDENCE OBSERVEE : BELARUS : 3,4 / 100 000  
GOMEL : 9,5 / 100 000

STABILISATION ACTUELLE DU BILAN

**EFFETS STOCHASTIQUES REDOUTÉS  
DANS TOUTES LES CIRCONSTANCES**

**Possibles ( mais peu probables) à faible dose**

**Conditions normales de travail  
accidents d'irradiation  
accidents de contamination**

## EFFETS GÉNÉTIQUES

Aucune observation objective chez l'homme

## EFFETS TÉRATOGENES

Sensibilité particulière 8<sup>ème</sup> à 16<sup>ème</sup> semaine

$D > 500$  mGy

Retards mentaux,  
malformations cérébrales

**MODULE 1**

# **BASES THÉORIQUES**

1-4 : Circonstances de survenue

# NUCLÉAIRE OU RADIOLOGIQUE ?

## NUCLÉAIRE

Met en jeu l'énergie nucléaire  
(fission, fusion)

- **ARME NUCLÉAIRE** (fission, fusion explosives)
- **RÉACTEUR NUCLÉAIRE** (production, recherche...)  
(fission contrôlée)
- **MÉDECINE NUCLÉAIRE** (abus de langage)  
Utilise la radioactivité

# NUCLÉAIRE OU RADIOLOGIQUE ?

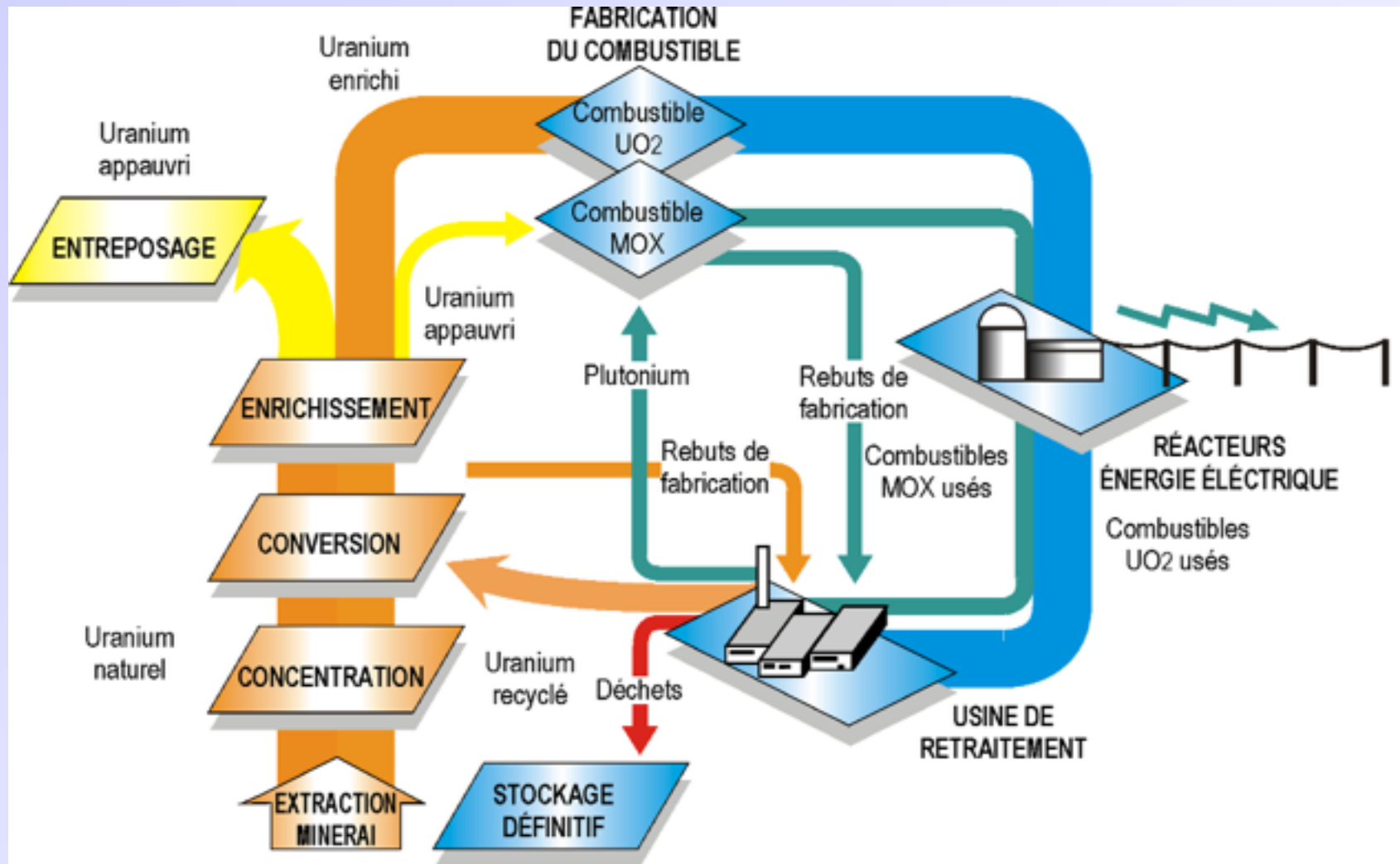
## RADIOLOGIQUE

Met en jeu des rayonnements ionisants  
( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , X, neutrons)





