

Le Paradoxe des faibles doses



Henri Métivier

Professeur émérite à l'INSTN

Ancien membre de la CIPR

CAEN, 14 mars 2008

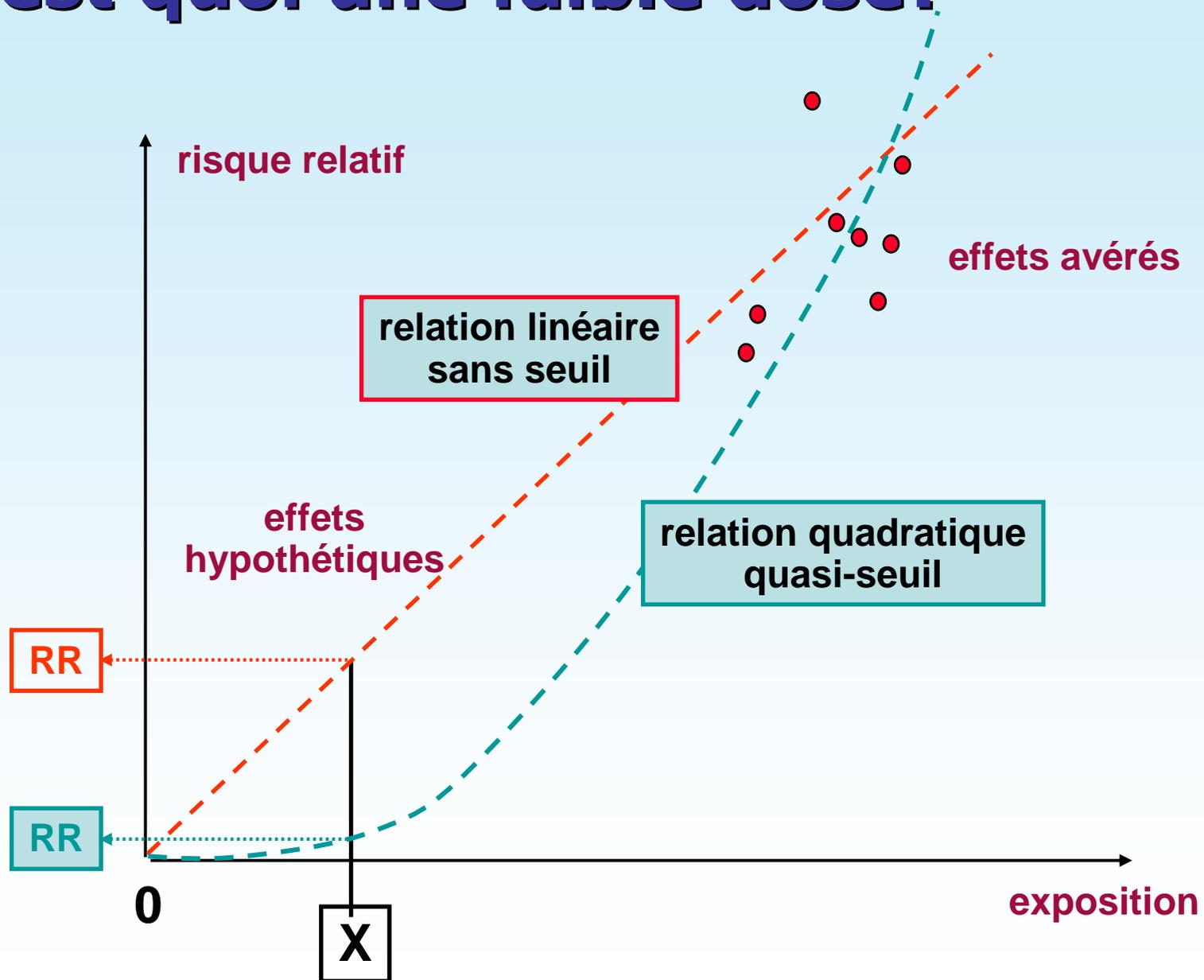
PARADOXE

Robert, Larousse:

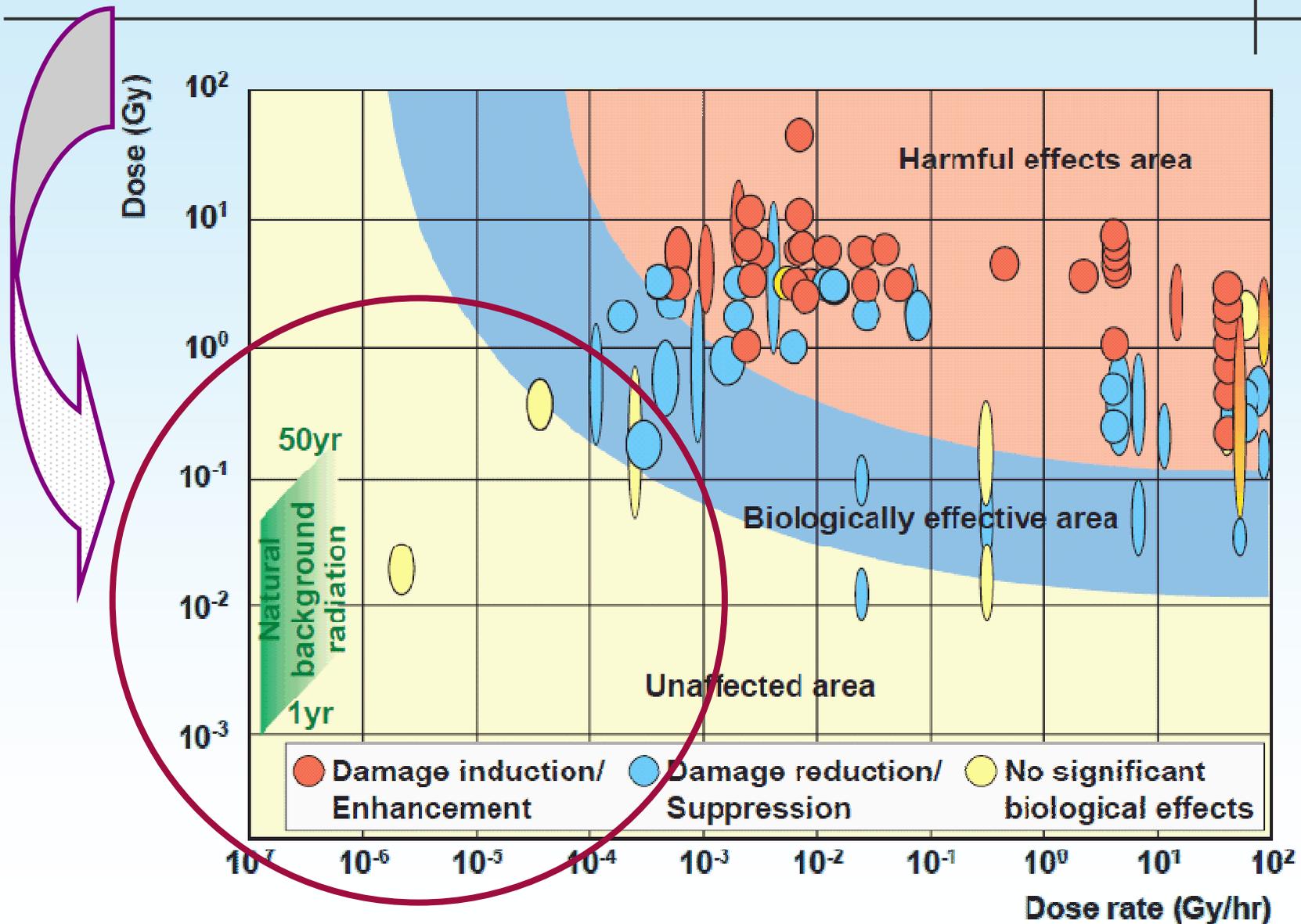
Opinion qui va à l'encontre de l'opinion communément admise

- Un débat très vif pour des effets inobservables
- Les scientifiques sont ils complices?
- Est ce bien raisonnable?

C'est quoi une faible dose?



