

**Normes de radioprotection :  
une conjugaison de données scientifiques  
et sociétales et un sujet plein d'embûches.**

**Philippe GUETAT - CEA / CFE-CGC**

Collège syndical du HCTISN

Adresse courriel : [philippe\\_guetat@live.fr](mailto:philippe_guetat@live.fr)

**Congrès national SFRP 7-9 juin 2017 Lille**

## Objectifs

faire un point sur les données de base scientifiques et sociétales permettant :

- de donner chair aux concepts de dangers et risques d'exposition,
  - d'apprécier les exigences s'appliquant aux RI comparativement à d'autres sources de dangers,
  - d'appréhender les marges de sécurité retenues et
  - quelques conséquences industrielles, sanitaires et immobilières.
- NB. On s'intéressera ici aux expositions inférieures à 0,2 Sievert.**

# Enjeu

2016 et 2017 sont les années de la transcription en droit français de la directive européenne 2013-59,

laquelle fixe les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants.

Cette réglementation sera celle des 15 prochaines années.

- ***Tout étant radioactif par essence :***
- Qu'est-ce qu'une substance **lexradioactive** (i.e. **au sens réglementaire**) ?
- Doit-on traiter différemment les rayonnements issus de la radioactivité **naturelle et artificielle** ?
- Comment choisir les niveaux de contraintes selon qu'il s'agit **d'expositions existantes, planifiées-contrôlées, ou accidentelles**?
- Doit-on avoir **des niveaux de risques différents** selon le secteur industriel ou commercial considéré?
- Les valeurs sont-elles données à 10% près ou un facteur 10 ?

# L'établissement des règles

CIPR – publication n° 103

IAEA

OMS-WHO

UNSCEAR

Directive européenne 1996-29

Directive européenne 2013-59

Codes de la santé et de l'environnements

# Plan de l'exposé

**Quelques données de base :**

- **De nature radiologique**
- **de nature biologique**
  - À l'échelle microscopique, cellulaire voire moléculaire,
  - À l'échelle macroscopique des organismes – (épidémiologie)
- **De nature sociétale**

**Définition et signification des critères d'exposition des Femmes et hommes (Fommes),**

**Qq considérations mathématiques et physiques**

**Les seuils d'exemption de la réglementation et critère d'acceptations dans les installations**

**Conséquences sociétales.**

# 1. Notions de dose et d'impact *pour se comprendre*

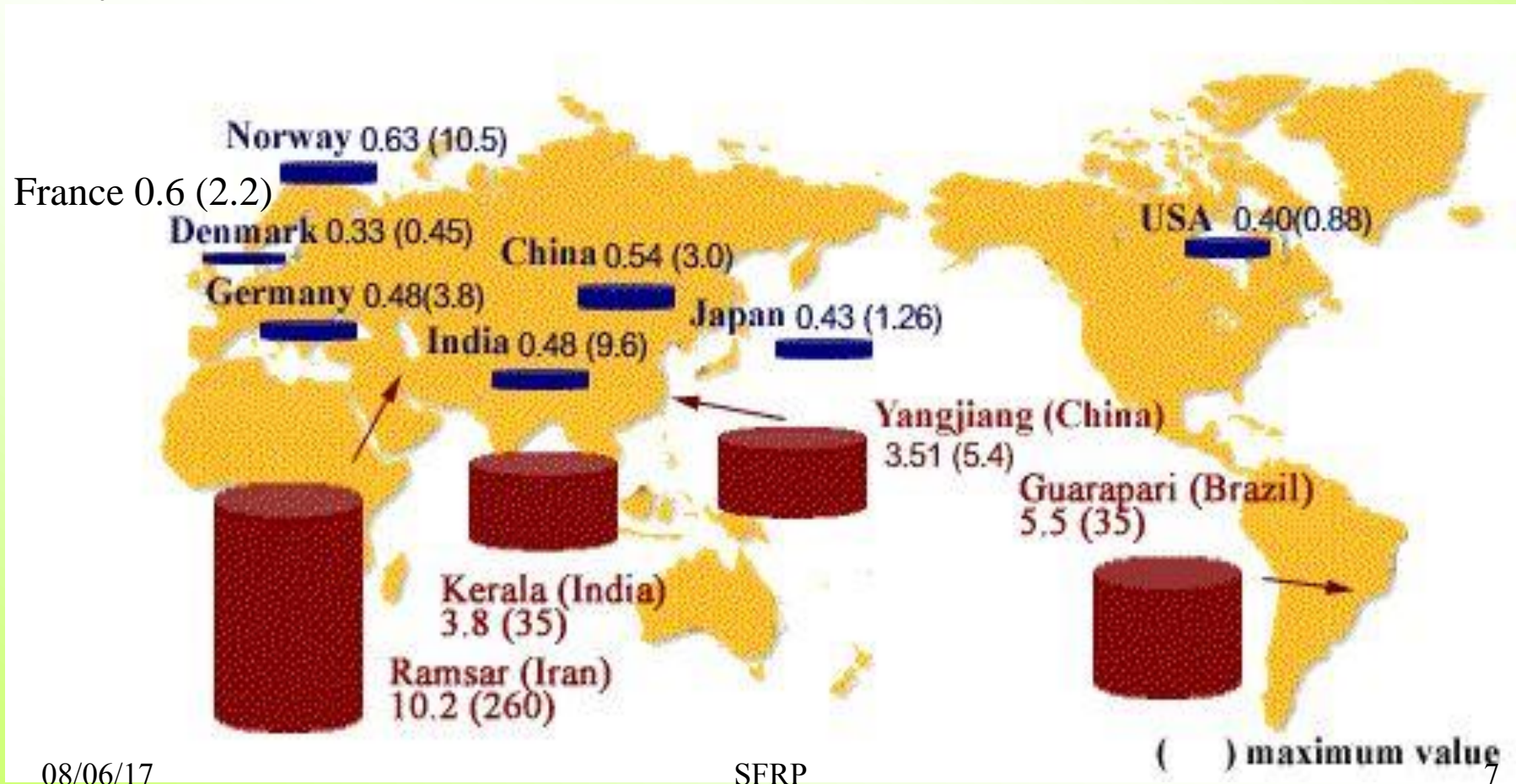
Forte	supérieure à 1 Gy ( <i>rayons à faible TEL</i> )
Modérée	entre 0,2* et 1 Gy
<b>Faible</b>	<b>entre 20* et 200* mGy ou mSv<sub>eq</sub></b>
Très faible	entre 2 et 20 mGy ou mSv <sub>eq</sub>
Négligeable	entre 0,1 et 2 mGy ou mSv <sub>eq</sub>
Insignifiante	inférieure à 100 μSv <sub>eq</sub>

Faible débit de dose < 0,1 mGy/mn pour faible TEL

- UNSCEAR 2015 *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation* – (\* environ 10 et environ 100 mGy)  
directive européenne 13/59 - G. Smith, J. Radiol. Prot. 36 (2016) 1004–1007

# Exposition par irradiation externe (sol et air) en mSv/an

Moyenne et variation



# La radioactivité naturelle

- Il y a 3.5 milliards : la vie

- $^{238}\text{U}$  (4.47 milliards), 1.5 fois plus qu'aujourd'hui
- $^{40}\text{K}$  (1.25 milliard) - 6 fois plus qu'aujourd'hui
- $^{235}\text{U}$  - (704 millions) - 32 fois plus qu'aujourd'hui

$^{40}\text{K}$  : 0,17 mSv/an

U Th :

poisson fruits de mer

0 à 2,1 mSv/an



SFRP

$^3\text{H}$  ou tritium :

stock 3,5 kg  $1.3 \cdot 10^{18}\text{Bq}$   
Production 0.15 à 0.2 kg/an

$^{14}\text{C}$   $1.54 \cdot 10^{15}\text{ Bq/an}$  9.3 kg/an  
170 Bq/kg de carbone,

$^7\text{Be}$   $^{10}\text{Be}$

$^{22}\text{Na}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{32}\text{Si}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{36}\text{Cl}$   $^{37}\text{Ar}$

(Voir Unscear 2000 tableau 4)



# Diagnostic médicaux

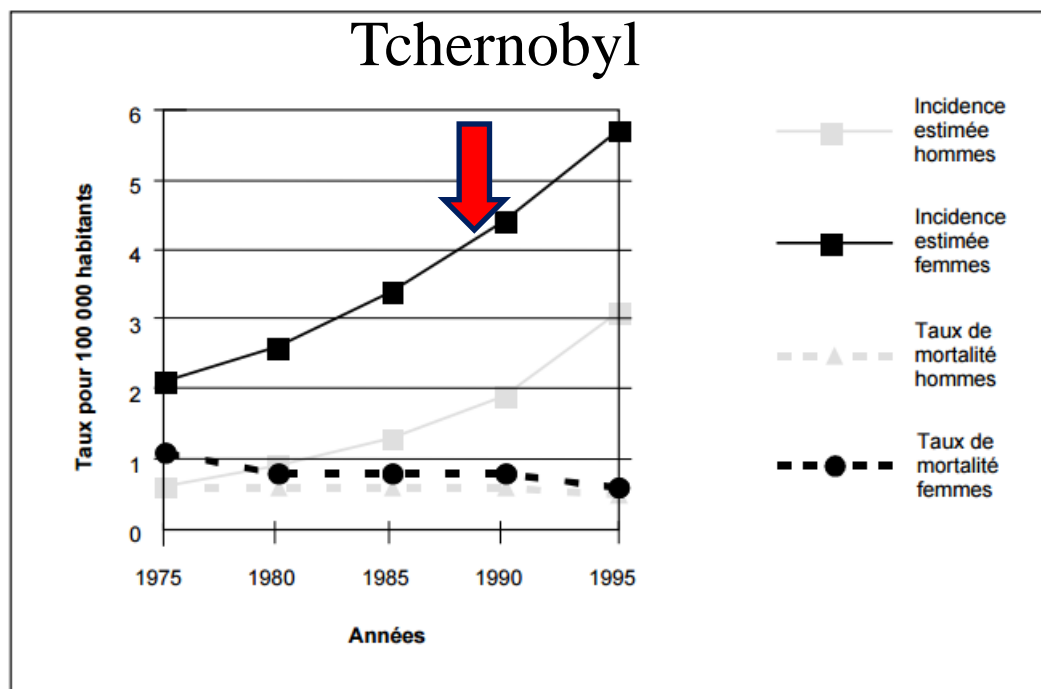
Moyenne médicale par individu 1, 2 mSv/an

Examen	Dose efficace
Radio du thorax (2 clichés)	0,1 mSv
Radio du bassin	1,2 mSv
Scannographie	2 – 10 mSv
Médecine nucléaire – examen des reins $^{99m}\text{Tc}$	De 0,4 à 2 mSv suivant l'activité de la source
Médecine nucléaire – examen du cerveau $^{99m}\text{Tc}$	7 mSv
Médecine nucléaire – examen du myocarde $^{99m}\text{Tc}$	9 - 10 mSv
Médecine nucléaire – examen du myocarde $^{201}\text{Tl}$	30 - 40 mSv

- Il n'y a pas de moyenne quand la courbe est multimodale. Cf. dose thyroïde forte à Tchernobyl. Il y a les enfants qui ont bu et mangé, et les autres.

# Les cancers de la thyroïde en France ne sont pas dus à Tchernobyl !

FIGURE 4. Taux d'incidence et taux de mortalité du cancer de la thyroïde dans la population générale française sur la période 1975-1995 séparément chez les femmes et les hommes. (Taux pour 100 000 personnes standardisés sur la population Européenne) [Rapport FRANCIM-DGS 1999]

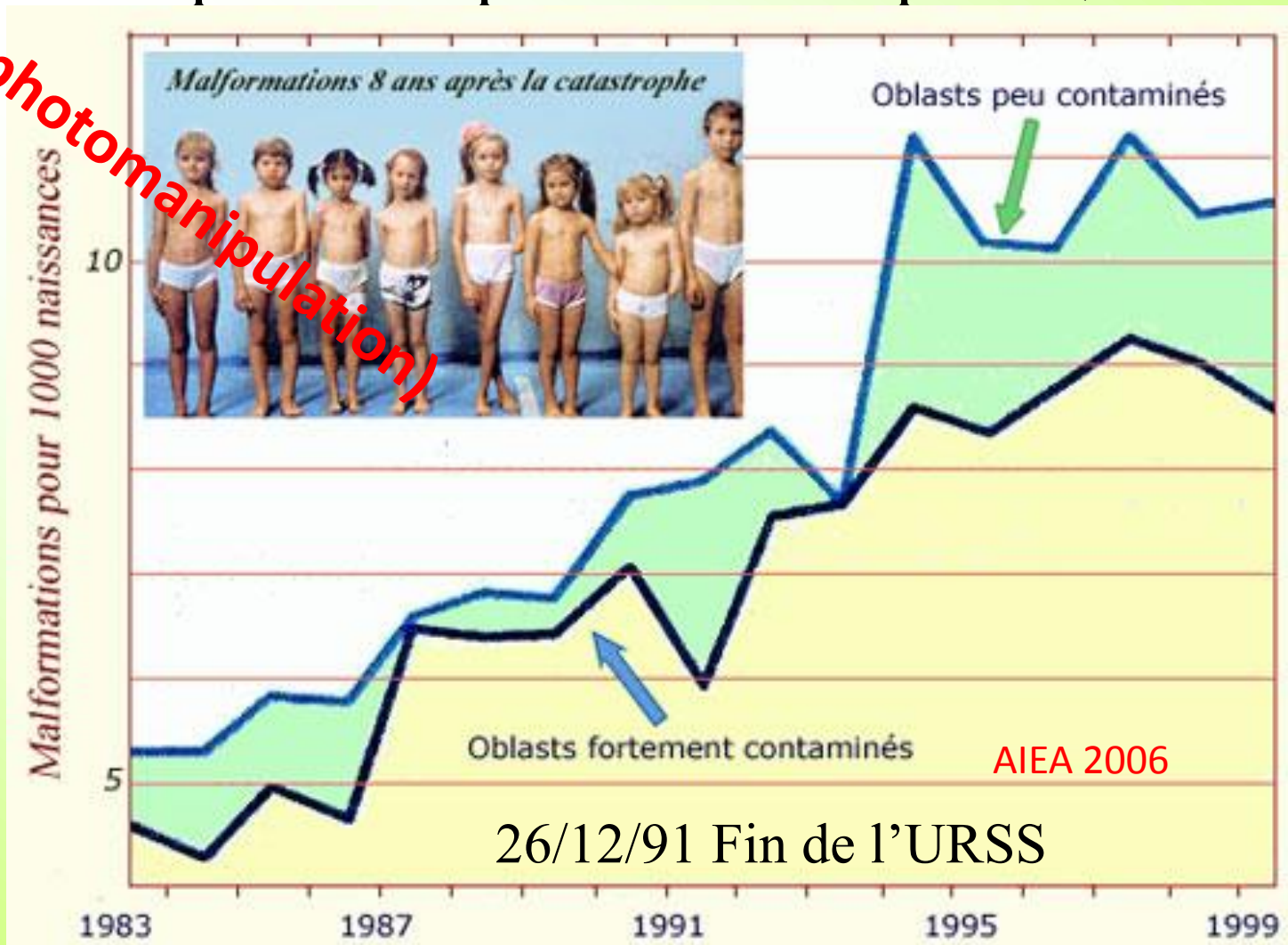


# Impact sanitaire des expositions lors des l'accident majeur de Fukushima

0

# Malformations post Tchernobyl en Biélorussie photomanipulation parue dans le point ( extrait de la radioactivité.com)

(photomanipulation)



# **DONNÉES BIOLOGIQUES**

# La vie

a profondément modifier le cours de l'histoire (CO<sub>2</sub>, Ca, Fe)

Définition : **Un déséquilibre permanent autoentretenu.**

Un petit ensemble d'atomes :

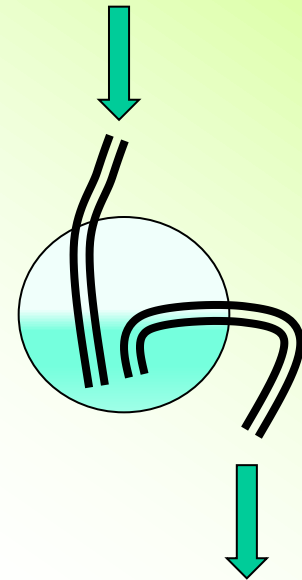
- Majeurs C, H, O, N, (97%)
- Macro éléments (Ca P K S Na Cl Mg)
- et oligoéléments (I Fe Cu Zn Se Cr Mo B + ...)

de plus en plus organisé.

à **quatre étages** :

Moléculaire/Cellulaire - tissus - organisme - population

- ❖ **Un bilan énergétique (chimique et radiatif) nul** (entrée=sortie)
- ❖ **Un bilan de matière nul** (entrée=sortie)
- ❖ **Des conditions physico-chimiques** suffisamment stables ou maîtrisables dans la durée, d'une génération à l'autre.



## Pour que ça marche, Hasard et Nécessité :

- ont mis toute l'information, les schémas de montage et de fonctionnement, dans des chaînes moléculaires démesurément longues: l'ADN,
- ils ont inventé le **moyen de les répliquer, à l'infini,**
- et les **moyens de les protéger, et de les réparer à l'identique.**
- Il leur a fallu en même temps **inventer la mort, une tolérance minimale à l'erreur ....**  
en autorisant **un brin d'innovation,**
- Et inventer le contrôle des conditions de fonctionnement (pH, redox,  $T^{\circ}$ , pression osmotique...)