**TOUTES ORIGINES :**

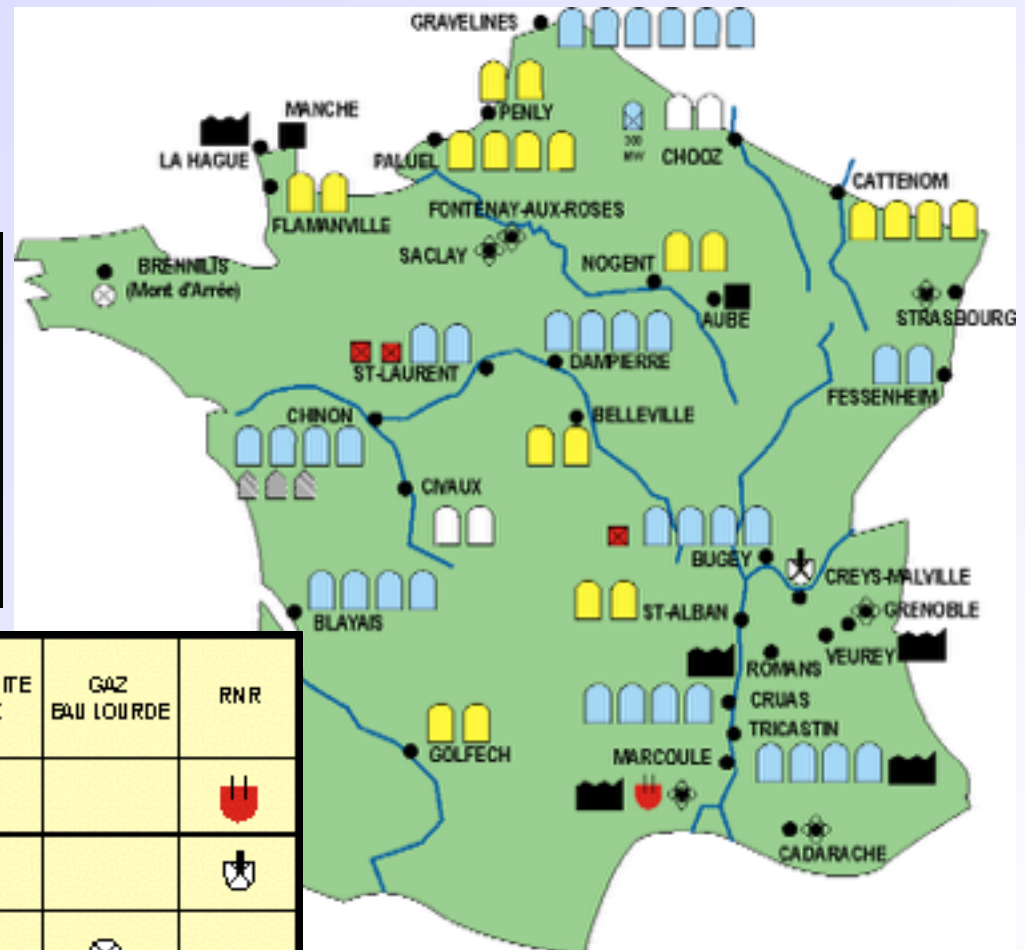
- **NUCLÉAIRE**
- **RADIOACTIVE**
- **GÉNÉRATEURS ÉLECTRIQUES**










# LE CYCLE DU COMBUSTIBLE



# LES PRINCIPAUX SITES NUCLÉAIRES