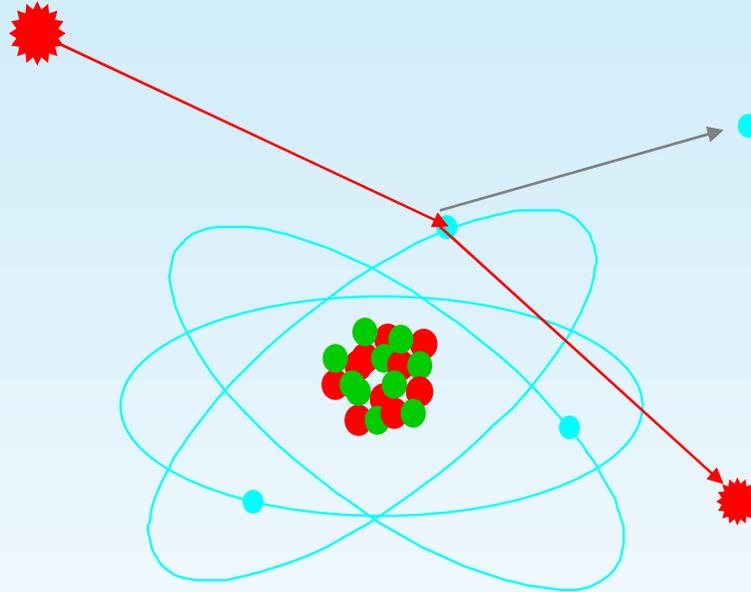
Où sont les faibles doses?



D'après Kazuo SAKAI

Quelques Rappels

Au tout début l'ionisation

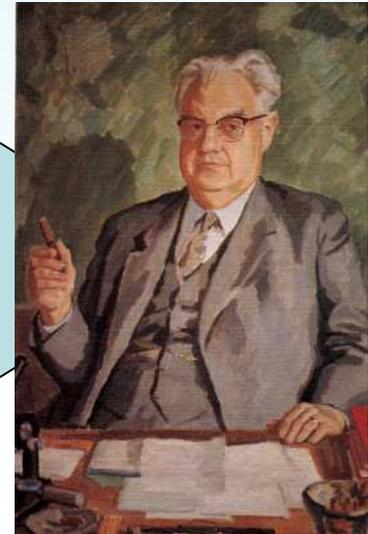
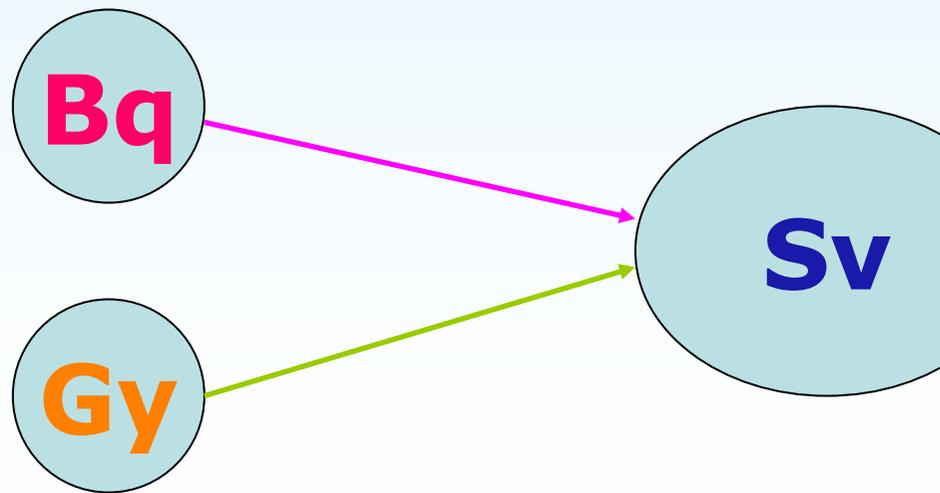


La première action étant l'arrachement d'un électron, ionisation, peu importe l'origine il ne peut y avoir de différence d'effet sur la matière qu'elle soit inerte ou vivante entre les deux origines

Tout autre affirmation ne relève pas de la science

Notre unité de risque le Sievert

- La radioactivité se mesure en Becquerel
- L'irradiation se mesure en Gray
- Le risque aux faibles doses s'évalue en Sievert