# Cellules et ADN

- 2m d'ADN par cellule humaine
- Diamètre cell. : +/- 10  $\mu\text{m}$
- 30 à 100 mille milliards de cellules
- Renouvellement 1/300 par jour.

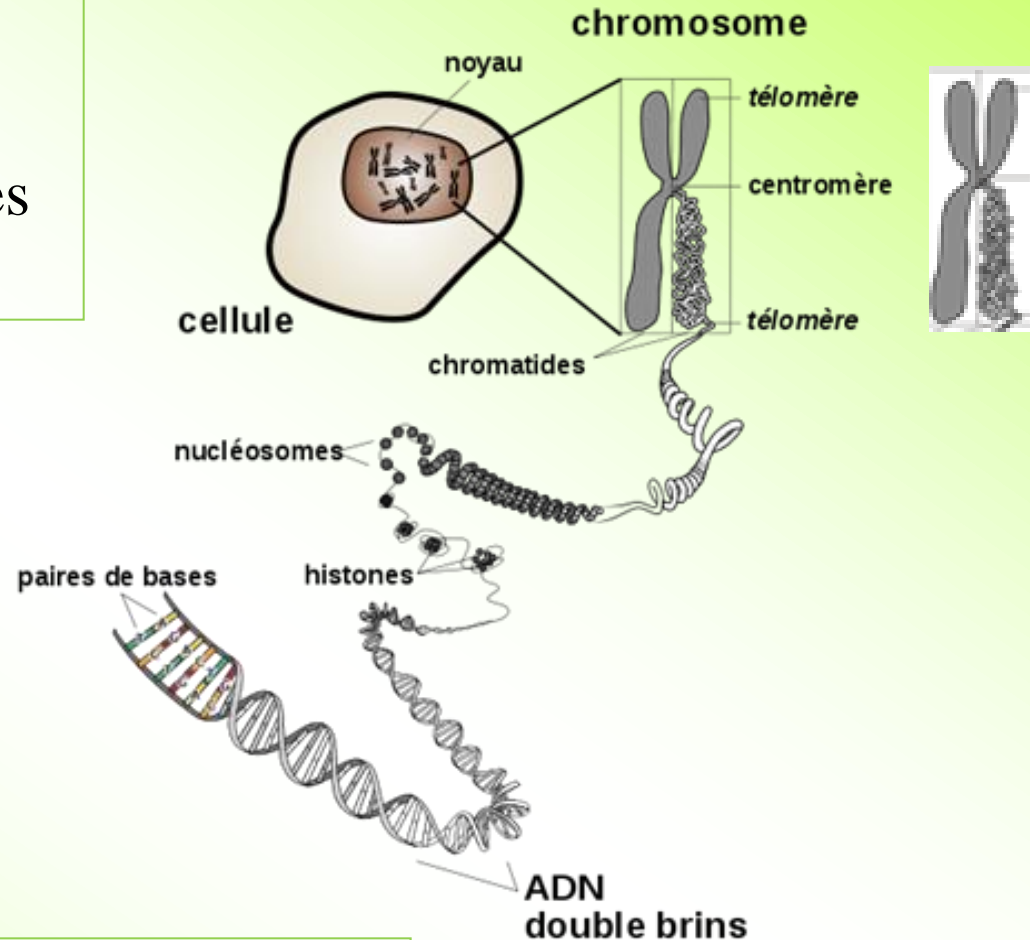
1 cellule humaine

- des Chromosomes par **paire**
- **2** brins/filament d'ADN
- **2** filaments d'ADN identiques par chromosome avant division

Donc :

➤ **8 fois l'information**

60 - 100 watts (J/s) soit en net 6 à 10 MeV/s/cellule





- **À distinguer :**
- **Cellules souches** pour le renouvellement des cellules
- **Cellules somatiques** : maintien des fonctions de la vie, pas appelées à se reproduire mais à être arrêtées, démantelées et recyclées.
- **Cellules sexuelles** (gonades) pour le renouvellement des organismes

L'objectif n'est pas le maintien en vie de chaque cellule, mais celui de l'organisme, suffisamment longtemps pour qu'il se reproduise.

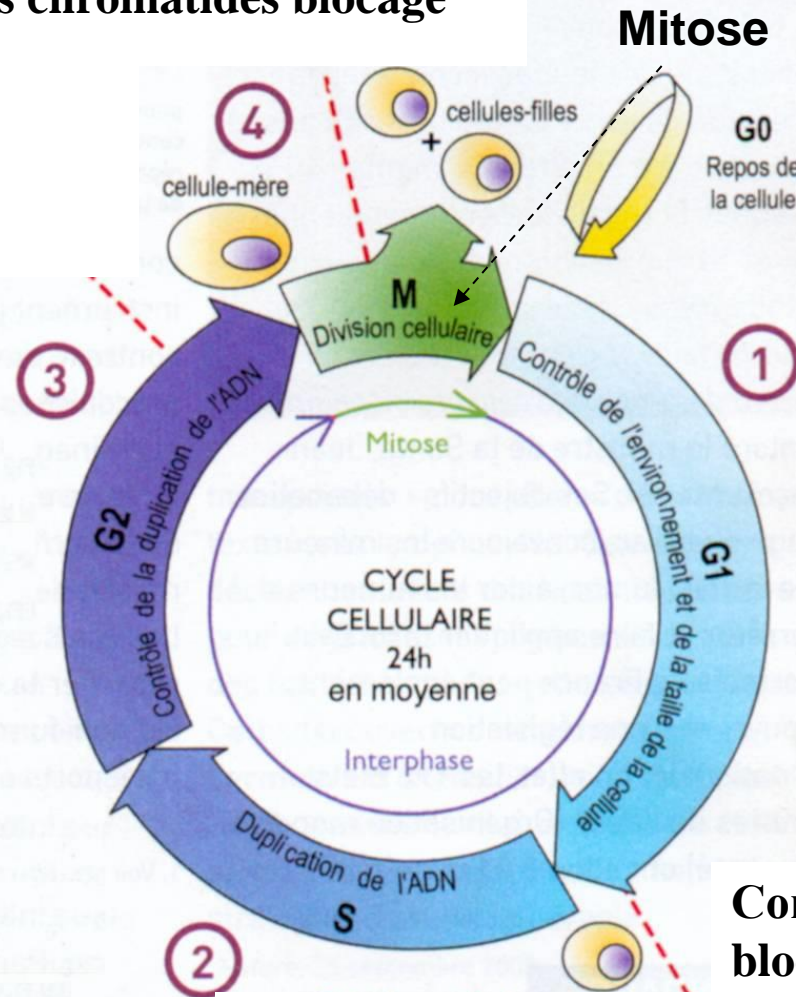
L'élimination des cellules défectueuses est une vraie défense de l'organisme.

N.B. : C'est la somme des agressions, (chimiques, biologiques et physiques) qui est à considérer.

# Le cycle cellulaire et points de contrôle (« checkpoints »)

Contrôle de la séparation des chromatides blocage

Contrôle de l'ADN, blocage possible en G2 pour réparation, ou apoptose

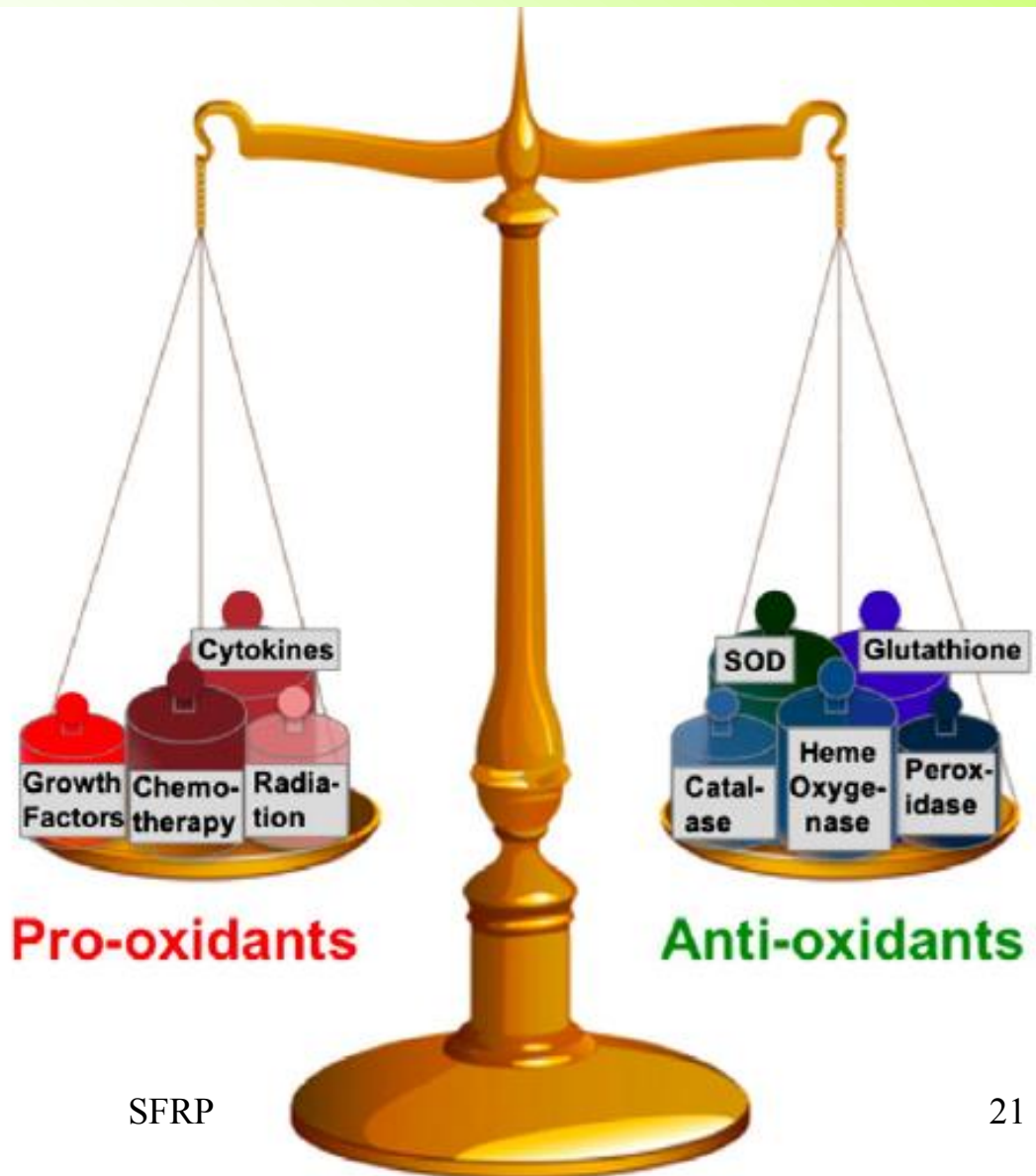


Synthèse duplication de l'ADN

Contrôle de l'ADN blocage possible en G1 et activation réparation et recyclage des rebus

# Homéostasie: gestion de la température par des réactions chimiques

Balance entre  
**pro-oxydants**  
et **antioxydants**:  
absence du  
stress oxydatif



# Dommmages endogènes de bases de l'ADN par jour

*(estimation selon Steve WEST, 2007)*

## **20 000 cassures simple brin**

10 000 sites apuriniques

5 000 alkylations

2 000 oxydations

600 désaminations (Cytosine --> Uracile) (à 37° )

## **10 à 20 cassures double brin**

**En absence de réparation : aucune pérennité possible**

# Les systèmes de protection et maintenance

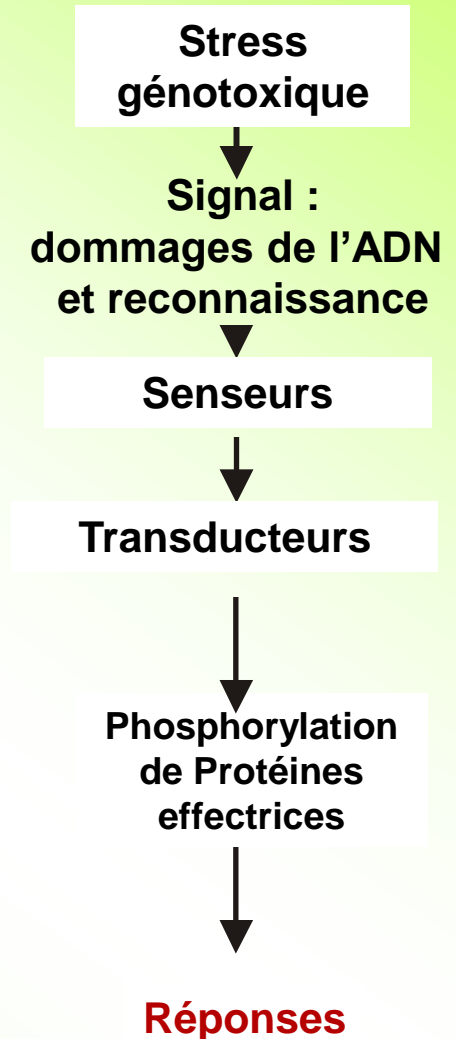
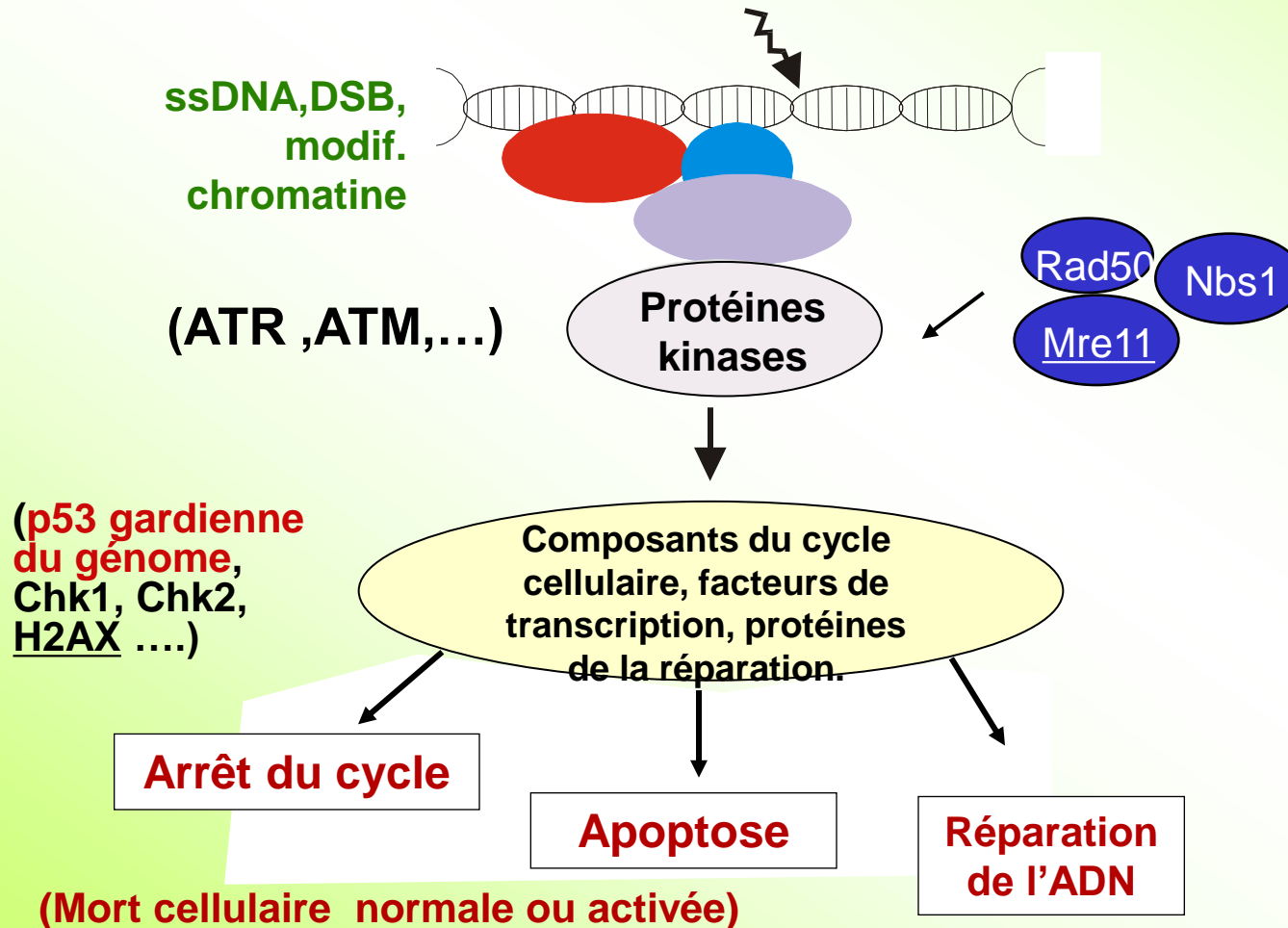
*Les cellules sont dotées d'une grande sensibilité aux variations du milieu interne et possèdent **plusieurs moyens de réaction** pour rétablir les conditions de l'homéostasie et de la reproduction cellulaire.*

**La détection rapide et la signalisation des dommages permettent, si besoin est, l'activation des systèmes de maintenance cellulaire.**

1. Les radicaux peuvent être éliminés par les antioxydants (glutathion) et les enzymes de détoxification (SOD, catalase etc.) préexistants ou générés ---> **défense antioxydante et anti-radicalaire**
2. En fonction du nombre de cellules concernées, les cellules endommagées sont éliminées par **mort naturelle et non reproduction**, soit par activation des gènes conduisant à la mort programmée ou **apoptose**.
3. Élimination des lésions de l'ADN par **5 systèmes de réparation enzymatiques** spécialisés:  
réparation de mésappariements de bases, excision de bases, excision de nucléotides, recombinaison homologue, religation (suture), non homologue (« endjoining » ou NHEJ)
4. Enfin les cellules aberrantes sont éliminées par le **système immunitaire** (macrophages).