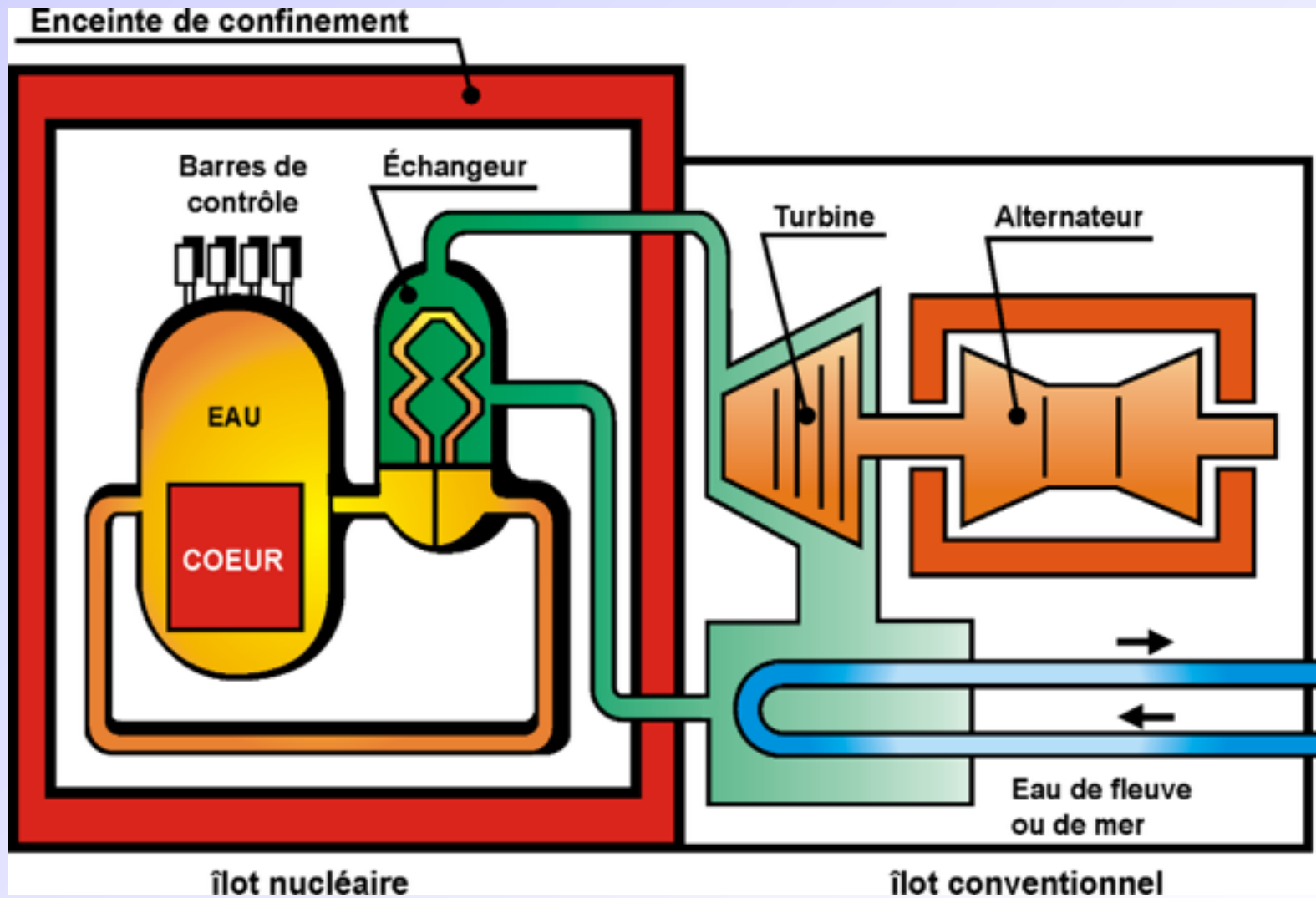
	USINES DU CYCLE DU COMBUSTIBLE (enrichissement, fabrication, retraitement)
	STOCKAGES DE DÉCHETS
	CENTRES D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES
	RÉACTEURS



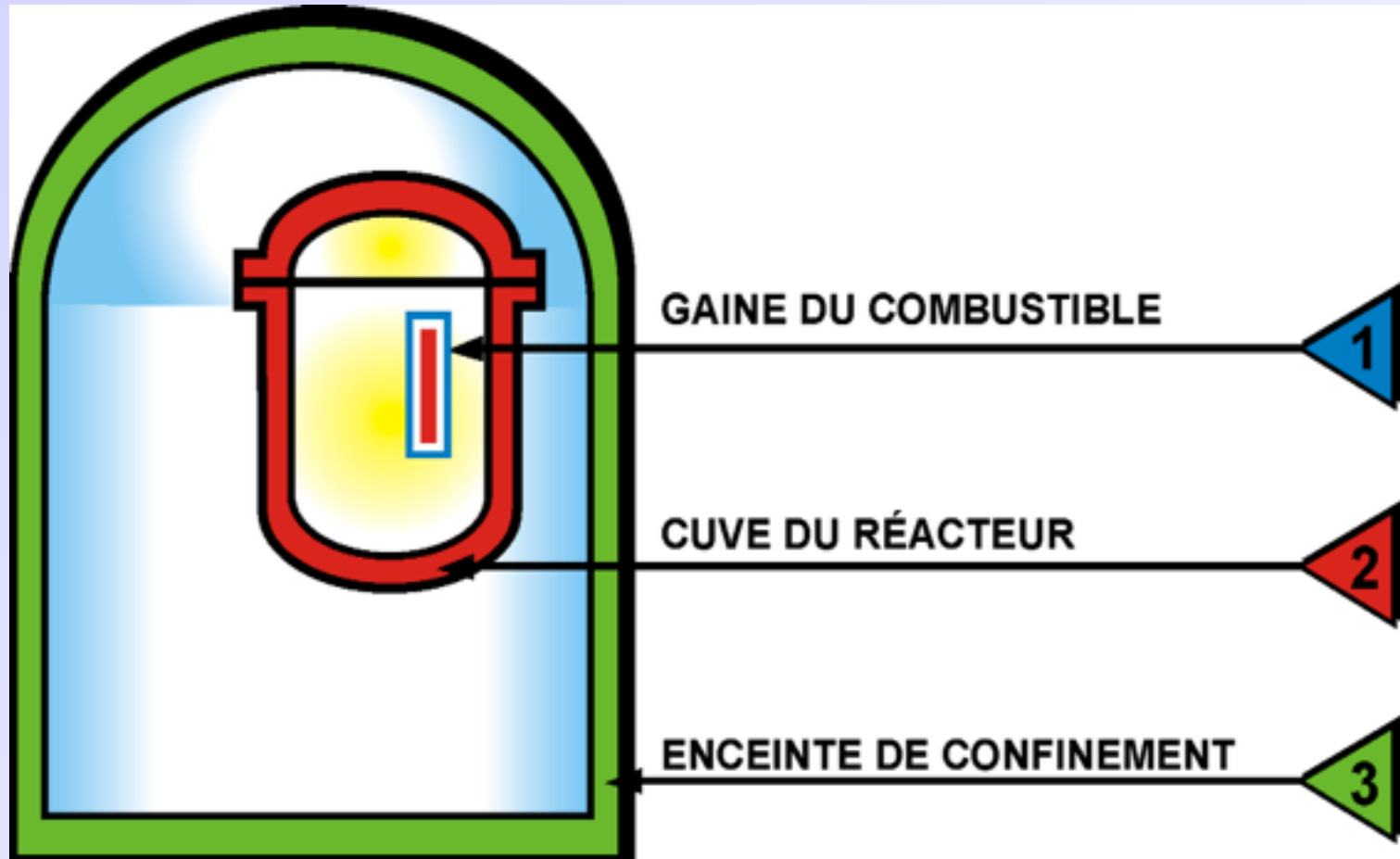
RÉACTEURS	R E P			GRAPHITE GAZ	GAZ EAU LOURDE	RNR
	900 M <sup>000</sup>	1300 M <sup>000</sup>	1450 M <sup>000</sup>			
EN EXPLOITATION						
A L'ARRÊT						
EN DÉMANTÈLEMENT						



# SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT D'UN RÉACTEUR À EAU SOUS PRESSION



# RÉACTEURS À EAU SOUS PRESSION LES 3 BARRIÈRES



# TRANSPORT DES MATIÈRES RADIOACTIVES

Transports associés au cycle du combustible en France

Concentré d'uranium naturel

Nitrate d'uranyyle

UF<sub>4</sub>

UF<sub>6</sub>

Combustibles UO<sub>2</sub>

PuO<sub>2</sub>

Combustibles MOX neufs

Combustibles irradiés

Déchets

1 Transformation

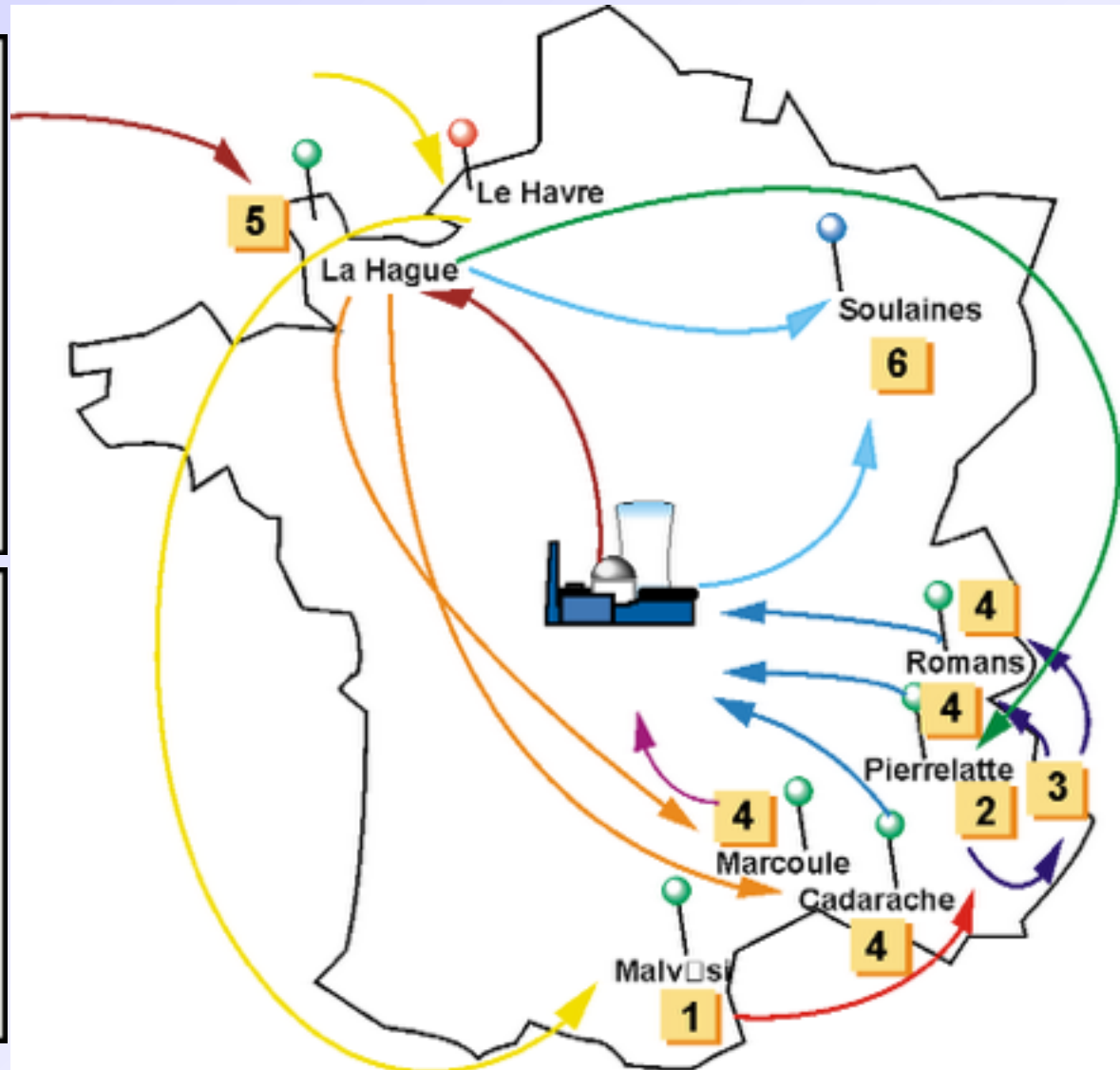
2 Conversion

3 Enrichissement

4 Fabrication

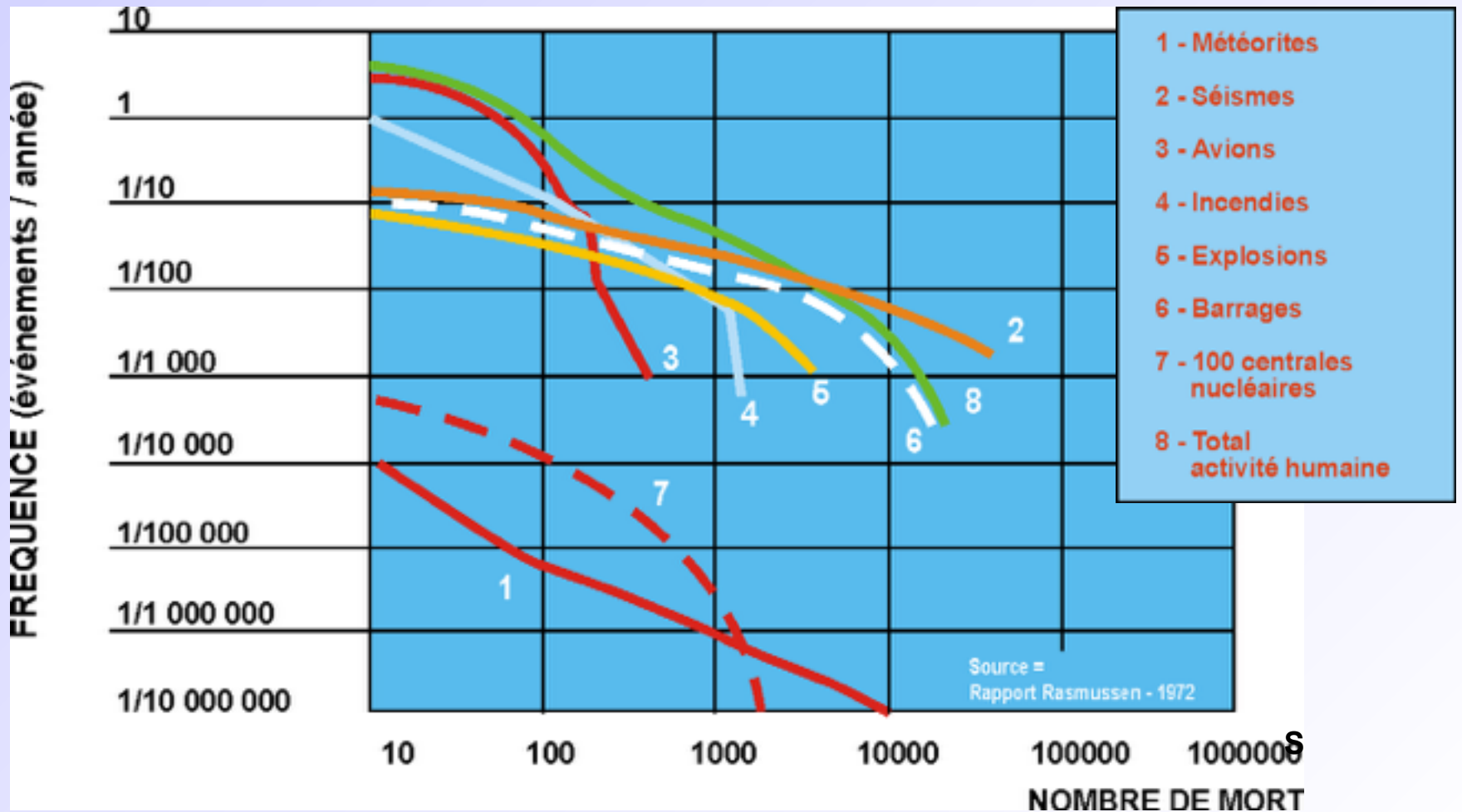
5 Retraitement

6 Stockage de surface,  