# Réponse cellulaire aux dommages dans l'ADN

(« DNA Damage Response, DDR ») la maintenance cellulaire  
ionisation



# Contribution au métabolisme oxydatif et particularités des rayonnements ionisants

# Efficacité Biologique & Transfert linéique d'énergie

Cassure double brins 50 eV.

Simple brin 20 eV

Ionisation de l'eau >12 eV

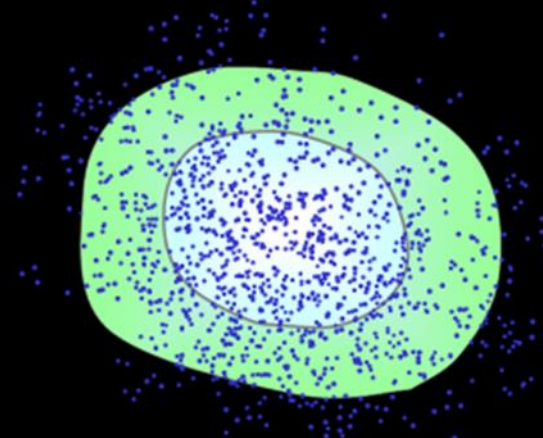
Particule alpha s'arrête sur qq 10  $\mu\text{m}$

100 W/individu  $\Leftrightarrow$  10 MeV/(s. cellule)

08/06/17

SFRP

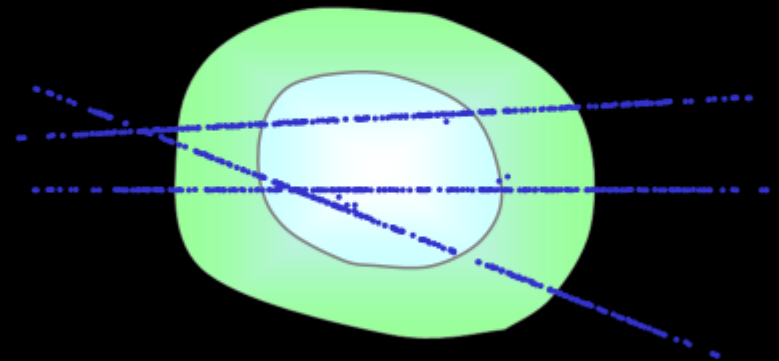
Efficacité Biologique : type de rayon  
Rayon X-de forte énergie



1 Gy ~ 1000 traces par cellule  
~ 100,000 ionisations par cellule

Efficacité Biologique : type de rayon

Particules -  $\alpha$



1 Gy ~ 3 - 4 traces par cellule  
~ 100,000 ionisations par cellule



# Dommmages à l'ADN au jour le jour



Dommmages à l'ADN par <b>cellule</b> et par <b>jour</b>	« spontanés et normaux»	Dommmages Radio-induits débit 100 milligray/an
Cassure simple brin	10 000 - 55 000	0.3
Perte de Nucléobase	12 600	0.6
Modification de bases	3 200	
Cassure Double-brins	8	0.012
Pontage ADN ADN	8	0.01
Pontage ADN Protéine	qq uns	0.05
Lésions multiples localisées	qq unes	0.04 *

(Burkart W et al. CR Acad Sci III 1999; 322:89-101; Ward JF Prog Nucl Acids Res Mol Biol. 1988; 35: 95-125)

\* Selon travaux de B. Sutherland, Brookhaven USA

# Dommmages à l'ADN - thyroïde - accidents



Dommmages à l'ADN <b>cellules de thyroïde</b>	spontanés et normaux sur 1 mois	Tchernobyl jeunes enfants	Fukushima jeunes enfants
<b>exposition</b>	-	<b>3 Gy (2 et +)</b>	Max <b>0.08 Gy</b>
<b>cassures simple brin</b>	300 000 – 1 700 000	3000	80
<b>Perte de Nucléobase</b>	400 000	6000	160
<b>Modification des bases</b>	100 000		
<b>Cassure Double- brins</b>	<b>240</b>	120 ( <b>50%</b> )	3 ( <b>1%</b> )

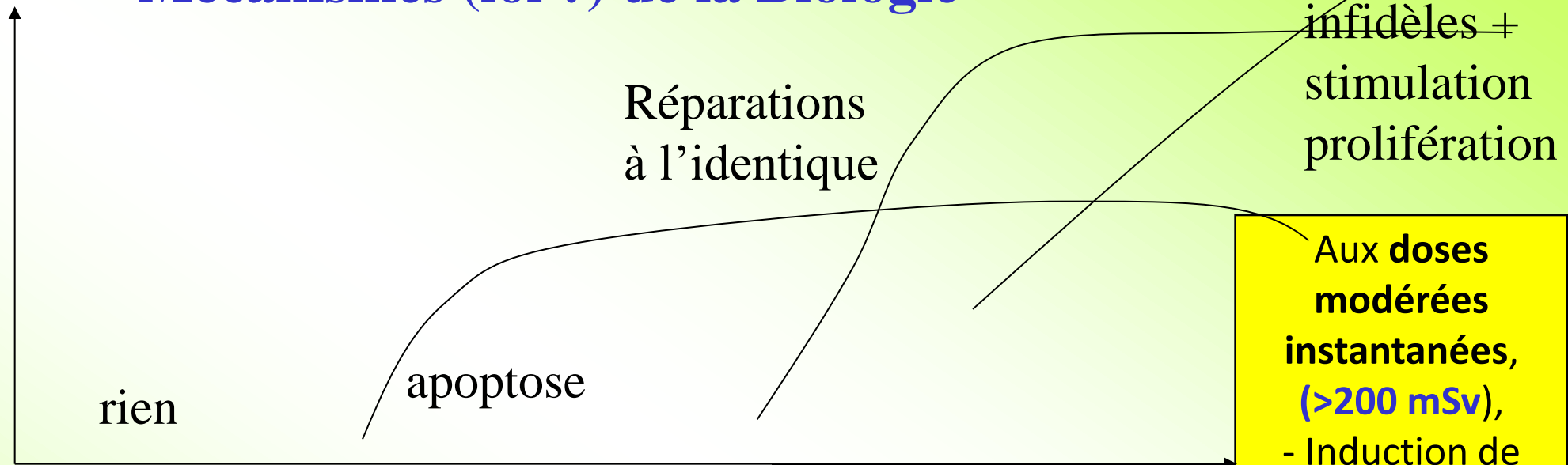
*aucun effet ne sera visible (existera) au Japon*

# Représentation des effets (hier)



# Aujourd'hui

# Mécanismes (loi ?) de la Biologie



## Aux doses instantanées négligeables (1 mSv) :

- pas de réparation
- Blocage du cycle cell.
- simple mort cellulaire naturelle lors de la division suivante pour les cellules à ADN altéré

## Aux très faibles doses instantanées (<20 mSv),

- renforcement du procédé avec déclenchement du mécanisme d'apoptose (auto-élimination active).

## Aux faibles doses instantanées (<200 mSv)

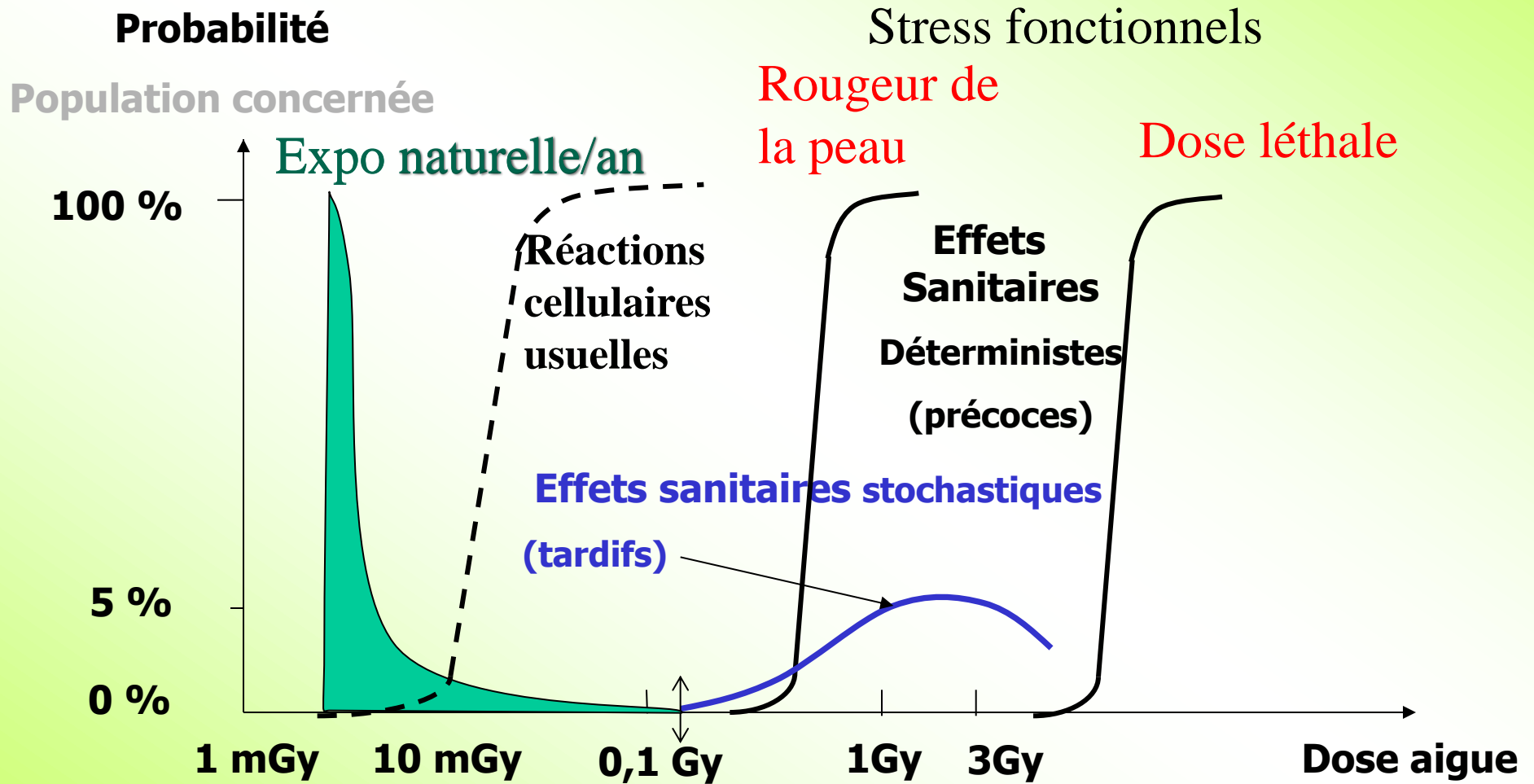
- les systèmes de réparation de l'ADN sont stimulés;
- le nombre de réparations est faible mais son importance relative par unité de dose, croît avec la dose

## Aux doses modérées instantanées, (>200 mSv),

- Induction de radiorésistance avec diminution de la mortalité cellulaire par unité de dose.
- Les réparations fautives augmentent avec la dose (mécanisme NHEJ).

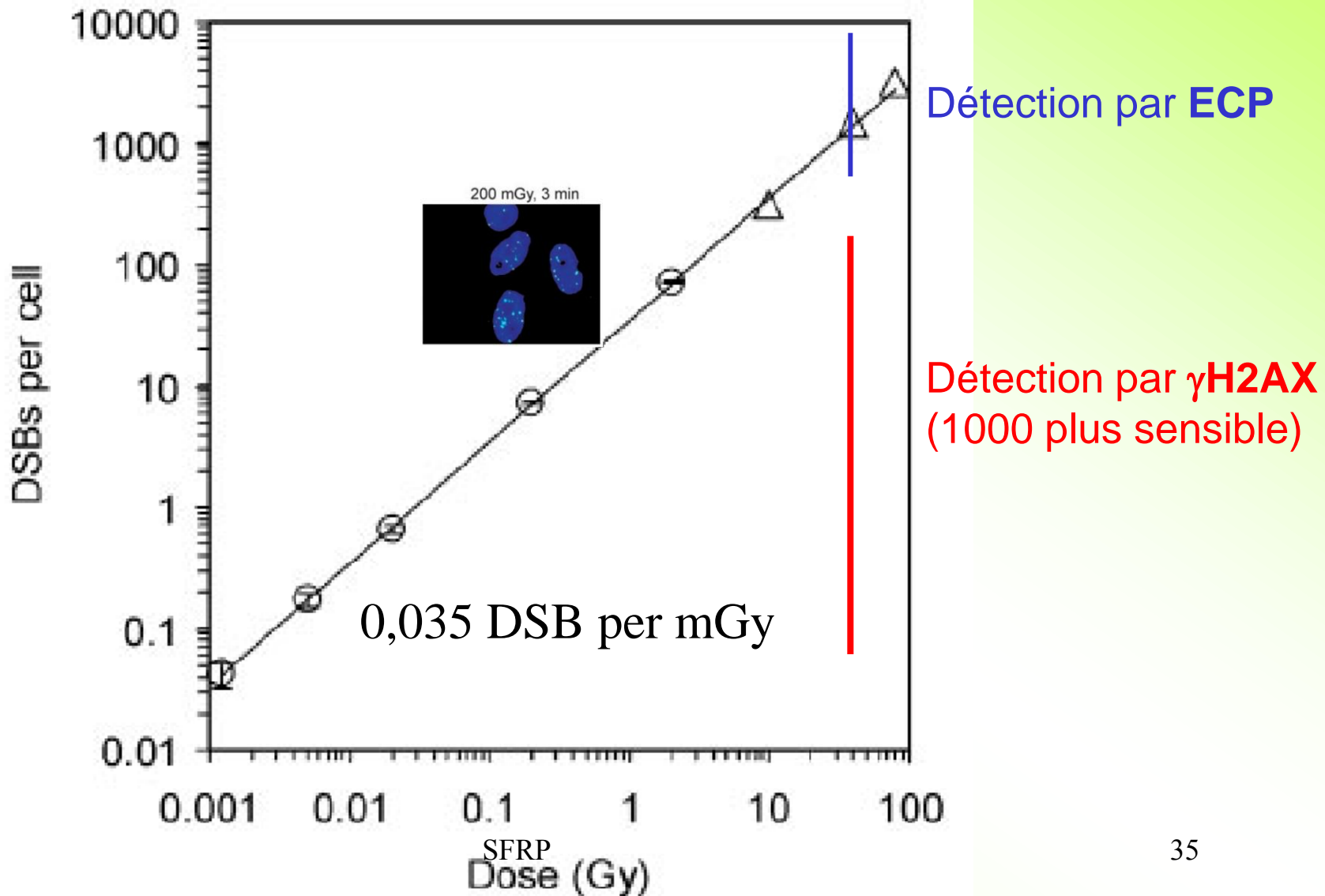
# Effets des rayonnements ionisants

## Effets précoces et effets tardifs



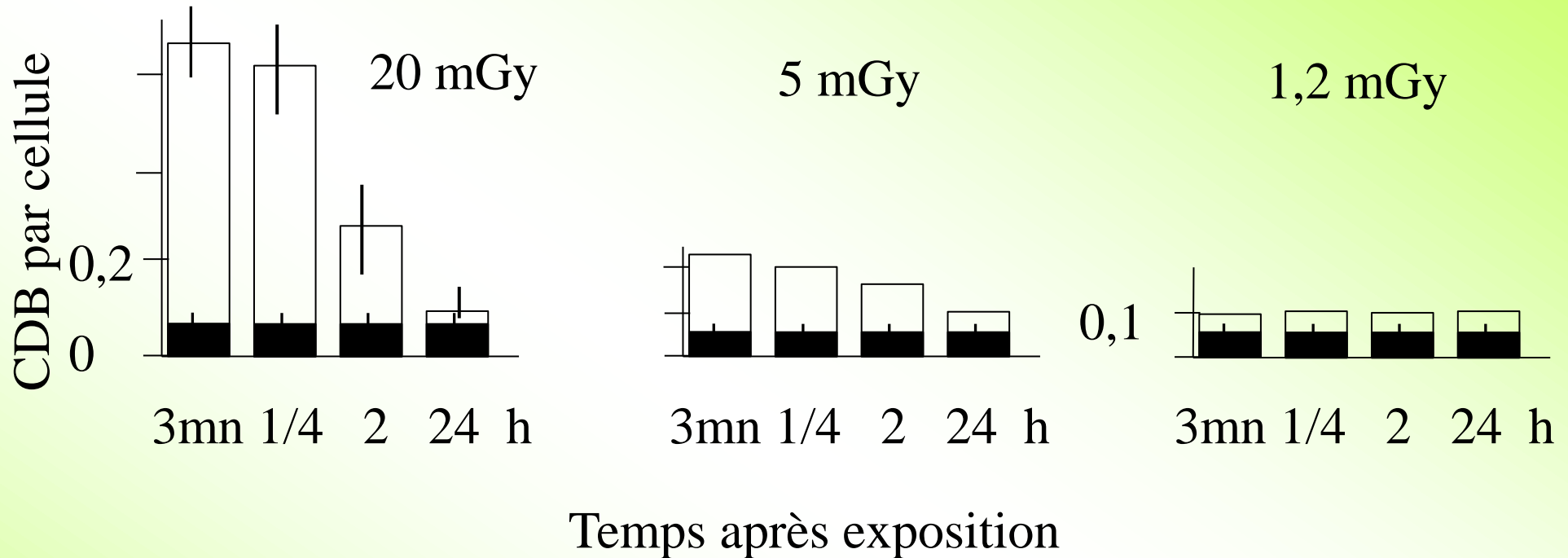
# Détection de CDB radio-induites après phosphorylation de l'histone H2AX

(Rothkamm et Löbrich, PNAS 2003;100:5057-5062)





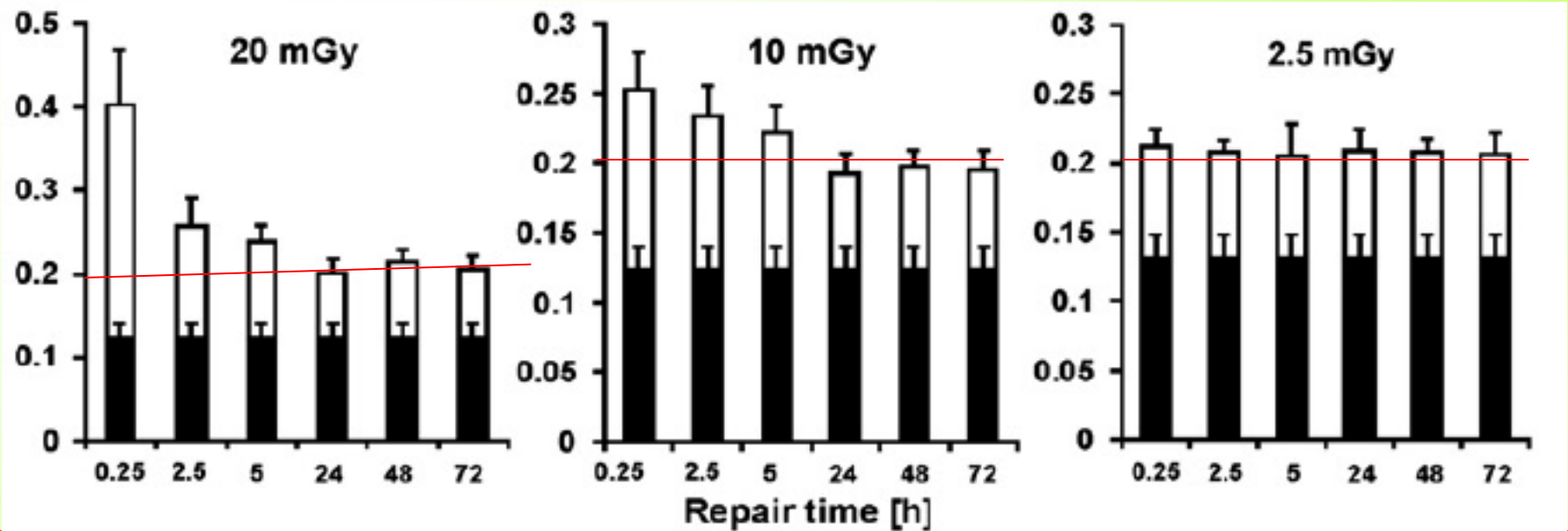
# Induction et réparation de CDB après de faibles doses de rayons X au niveau cellulaire (fibroblastes humains)



- Proportionnalité dose instantanée - cassure 2 brins à 3 mn
- Temps de réparation à 20 et 5 mGy identiques
- Pas de réparation activée à 1,2 mGy en instantané
- Niveau de 1 cassure DB pour 10 cellules est « normal »

(Rothkamm et Löbrich, PNAS 2003;100:5057-5062)

# Induction et réparation de CDB après de faibles doses de rayons X au niveau cellulaire (fibroblastes humains)

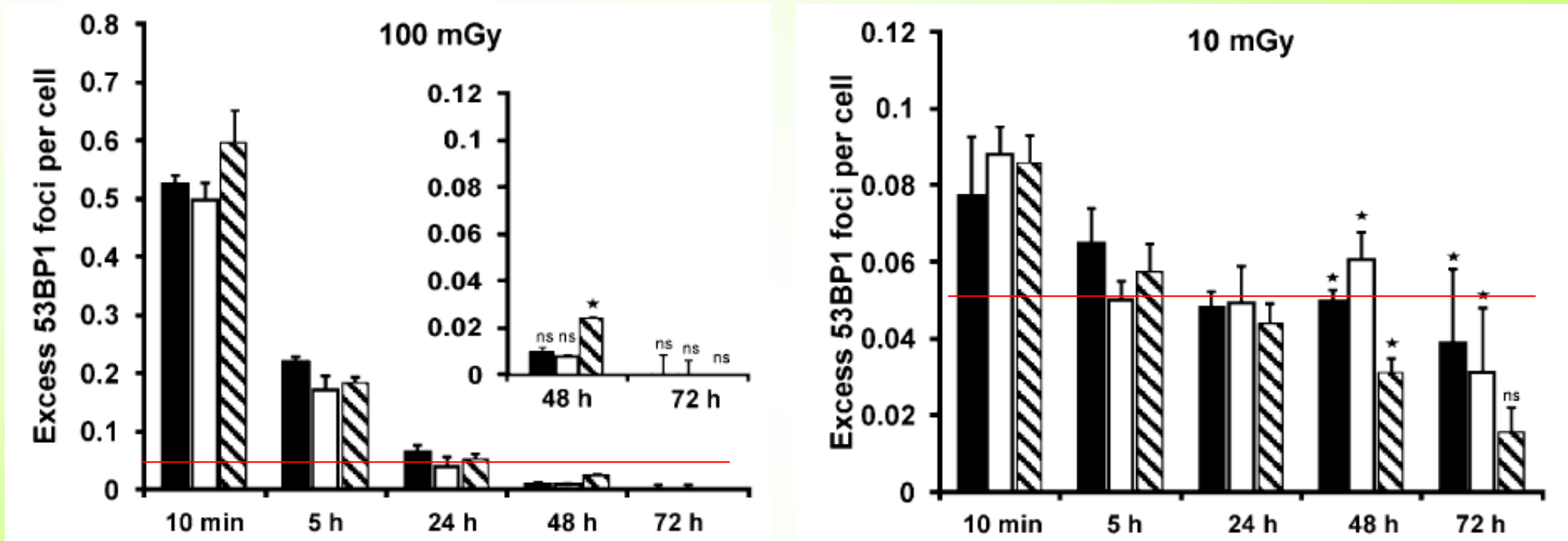


## Confirmation :

- pas d'activation de la réparation à dose insignifiante (2.5 mGy)
- Retour à la normale en 24 h à 20 mGy
- Niveau du nombre de cassure DB « normal » 2 fois plus haut

(Grudzinski S et al, PNAS 2010;107(32) 14205-14210)

# Induction et réparation de CDB après de faibles et très faibles doses de rayons X in vivo (souris)



**Chez la souris:** La réparation à très faible dose (10 mGy) est nettement plus faible qu'à 100 mGy  
Donc => réponse non linéaire!

# Induction d'apoptose par l'irradiation alpha (cellules 208F, noyaux)

(D.I. Portess et al. Cancer Res. 2007;67(3):1246--1253)

Dose (mGy)	Impact/cellule	Impact/noyau	Apoptose intercellulaire
0.04	0.0015(0.15%)	0.0004 (0.004%)	-
0.29	0.011 (1.1%)	0.003 (0.03%)	+
2.5	0.096 (9.6 %)	0.023 (2.3%)	+++
25	0.96 (96%)	0.23 (23%)	++++
500	19.2 (100%)	4.55 (100%)	++++

# Influence du débit de dose

(rapport académie des sciences)

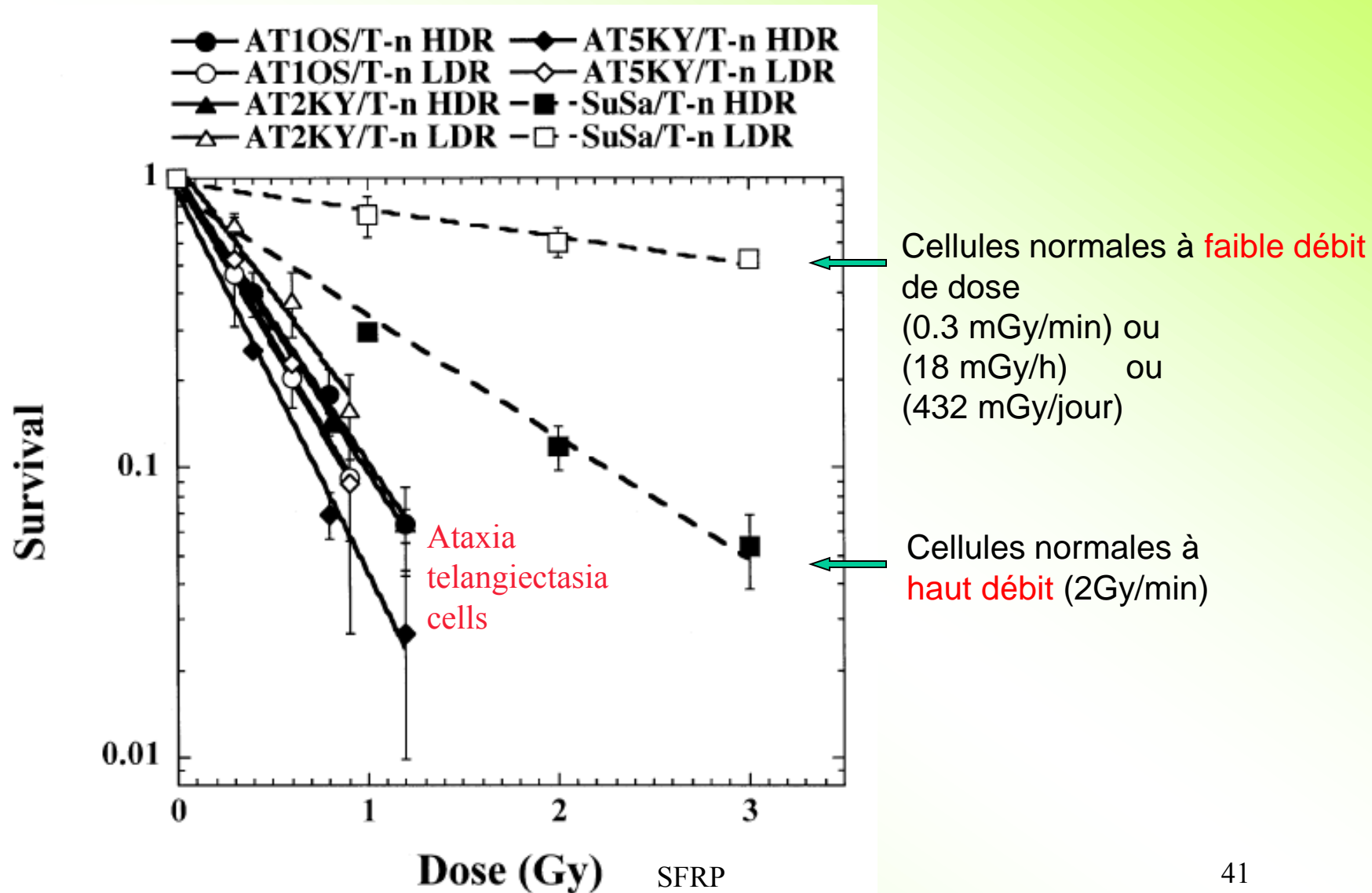
Le nombre des dommages oxydatifs de bases et les CDB d'origine endogène varie fortement **selon la vitesse de prolifération** car la quasi-totalité de ces CDB endogènes sont produites pendant la phase S de réplication de l'ADN.

La proportion de réparations fidèles paraît plus grande pour les CDB endogènes.

Le débit de dose pour lequel le nombre de CDB dû à l'irradiation est égal à celui produit pendant le même temps par le métabolisme cellulaire chez les cellules en prolifération (CDB endogènes) **est de 300 mGy /heure** ;

ce nombre est de **8 CDB par heure** dans les 2 cas [Vilenchik 2003)

# Survie de cellules normales et mutées (AT) à différents débits de dose *(Nakamura et al. Radiat. Res. 2006;165:277-282)*



# Phénomènes à l'échelle des organes

- **Effets by-stander** : communication avec cellules voisines et réactions.
- **Réponse adaptative** : Une pré-exposition à une faible dose d'irradiation ionisante (20 mGy) (à faible débit de dose) donne lieu à une résistance des cellules et des tissus à une forte dose d'exposition (quelques heures après la première dose).
- **L'instabilité génomique** cellulaire apparaît plusieurs générations de cellules après irradiation et est caractérisée par l'apparition de clones instables dans les cellules filles (et ultérieures) avec des aberrations génétiques et épigénétiques diverses et une efficacité de clonage réduite, et surtout des altérations dans la maintenance des chromosomes (longueur des télomères, activité télomérase). **négatif ou positif ?**
- **Effet abscopal** : réduction ou inhibition à distance de la croissance de tumeurs non irradiées par l'intermédiaire du système immunitaire.
- **Effets transgénérationnels (chez la souris)**, qui seraient transmissibles de parents irradiés à leur progéniture plusieurs générations après exposition. Ont été rapportés l'apparition de mutations dans des séquences dites mini-satellites transmises par la lignée germinale, également certaines signatures épigénétiques semblent être transmissibles d'une génération à l'autre.

## Conclusions partielles

Les mécanismes en jeu entrent dans **un système très élaboré** et beaucoup plus large que celui des rayonnements ionisants et concerne le **dynamisme métabolique vital nécessaire à l'homéostasie** (régulation par réaction oxydants anti-oxydants). **Nous sommes très loin d'un système aléatoire et proportionnel.**

La Vie est un système à **très haut niveau de sûreté** et fonctionnant avec moyens de contrôles, signalisation, maintenance préventive et curative, forces d'action rapide et dispositifs d'intervention lourds.

La connaissance des mécanismes biologiques progressent et conduit à envisager des effets favorables à très faible dose (<100 mSv) (**hormesis**) par stimulation des défenses immunitaires.

Dans la population, compte tenu de l'évolution et de la sélection naturelle, il existe des personnes ayant des « lacunes » génétiques, et beaucoup plus sensibles à des doses faibles et modérées de rayonnements ionisants car manquant de défenses.

Cette fraction est implicitement considérer dans les études épidémio.