déchets FA/MA

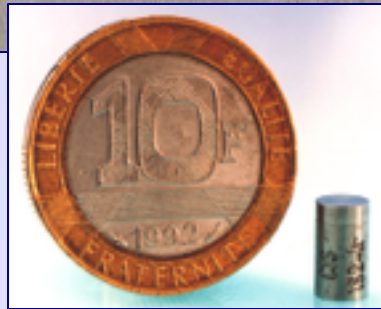


# LE RISQUE NUCLÉAIRE

## QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR



# SOURCES DE GAMMAGRAPHIE INDUSTRIELLE



# LES ACCIDENTS DE 1944 À 2002

- 407 accidents
- 122 morts
- 3000 blessés

Site web [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

## ACCIDENTS NUCLÉAIRES OU RADIOLOGIQUES

# Importance de l'événement ?

- Majeur : grande population ou impact sanitaire important
- Modéré : quelques personnes ou impact sanitaire réduit
- Mineur : personne isolée ou impact sanitaire faible

## ACCIDENTS NUCLÉAIRES OU RADIOLOGIQUES

### Probabilité d 'un événement ?

- pas de risque zéro
- responsabilité humaine +++
- contexte du 11 septembre 01



# Impact ?

## Impact modéré

- Forbach : accélérateur d'électrons  
3 irradiés graves
- Géorgie : sources perdues  
quelques irradiés graves

## ACCIDENTS NUCLÉAIRES OU RADIOLOGIQUES

# Impact majeur radiologique

- Goiânia : dispersion d'une source de radiothérapie (Cs pulvérulent)
  - + 4 morts et 47 irradiés graves
  - + 100.000 anthropogammamétries
  - = grande hystérie collective +++
- Saragosse : accident de radiothérapie (logiciel défectueux) + 20 morts