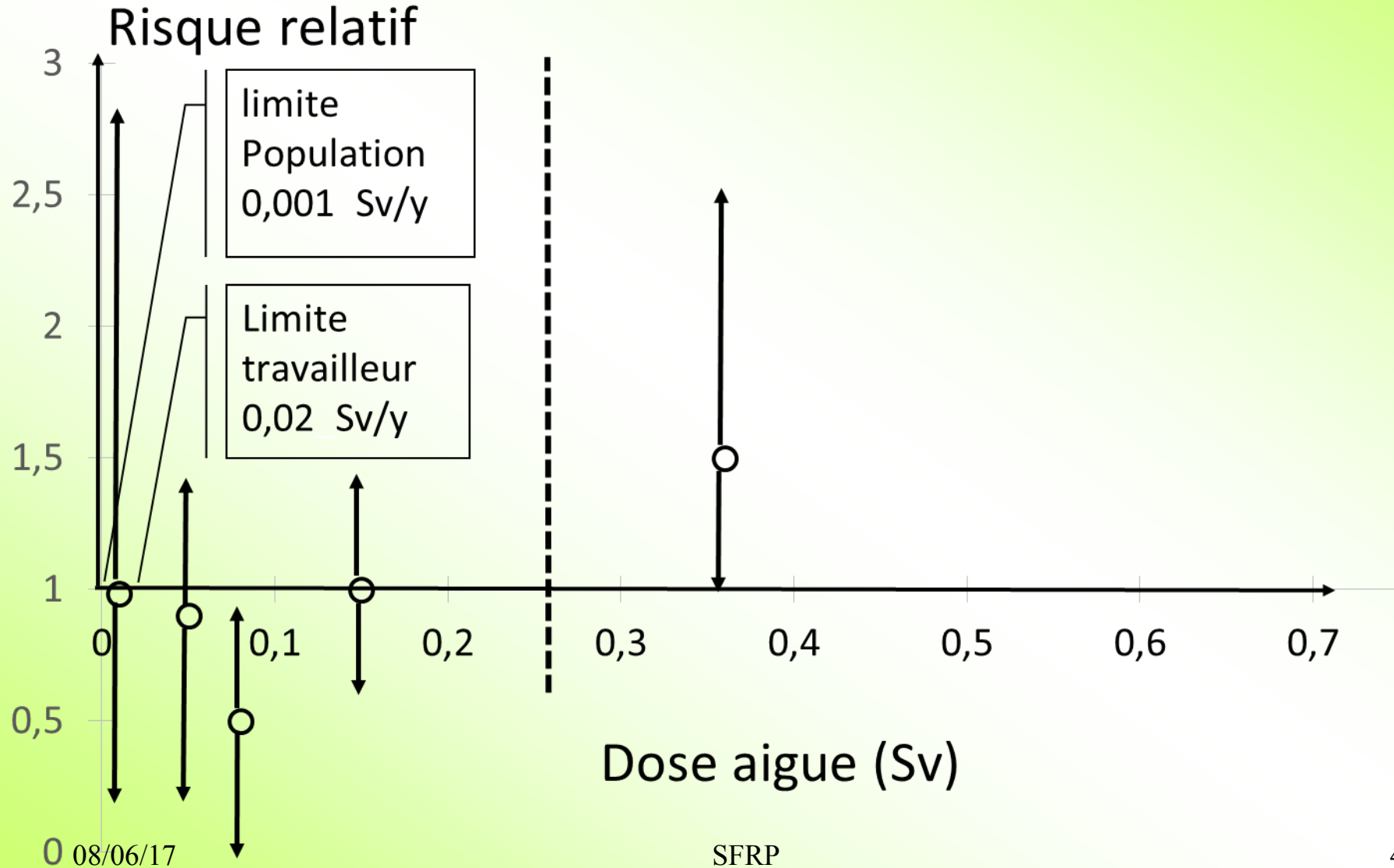


# **Les études épidémiologiques, Corrélation, causalité et mathématiques**

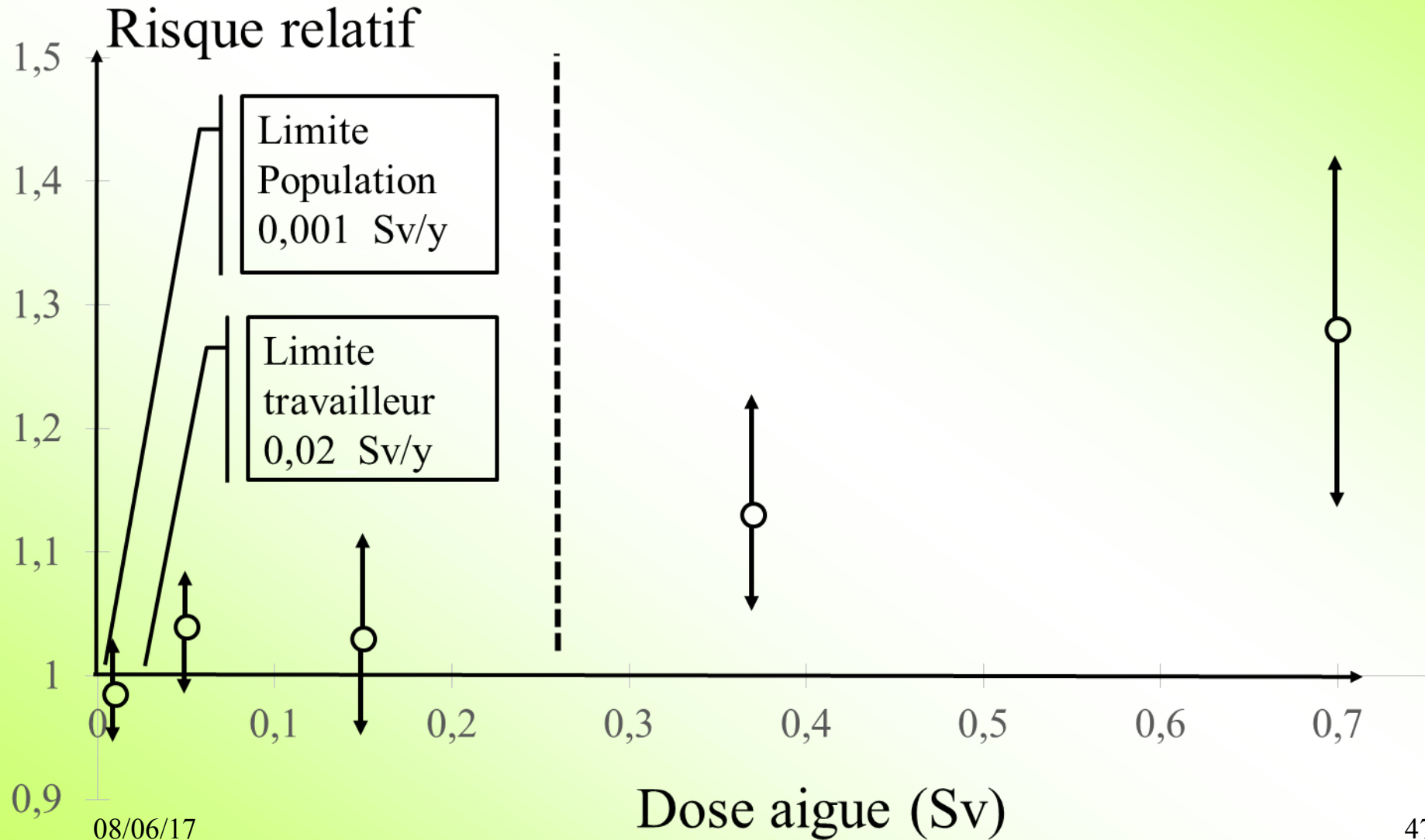
# Principe :

- Découpage de la population par classe d'exposition,
- Recherche d'autres sources et particularités (âge, tabac, sexe...)
- Comparaison avec une **population témoin**, ayant les mêmes, habitudes de vie et établissement des ratios pour leucémie et cancers solides ou cancers particuliers (poumons par exemple).
- Utilisation de la classe la moins exposées, comme témoin. (Peut faire apparaître une différence importante entre les travailleurs considérés et le grand public).
- **Cumul des expositions** aiguës et continues lorsqu'elles durent.
- Présentation sous forme de figure de l'ERR (Excess Risk Ratio) en fonction de l'exposition :
- $ERR = 1 + N_{exp}/N_{ref}$

# Risque relatif de leucémie et doses moyennes des groupes de la population (Japon 1945)



# Cancers solides dans les différents groupes de la population à Hiroshima et Nagasaki



08/06/17

# Études épidémiologiques chez les travailleurs

Résultats de mortalité par cancer dans des études de cohortes nationales

Pays	Travailleurs (n)	Décès par cancer (n)	SMR
<b>GB</b> <i>Muirhead 1999</i>	124 743	3 598	<b>0,82</b> [0,79 à 0,85]
<i>Muirhead 2009</i>	174 541	26 731	<b>0,81</b> [0,80 à 0,82]
<b>Japon</b> <i>Iwasaki 2003</i>	120 000	1191	<b>0,98</b> [0,93 à 1,04]
<b>Canada</b> <i>Zablotska 2004</i>	45 468	531	<b>0,74</b> [0,68 à 0,80]
<b>France</b> <b>CEA</b>	H 44 488	1646	<b>0,66</b> [0,57 à 0,69]
<i>Telle Lambertson 2004</i>	F 13 535	252	<b>0,93</b> [0,84 à 1,03]
<b>EDF</b> <i>Rogel 2005</i>	22 395	116	<b>0,58</b> [0,49 à 0,68]
<i>Rogel 2009</i>	22 393	307	<b>0,55</b> [0,50 à 0,60]

**"Healthy worker effect" ou "effet bonne santé du travailleur"**

# L'Etude internationale 15-pays

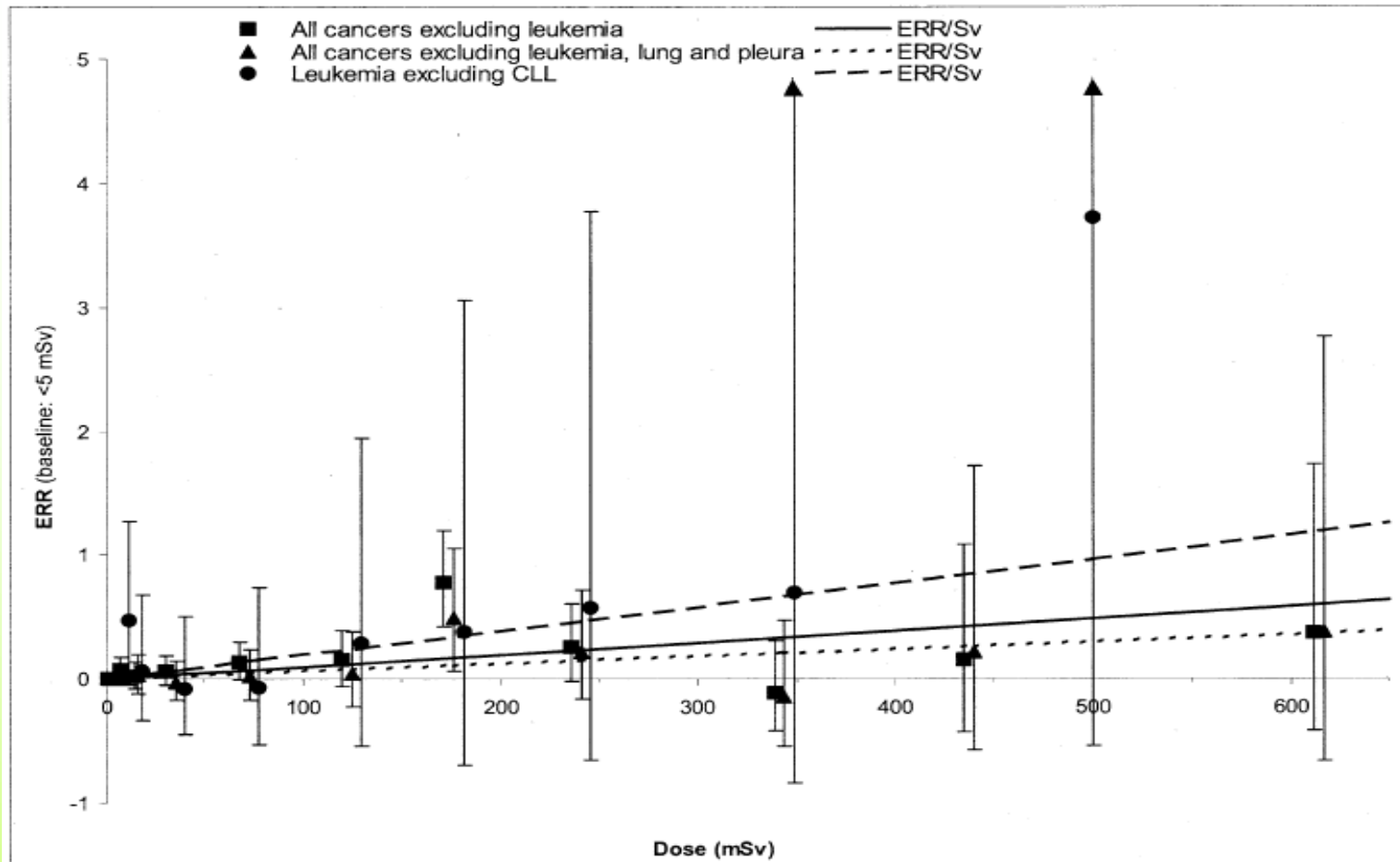


FIG. 1. Excess relative risk by dose category (relative to <5 mSv category) and 90% CI: all cancers excluding leukemia, all cancers excluding leukemia, lung and pleural cancers; leukemia excluding CLL. For leukemia excluding CLL, the 400–500 and >500 mSv categories have been combined because these two categories had very extreme values, based on very small numbers of death. In the combined >400 mSv category, the ERR/Sv was 3.73 (90% CI = 0.54, 20.9).

## Etude INWORKS (travailleurs F GB et US jusqu'à 60 ans après embauche

Exposition moyenne 16 mSv, 94% <100 mSv

Dose naturelle et médicale pas prise en compte: entre 60 et 100 mSv sur 27 ans

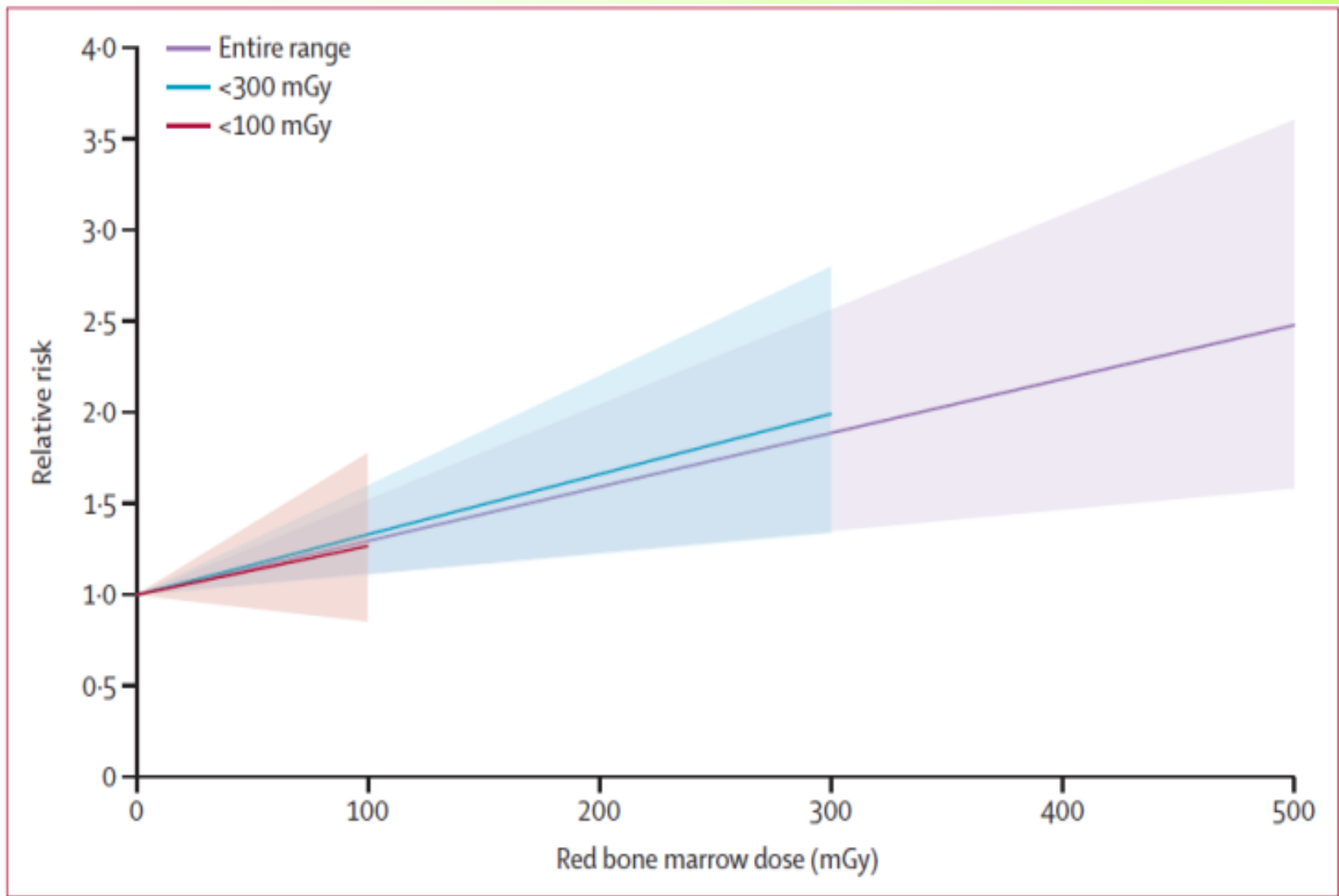
Plus dose antérieure à embauche : 40 mSv.

Intervalle de confiance donné à 90% et non 95%.

Hors tabac, l'excès de Risque Relatif n'est plus significatif, même à 90%.

Imposition du passage par l'origine.

- L'hétérogénéité entre pays est présentée mais n'est pas bien comprise
- La contribution des erreurs dans la variable étudiée ERR n'est pas connue
- Des facteurs de confusion provenant de la situation socio-économique et d'autres facteurs liés au style de vie ne sont pas appréhendés, notamment les expositions médicale et naturelle

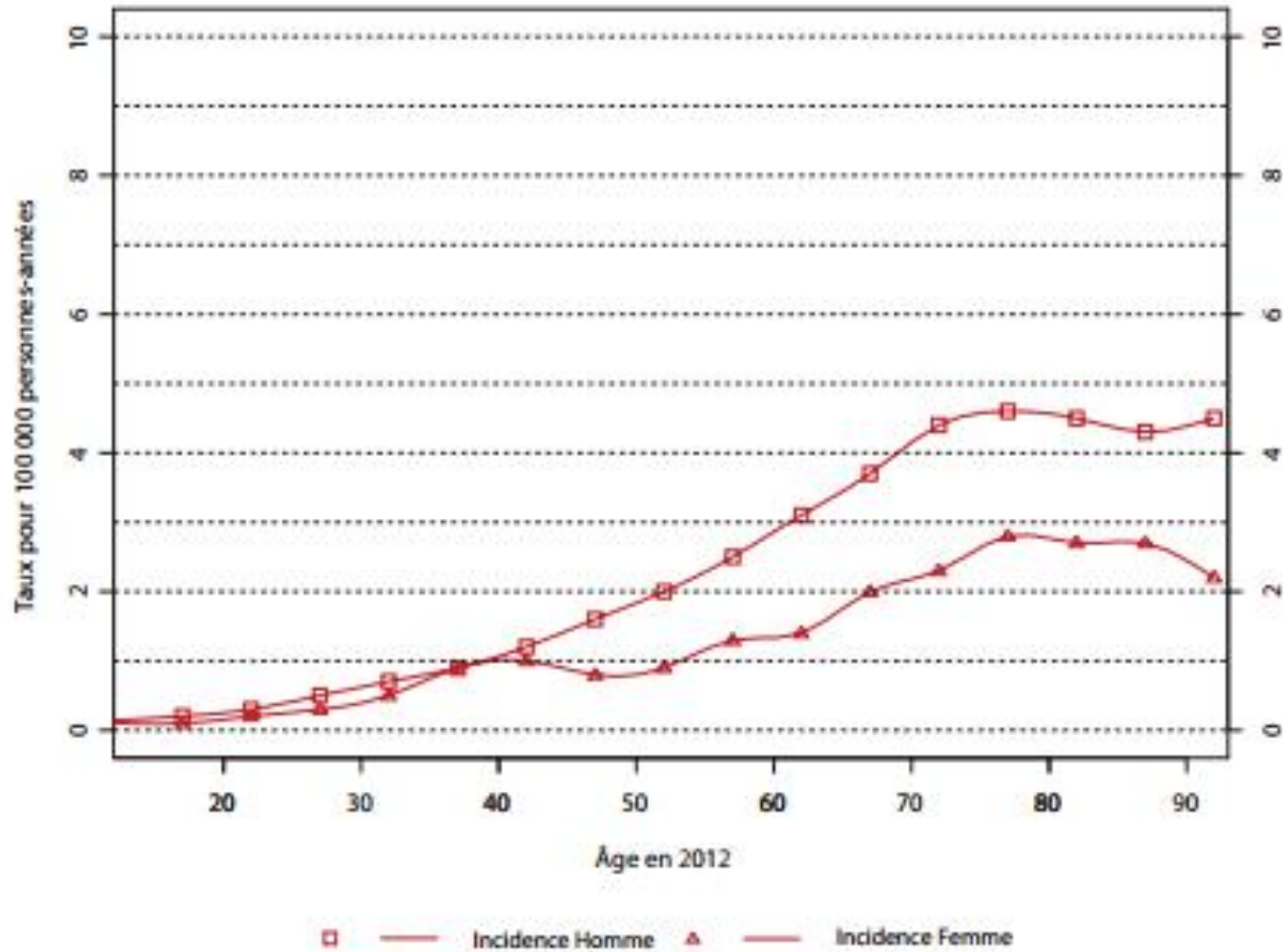




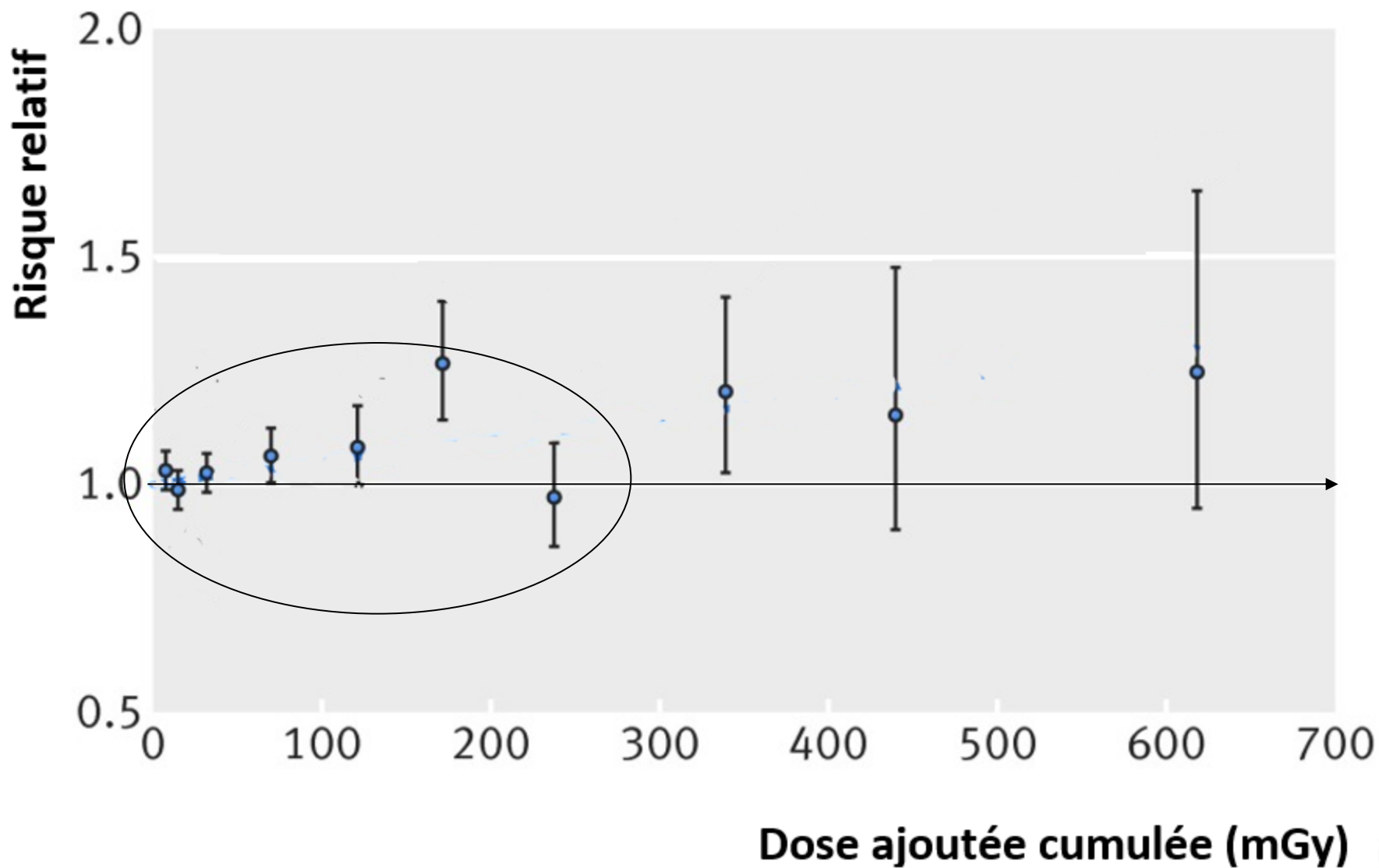
# Effets de l'âge : Quelle correction ?

FIGURE 1

INCIDENCE PAR ÂGE EN 2012 - LEUCÉMIE MYÉLOÏDE CHRONIQUE



# INWORKS – cohortes travailleurs GB F USA

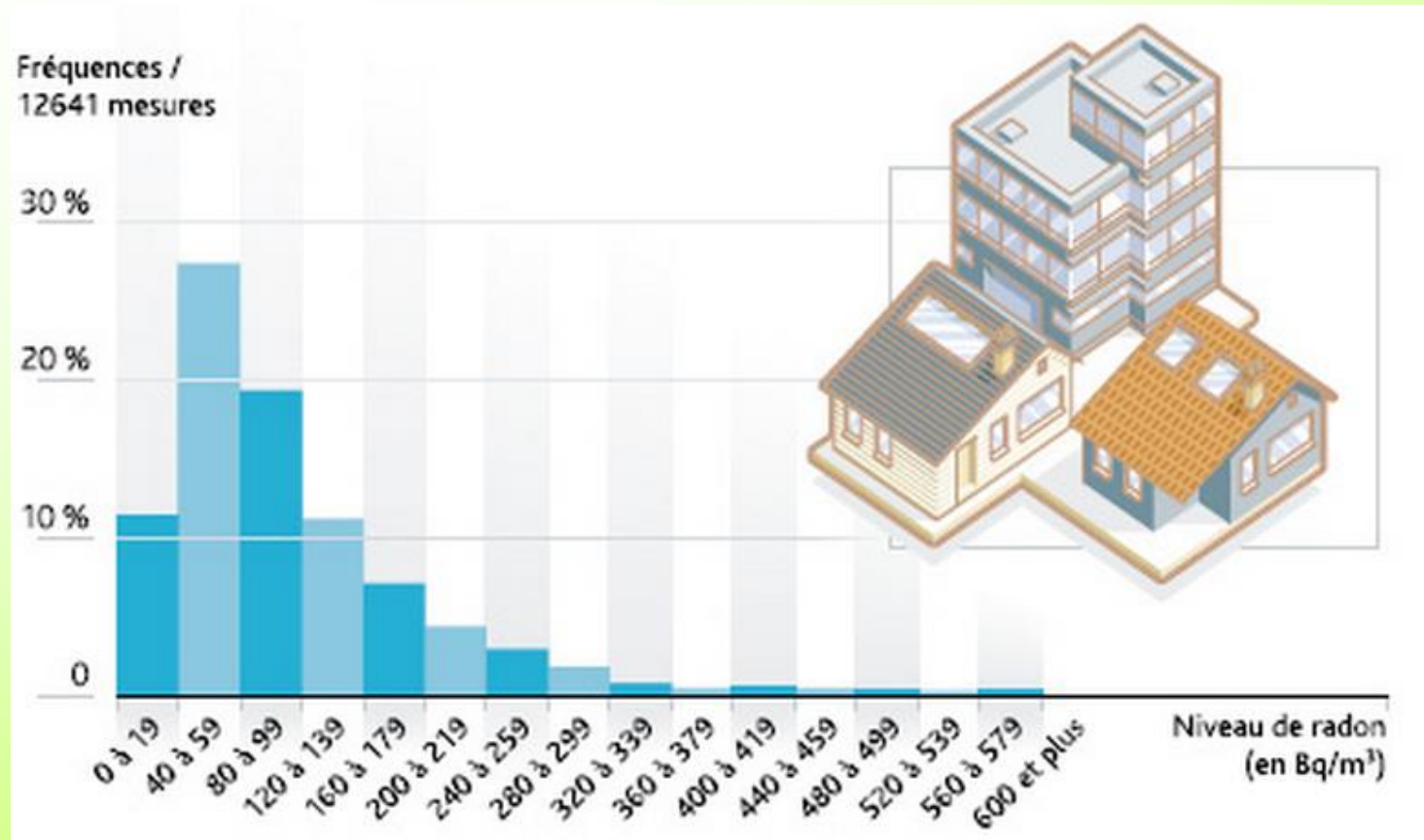


## **Effets des radiations ionisantes sur l'induction des effets non cancéreux**

je n'en parlerai pas. Mais réponse au-delà de 100 mSv instantané

- Radon

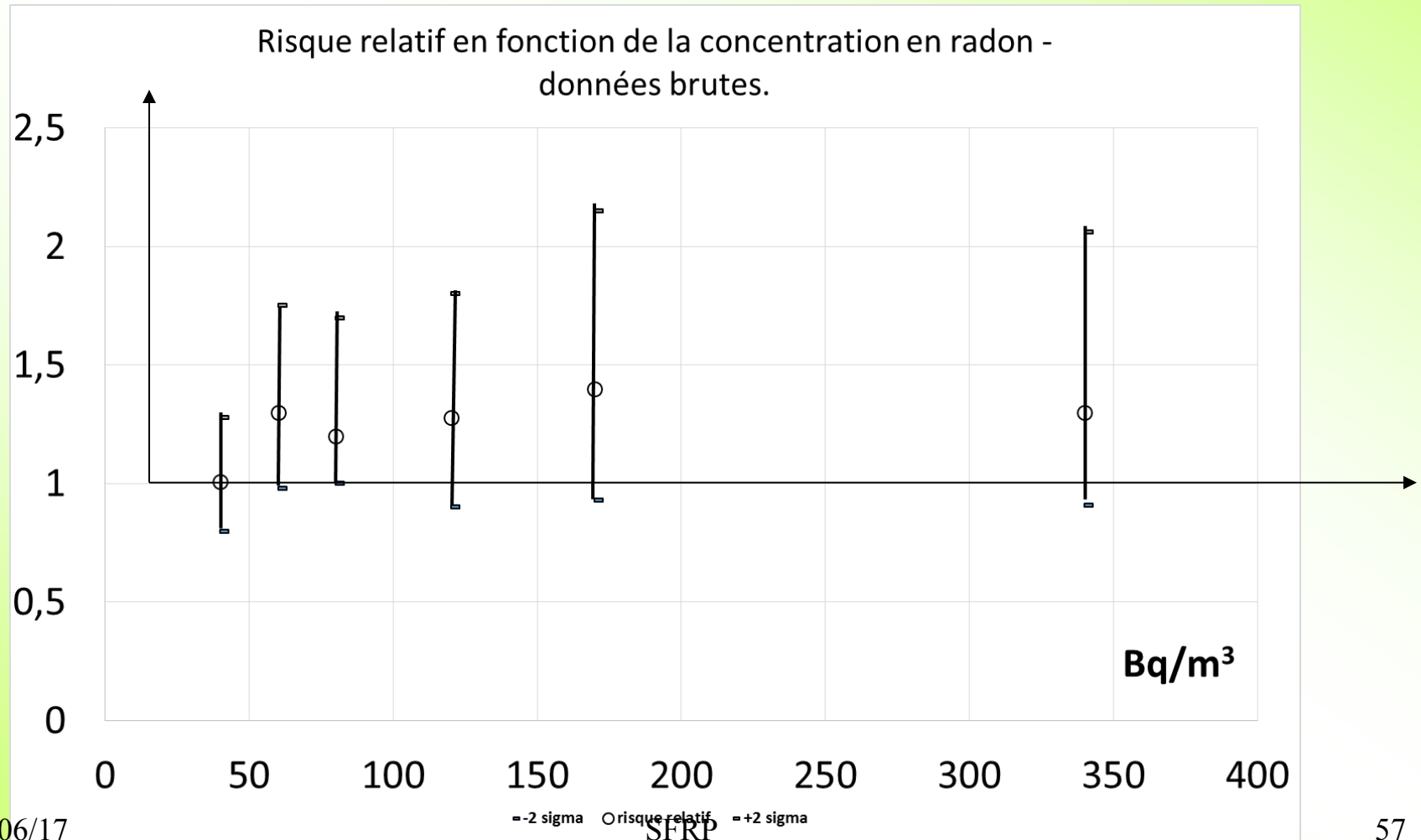
# La répartition des teneurs en radon



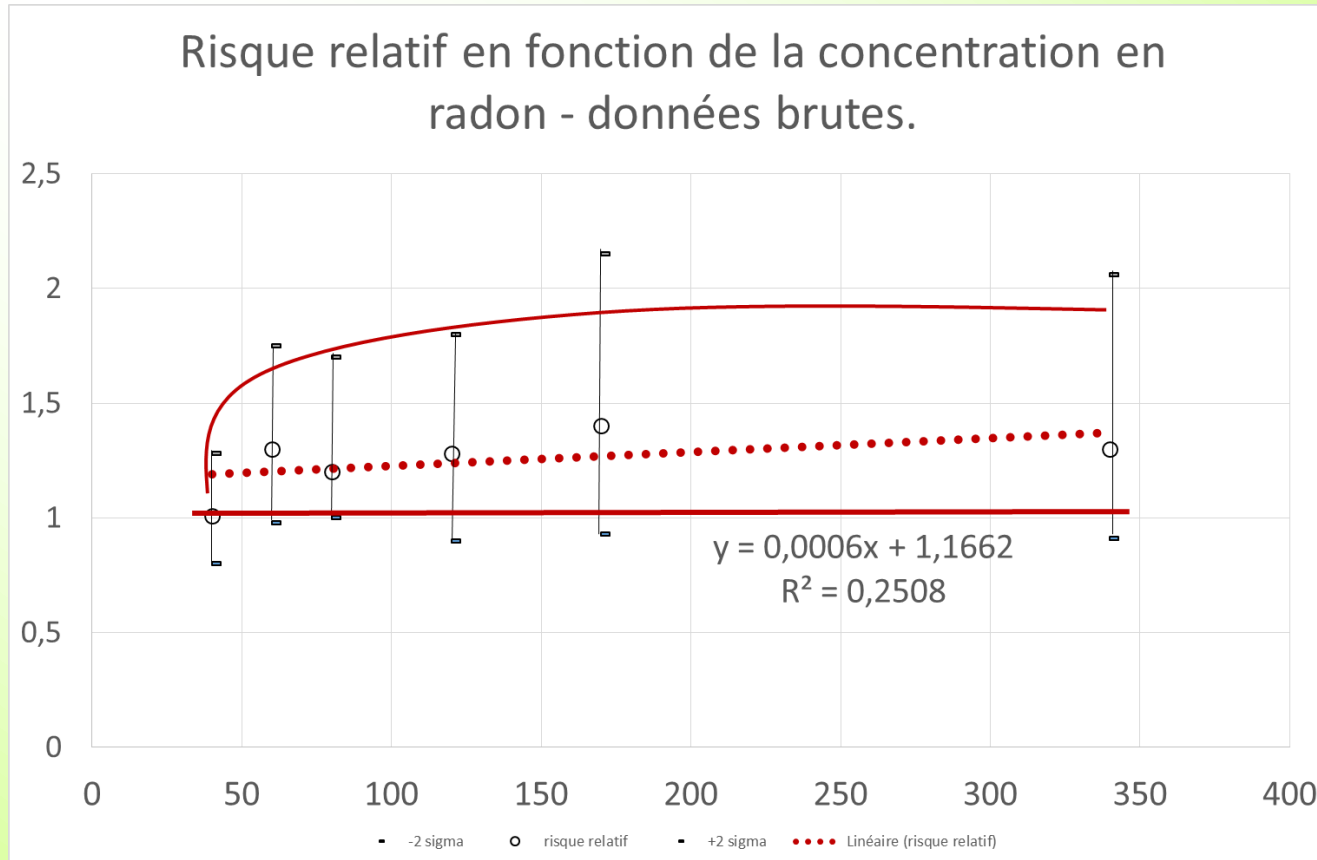
60 000 bât >1000 Bq/m<sup>3</sup> et 300 000 bât > 400 Bq/m<sup>3</sup> (IRSN)