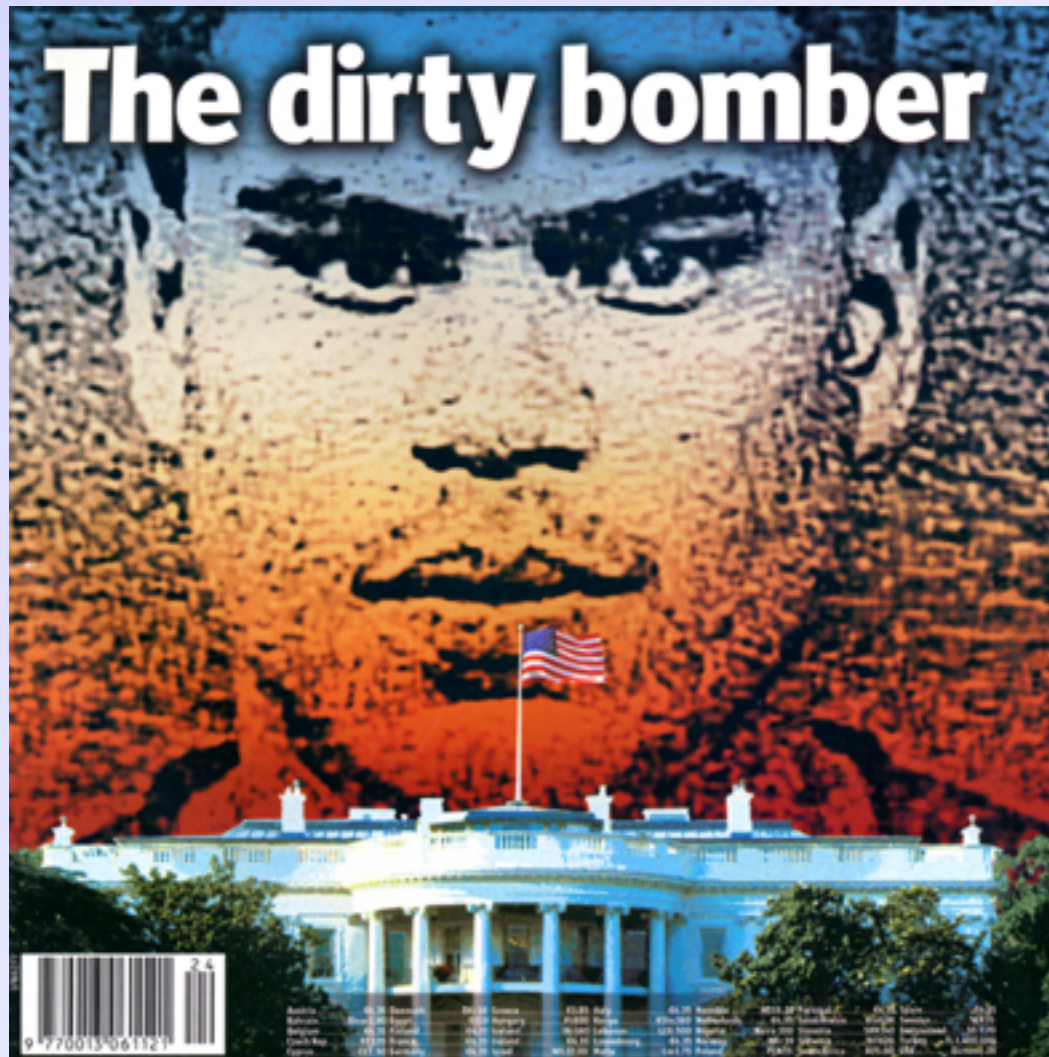
# Impact majeur nucléaire

- **Tchernobyl** : 41 morts
  - + 600.000 liquidateurs
  - + dispersion massive de matières radioactives
  - + 7000 cancers de la thyroïde
- **Three Mile Island** : fusion du cœur mais  
enceinte de confinement
  - quelques morts sur les routes

## L'événement NRBC ?

- Attentat ou accident
- Combinaison inconnue : N + R + B + C
  - Sauveteurs
  - Blessés
  - Contaminés
  - Impliqués

# Dirty Bomb ?



# «DIRTY BOMB» OU BOMBE SALE ÉPANDAGE DE MATIÈRE RADIOACTIVE

- Explosifs standards
- Projection de particules métalliques, dégagement de chaleur, destruction de l'environnement
  - Traumatismes
  - Brûlures
- Particules radioactives
  - Contamination interne et externe
  - Irradiation
- Problème de l'espace confiné

## **CONTAMINATION :**

# **LE PREMIER RISQUE RADIOLOGIQUE**

- Par voie externe : par contact direct au niveau des vêtements et de toute zone exposée
  - Risque de dissémination de la contamination
- Par voie interne : particules inhalées, ingérées ou ayant pénétré au travers d'une peau saine ou lésée

# La source scellée radioactive

- Irradiation isolée méconnue
- Source perdue, volée, abandonnée
  - Érythèmes
  - Troubles digestifs

PENSER A UNE EXPOSITION  
AUX RAYONNEMENTS IONISANTS



# **IRRADIATION : LE PREMIER RISQUE**

- Irradiation externe cesse avec la disparition de la source de rayonnement
- Irradiation totale ou partielle en fonction de la position du corps par rapport à la source
- Intensité de l'atteinte dépend de la distance du corps par rapport à la source

**Un irradié n'est pas plus irradiant qu'un brûlé ne brûle**

DANS LES DEUX CAS

## Trois types de « victimes »

- Victimes de lésions conventionnelles et radio-contaminées et/ou irradiés (qqz dizaines)
- Personnes non blessées mais sur les lieux de l'événement (qqz centaines)
- Populations établies à proximité, se croyant impliquées (plusieurs milliers)