# Le cas des populations

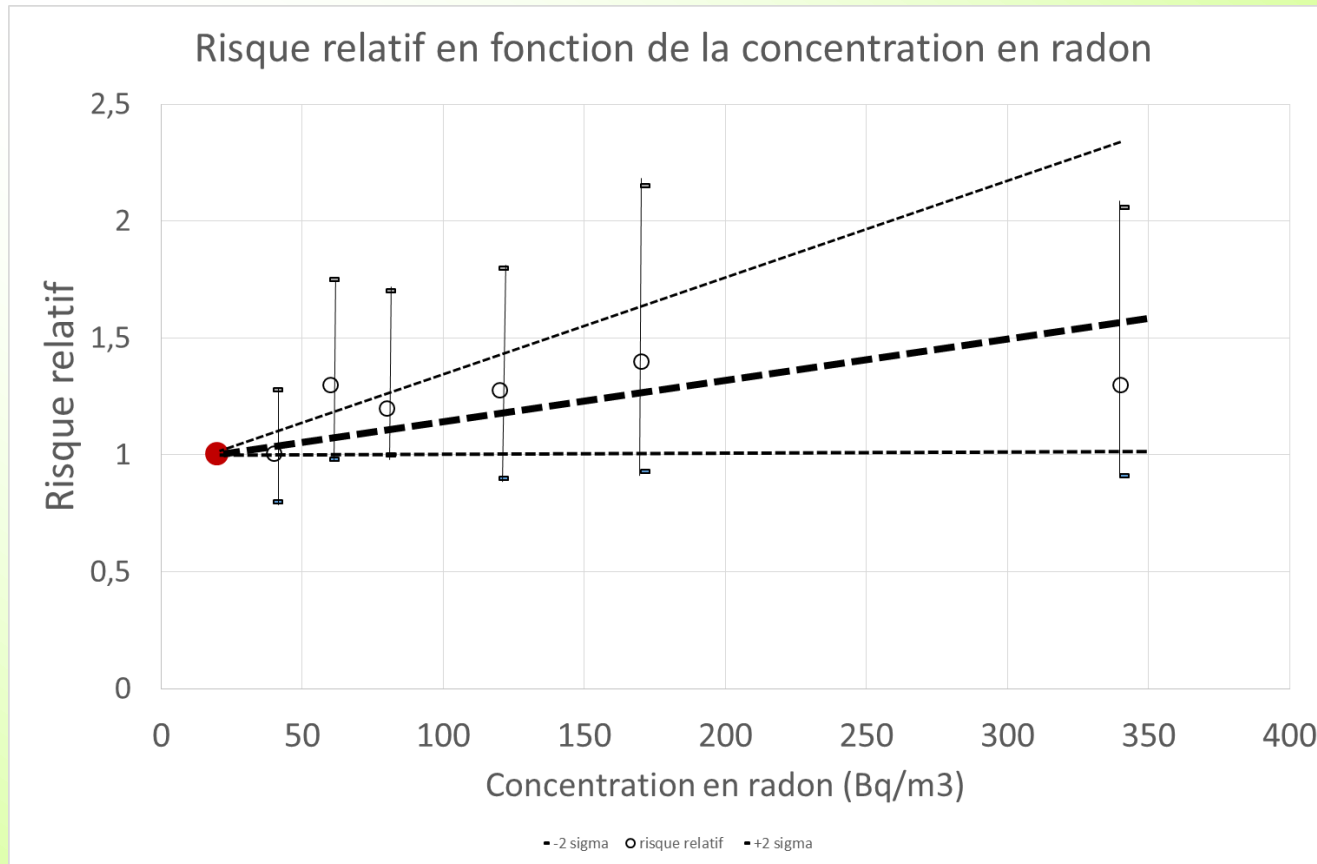
## Présentation brute des données (Darby et al. 2006)



# 3 formes de courbes physiquement possibles. La régression linéaire ne passe pas par (0,1)



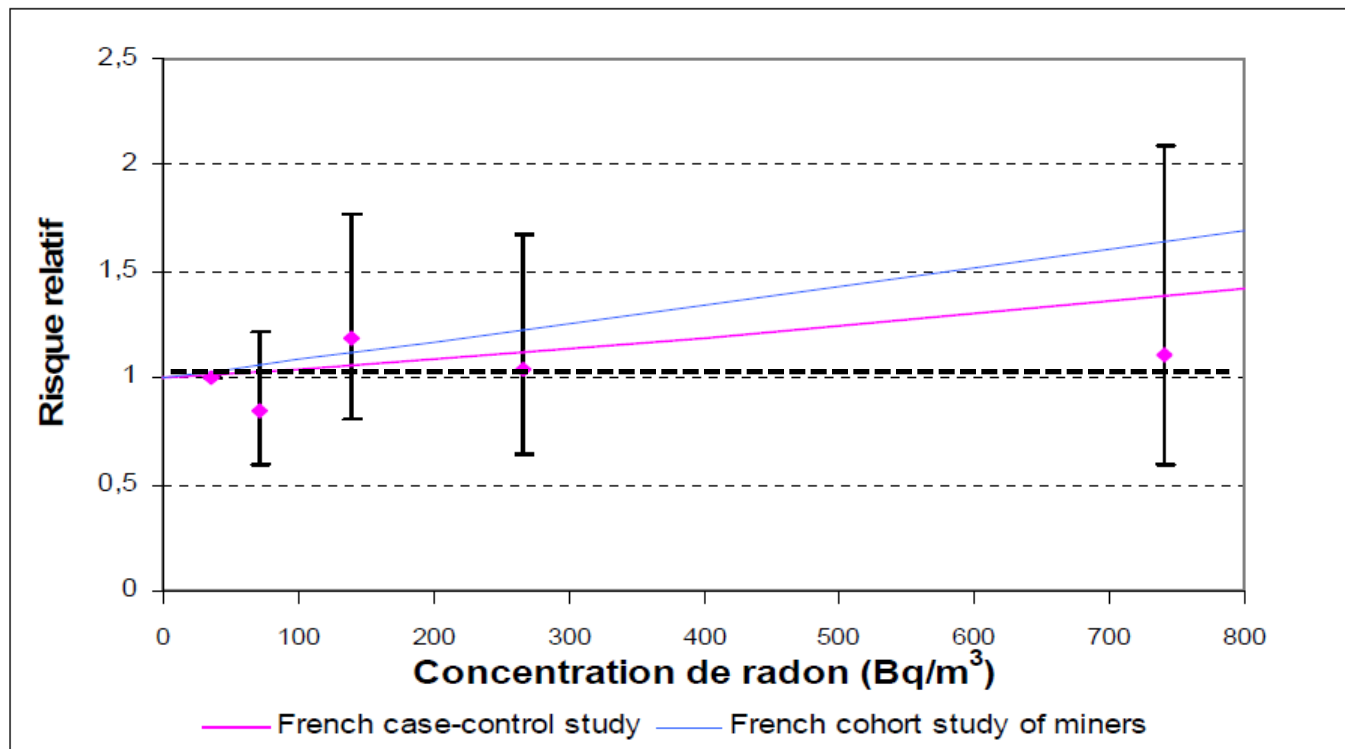
# La courbe au standard biaisé



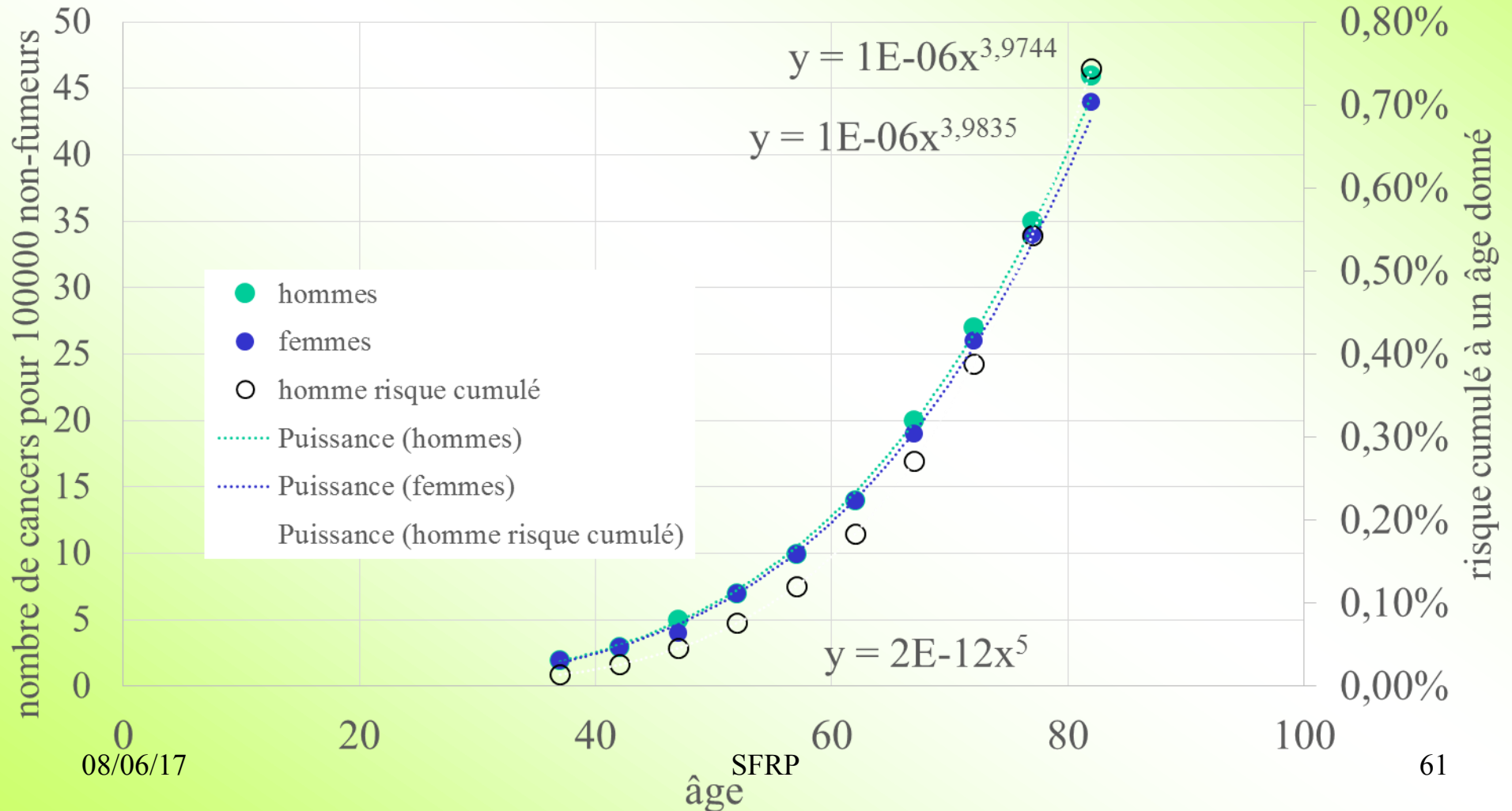
(Tirmarche SFRP 2009)



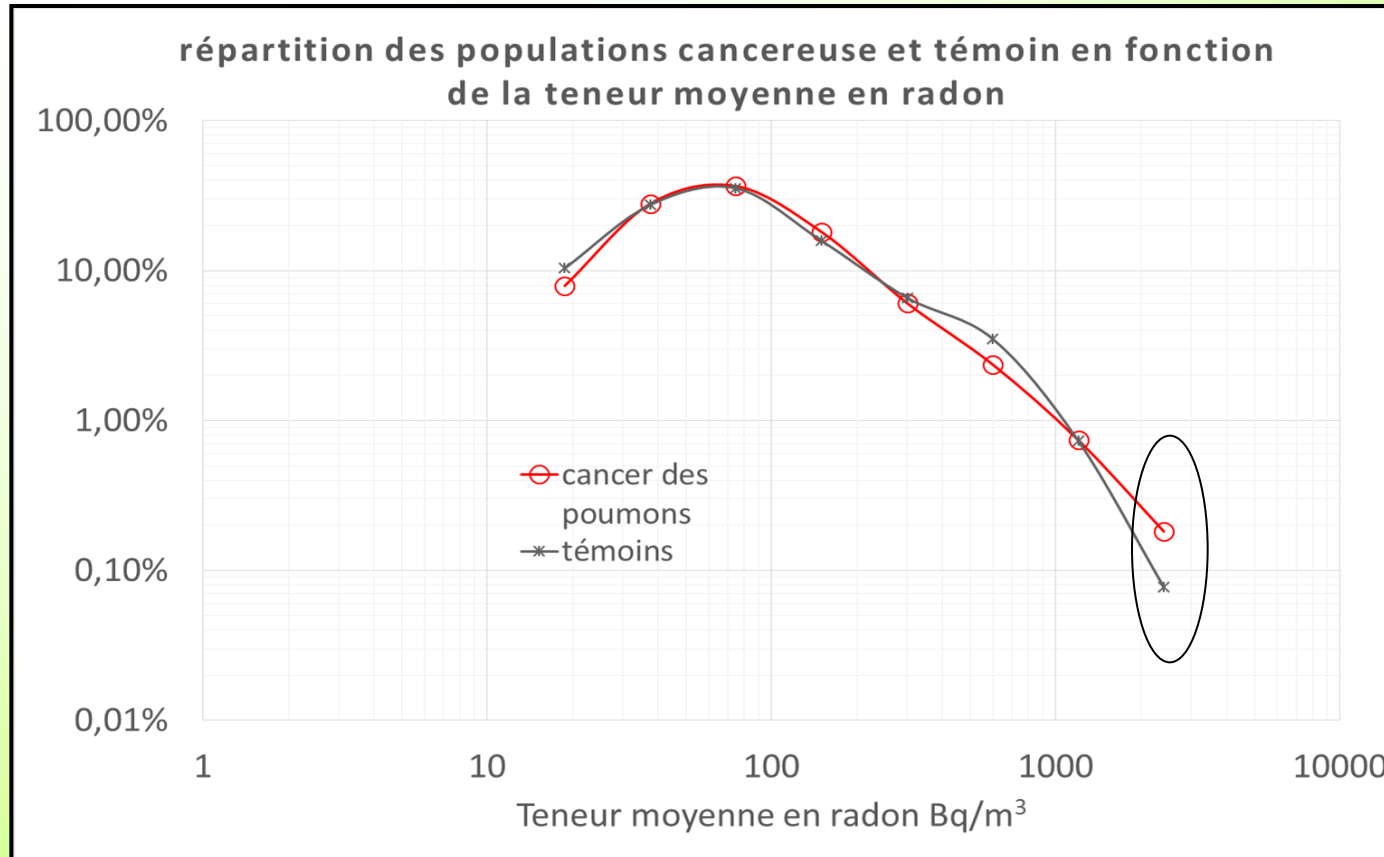
# Extrapolation à partir du cas des mineurs français



# nombre de cancers des poumons pour 100 000 non-fumeurs en fonction de l'âge et risque cumulé



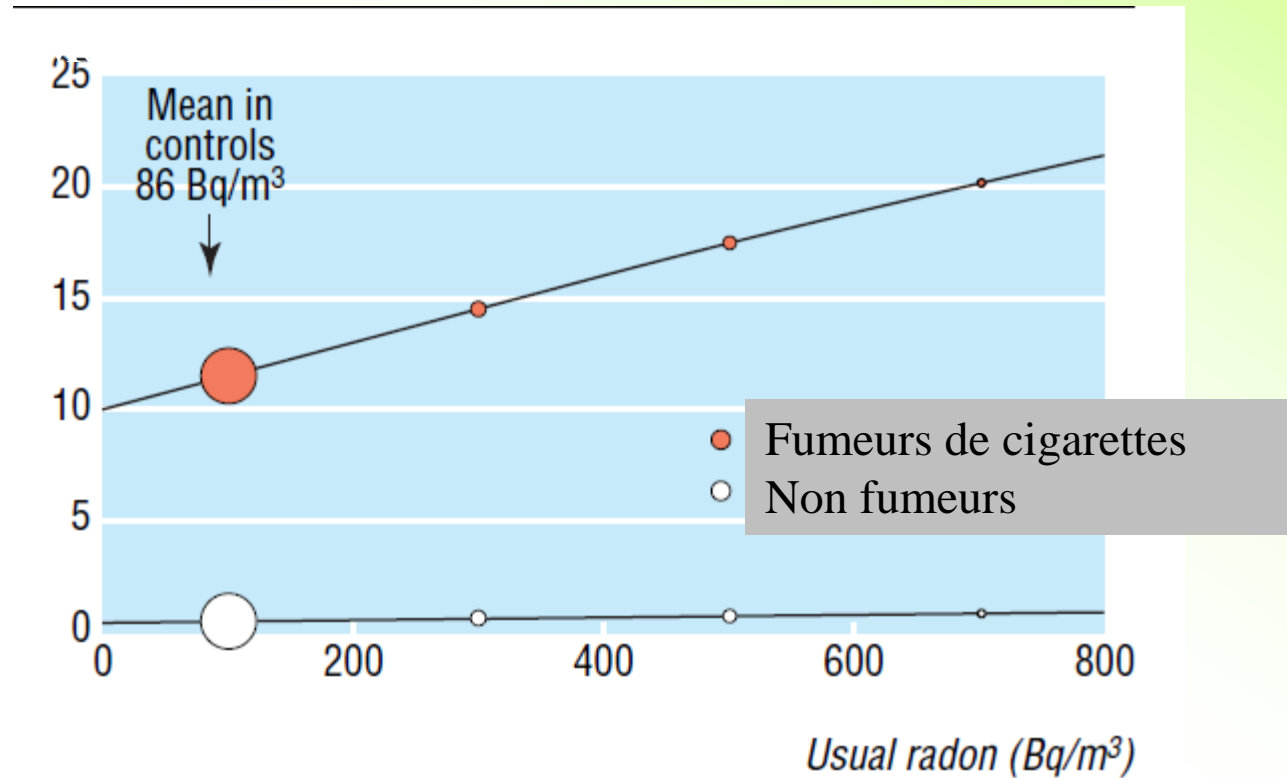
# L'absence d'effet du radon entre 20 et 1000 Bq/m<sup>3</sup>



Faut-il réglementer entre 20 et 1000 Bq/m<sup>3</sup> ?  
SFRP

# Fumeurs et non fumeurs

Mortalité cumulée résultant de cancer du poumon(%)  
À l'âge de 75 ans.



# Estimation du risque de cancer des poumons, absolu et relatif, au cours de la vie

(selon Darby S. et al. 2006)

		Estimation de risques d'exposition au Tabac			
Cig./jour		0	<15	15 à 25	>25
Risque de cancer du poumon	abs	0,41%	5,4%	10%	16%
	H	1	13 (11-16)	26 (21-31)	40 (32-49)
	F	1	6 (5-7)	11 (9-14)	17 (12-26)
20 Bq/m <sup>3</sup>		0,41%	800 Bq/m <sup>3</sup> correspondrait, avec l'hypothèse LLssS à une augmentation du risque de 0,5% équivalente à une cigarette/j !		
100 Bq/m <sup>3</sup>		0,47%?			
400 Bq/m <sup>3</sup>		0,67%?			
800 Bq/m <sup>3</sup>		0,93%?			

**La seule mesure à prendre est l'interdiction de fumer dans ces maisons.**

# Et si l'approche de la CIPR était contreproductive ?

- **Une relation qui n'est pas une loi,  
qui n'est pas linéaire,  
qui n'est pas sans seuil, et  
des expositions qui ne sont pas cumulables.**
- **4 points:**
  - **Cas de la radioactivité naturelle**
  - **Cas des radiodiagnostic,**
  - **Cas de l'accident grave,**
  - **Coût de la gestion des matériaux de démantèlement**

# Mise en perspective du sujet au niveau sociétal

- Comparaison de différents risques

# Quelques chiffres sanitaires

- **100% des hommes et des femmes meurent.**
- **1/3 des hommes et 1/4 des femmes** ont aujourd'hui en France un cancer au cours de leur existence.
- La fréquence des enfants mort-né en France est de **1 pour 300 (0,3 %)**.
- La fréquence des malformations-dysfonctions à la naissance est naturellement très élevée et se situe selon la méthode de calcul **entre 5 et 10%**.
- Des populations vivent normalement avec une exposition de **plusieurs dizaines de mSv/an**, pour lesquelles il n'y a pas d'effets mesurables ni observés.

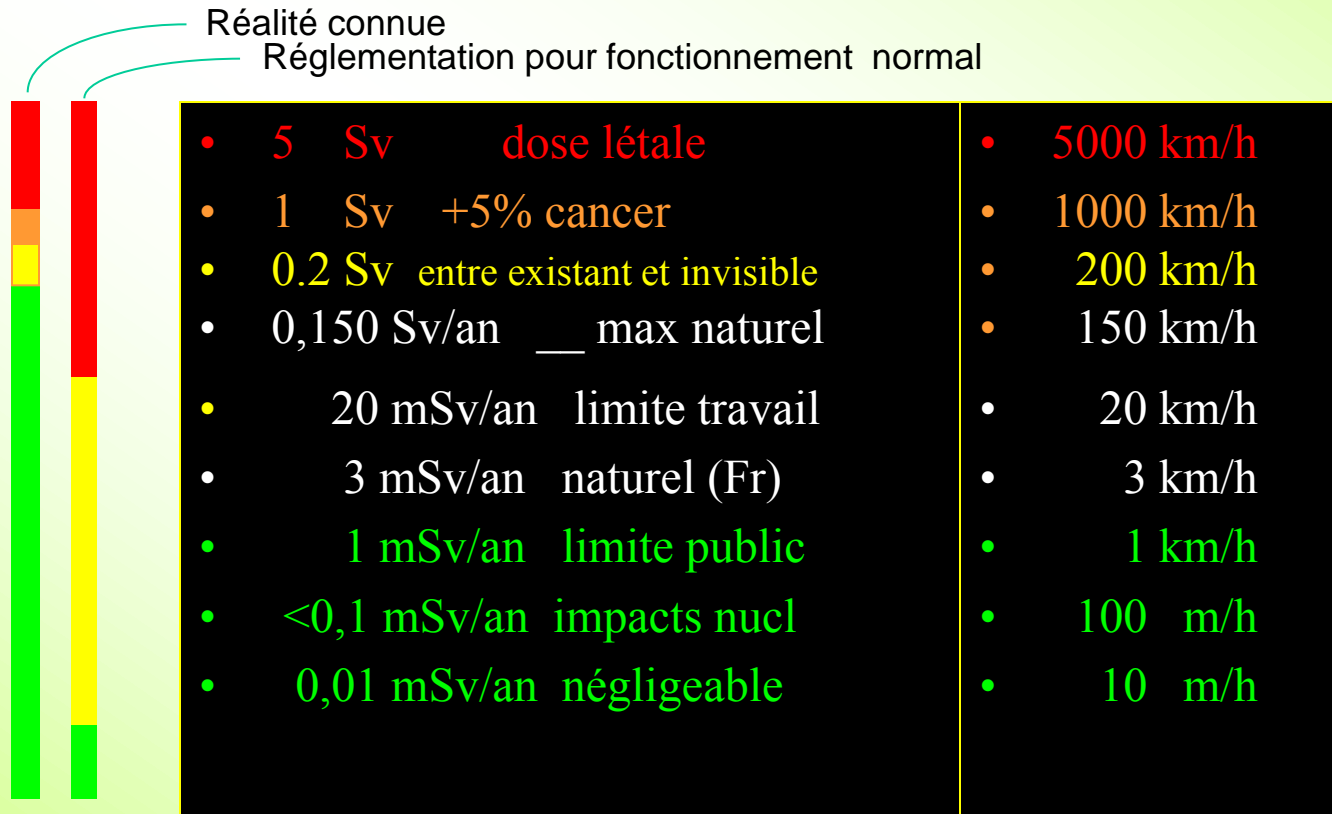


# Accidents du travail

Risque annuel d'accident de travail Année <b>2015</b> par secteur CTN	Nombre de salariés (millions)	Proportion accident (% par an)	risque invalidité permanente		risque annuel de décès	nombre de décès par an
			<10%	>10%		
A - Métallurgie	1,7	3,0%	0,14%	5E-04	3E-05	51
B - Bâtiment et TP (hors bureaux)	1,5	<b>6,1%</b>	0,29%	0,16%	<b>9E-05</b>	<b>130</b>
C - Transports, EGE, livre, communication	2	4,7%	0,19%	9E-04	<b>7E-05</b>	<b>134</b>
D - Services, commerces, industries de l'alimentation	2,4	4,6%	0,16%	6E-04	2E-05	47
E - Chimie, caoutchouc, plasturgie	0,4	2,6%	0,12%	4E-04	3E-05	10
F - Bois, ameublement, papier, carton, textile, vêtement,..	0,4	4,4%	0,21%	0,10%	6E-05	23
G - Commerce non alimentaire	2,2	2,3%	0,10%	4E-04	2E-05	36
H - Activités services I (banques, assurances, administrations...)	4,4	0,9%	0,04%	2E-04	1E-05	52
I - Activité services II (travail temporaire, action sociale, santé, nettoyage...)	3,3	4,6%	0,18%	7E-04	2E-05	62
<b>TOTAL</b>	<b>18,45</b>	<b>3,4%</b>	<b>0,14%</b>	<b>6E-04</b>	<b>3E-05</b>	<b>545</b>

**545 morts, 36 000 invalidités permanentes** en une année dont on ne parle pas, pour « 2 altérations minimales ou nulles de la qualité de vie » diffusées à l'AFP, repris par les journaux, voire les télévisions.

# Comparaison avec la vitesse – Notion de Linéarité des effets ?



3 469 morts sur les routes en 2016

# Comparaison rayonnement et cigarettes, en **admettant** deux lois linéaires et sans seuil

- 3 paquets/jour
- Pendant 20 ans
- = 1 cancer
- Soit 438 000 cigarettes
- Risque de 5% de cancer par Sievert
- 20 Sv=1 cancer

D'où 20 Sv  $\Leftrightarrow$  438 000 cigarettes

**1 mSv  $\Leftrightarrow$  1 paquet**

(Relation fondée sur forte dose)

Facteur de risque à faible dose plus faible ?

*Autre calcul :*

30000 cancers poumon /an

Dont 90% de fumeurs

60 milliards de cigarettes /an en F

1 cancer pour 2 millions de cig

**1 mSv  $\Leftrightarrow$  5 paquets**

# Catastrophes et accidents

Année	lieu	morts	blessés	dégâts matériels	sources
2/12/1959	Fréjus France	423		300 M€	Barrage de Malpasset
1984	<b>Bhopal</b> Union Carbide	<b>3 500</b> <b>immédiats</b> <b>25 000 ?</b>	250 000	470 M\$	<b>Explosion et rejet de 40t</b> <b>d'isocyanate de méthyle</b>
1986	<b>Tchernobyl</b>	<b>43</b>	>12 000 (thyroïde)	quelques 100 000 M€	Accident nucléaire
1999	<b>Inde</b>	10 000	1.7 millions sans abris	5 000 M€	Cyclone orissa
2001	<b>Toulouse AZF</b>	<b>30</b>	>3000	<b>2 000 M€</b>	<b>explosion</b>
12 2004	Indonésie Sri lanka Inde ...	<b>230 000</b>	<b>125 000</b> 1.7 million déplacés	4 000 M€	<b>Séisme de sumatra</b> <b>magnitude 9.2</b> <b>+ tsunami</b>
07 2004	Ghislenghien Belgique	<b>24</b>	132	<b>25 M€</b>	<b>Explosion gazoduc</b>
Avril 2010	Golfe du mexique Deepwater Horizon	<b>11</b>	17	<b>14 000 M\$</b>	<b>Plateforme de forage</b> <b>pétrolier détruite</b> <b>Marée noire</b>
2011	<b>Japon</b>	<b>20 000</b>	2600 550 000 évacués	<b>100 000 - 200 000</b> <b>M\$</b>	Séisme du Tohoku magnitude 9 + tsunami
2011	<b>Japon</b>	<b>0</b>	<b>33</b> 150 000 évacués	<b>100 000 M€</b>	Accident nucléaire

# Danger et risque sismiques. Les protections anti-sismiques sont-elles au niveau ?

Description	Magnitude	Effets	Fréquence
<b>Micro</b>	Moins de 1,9	Micro tremblement de terre, non ressenti.	8 000 par jour
<b>Très mineur</b>	2,0 à 2,9	Généralement non ressenti mais détecté/enregistré.	1 000 par jour
<b>Mineur</b>	3,0 à 3,9	Souvent ressenti mais causant rarement des dommages.	50 000 par an
<b>Léger</b>	4,0 à 4,9	Secousses notables d'objets à l'intérieur des maisons, bruits d'entrechoquement. Les dommages importants restent toutefois peu communs.	6 000 par an
<b>Modéré</b>	5,0 à 5,9	Peut causer des dommages majeurs à des édifices mal conçus dans des zones restreintes. Cause de légers dommages aux édifices bien construits.	800 par an
<b>Fort</b>	6,0 à 6,9	Peut être destructeur dans des zones allant jusqu'à 180 kilomètres à la ronde si elles sont peuplées	120 par an
<b>Majeur</b>	7,0 à 7,9	Peut provoquer des dommages modérés à sévères dans des zones plus vastes.	18 par an
<b>Important</b>	8,0 à 8,9	Peut causer des dommages sérieux dans des zones à des centaines de kilomètres à la ronde.	1 par an
<b>Dévastateur</b>	9,0 et plus	Dévaste des zones sur des milliers de kilomètres à la ronde.	1 à 5 par siècle environ

# GUERRE

- Guerre Mondiale 1939-1945 70 000 000 morts
- Massacre de Nanjing par les japonais 1937  
avec fusils et couteau **300 000**
- Les bombardements de Tokyo Fv et Ms/1945  
bombes incendiaires au napalm. 100 000
- Hiroshima + Nagasaki 160 000 - 230 000  
effets tardifs par rayonnements ionisants **2 000**

# Définition et signification des critères d'exposition

- **Exposition planifiées** : 1 mSv/an

*facteur de précaution >> 200.*

500 mSv peau & extrémités

100 mSv/5 ans et 50 mSv/an pour le cristallin.

- **Exposition existantes** : dans [ 1-20 mSv]

Dans la gamme naturelle et du diag. médical

*facteur de précaution >> 10.*

- **Exposition d'urgence** : dans [20-100 mSv]

- *On voit que Fukushima à l'extérieur n'est pas un problème de radioprotection*

## Définition et signification des critères d'exposition (2)

- **Exposition externe naturelle matériaux : 1 mSv/an**  
*facteur de précaution >> 200. des contraintes inutiles mais rares en France*
- **Exposition au radon : 300 Bq/m<sup>3</sup> seuil d'intervention.**  
un effet probable *sur fumeurs* au-delà de 1000 Bq/m<sup>3</sup>  
on est dans le parfaitement arbitraire, entre 20 et 1000 Bq/m<sup>3</sup> pour les non-fumeurs pour lesquels le risque, s'il existait, serait très faible.  
**s'occuper du tabagisme** : information obligatoire et encouragement à ne pas fumer.



# Considérations mathématiques

- Les fonctions « en escalier » sont fréquentes en biologie, dès lors qu'il existe différents mécanismes interagissant à différents niveaux.
- « La linéarité n'est que la fonction mentale la plus bête entre 2 points ».
- L'extrapolation vers l'infini est un abus inacceptable.
- Lorsqu'on définit une valeur, il faut savoir s'il s'agit d'une moyenne ou d'un maximum.

*l'activité moyenne d'un lot d'assainissement tel qu'un écoutage se situe entre 1 et 10% de l'activité prise en référence pour le retrait des tâches significatives, et donc le max de ce qui reste.*

# La définition des critères d'exemption en activité massique et totale.

- La définition du champ d'application de la réglementation de radioprotection pour des activités **déclarées** ou **autorisées** devrait s'effectuer sur la base de :

la possibilité de dépasser respectivement la valeur de **1 et 20 mSv/an** pour des **travailleurs** qui relèvent alors de la catégorie « travailleur exposé » et;

sur la base d'expositions du **grand public** de l'ordre, dans des conditions usuelles de vie, de quelques **dizaines de  $\mu\text{Sv/an}$  sans excéder 1 mSv/an**, pour les rayonnements de radionucléides artificiels,

et **quelques mSv/an** pour les rayonnements de radionucléides **naturels** non gazeux.

# La définition des critères d'exemption en activité massique et totale.

Les valeurs actuelles d'exemption de la réglementation française : (10Bq/g Co Cs, 1 Bq/g Alpha, 10 Bq/g U)

- sont celles de la directive 96-29 précédente.
- Sont reprises par la directive 13-59 dans son tableau B,
- Sont celles utilisées pour l'exemption pour les transports,
- Ne doivent pas être confondus avec les seuils de libération (100 x plus faibles), dont l'usage se limite à la réutilisation directe de matériels, et aux critères de contrôle de propreté, après décontamination en installations de traitement.

# Une cohérence simple et pragmatique

- entre réglementation des installations et celle internationale des transports,
- entre rayonnements ionisants issus de radionucléides naturels ou artificiels (pas de grande distorsion),
- Avec les valeurs des normes alimentaires internationales en situation post-accidentelle,
- Une utilisation comme valeur maximale, sans nécessité de limitation de masse ou volume,
- *« Le moyen que « les États membres tirent avantage de l'application d'une approche graduée du contrôle réglementaire, proportionnelle à l'ampleur et à la probabilité des expositions ».*

# Conséquences sociétales

## **L'abaissement d'un facteur 100 des critères d'exemption**

pourrait avoir comme conséquence par excès de protection un développement de **radiophobie**,

, avec :

- Un enjeu sur les choix énergétiques, particulièrement sensible et mal venu dans le contexte climatique à venir,
- Un enjeu sur l'usage des rayonnements dans le secteur médical, (plusieurs milliards de diagnostics en 2016 sur la planète)
- Un autre enjeu porte sur les habitations traditionnelles de Bretagne, massif central et Vosges, dévalorisation.
- Le mauvais usage de fonds financiers et d'équipes pour une situation post-accidentelle très improbable, au détriment de campagnes d'information plus utiles (vaccin...)

Biologiquement, la société a pour mission de sauvegarder l'espèce vis-à-vis de l'ensemble de ses agresseurs, physico-chimiques ou biologiques, microscopiques ou prédateurs, au moindre coût social.


La réglementation est aussi là pour ça. Il faut optimiser la Protection et non la radioprotection.

# Quand le remède est pire que le mal supposé !



**vous préférez 12000 éoliennes et 4 centrales au gaz pour quand il n'y a pas de vent ?**

12000  
?



Je vous remercie de votre attention

Bientôt 160 éoliennes dans ce paysage





# Induction de cancers à faible dose

## Risque de leucémie par CT scanner chez les enfants (Marc S. Pierce 2012)