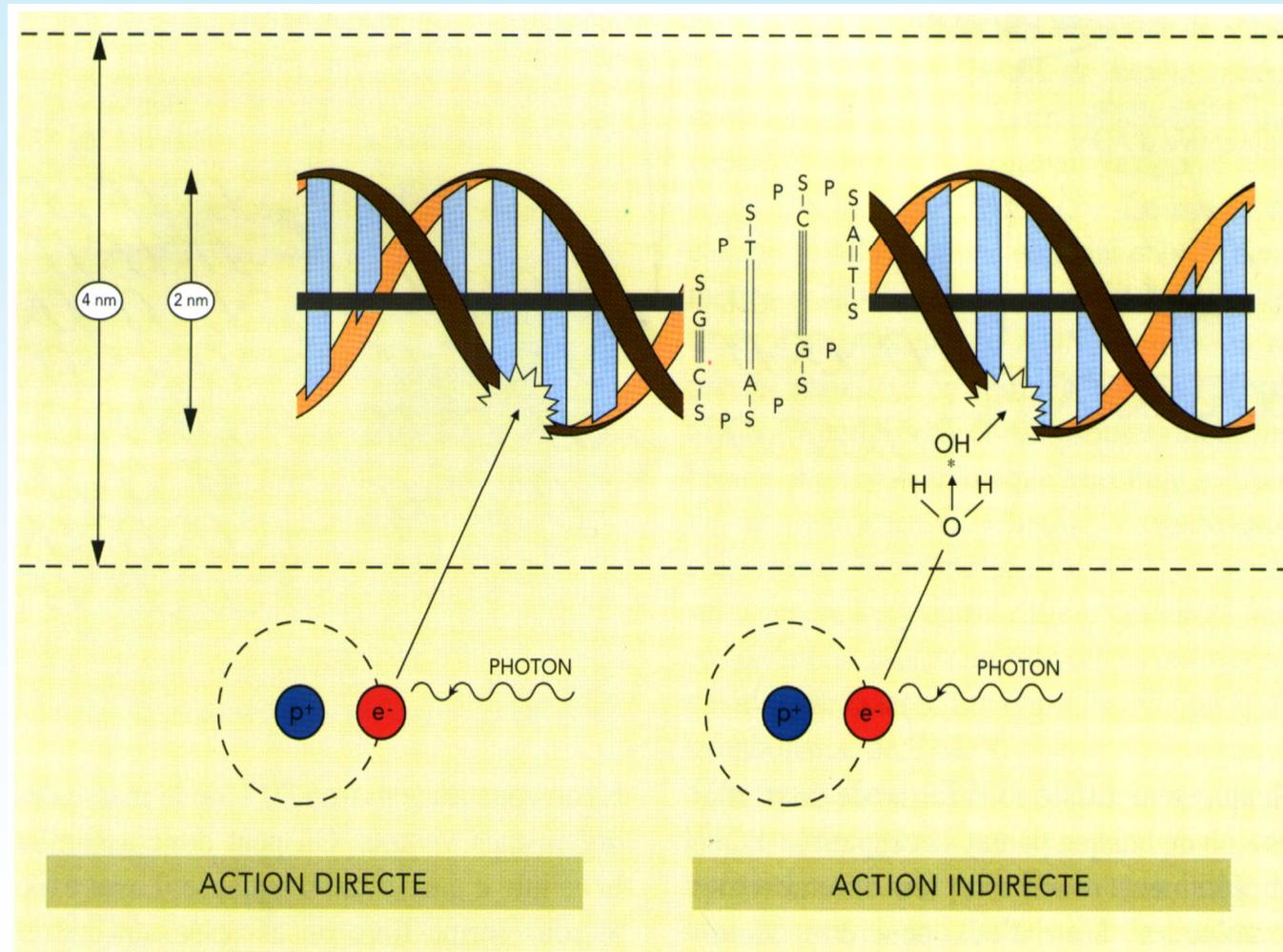


La dose efficace

$$E = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R}$$

En Sievert (Sv)

Effets directs et indirects des rayonnements sur l'ADN



Cassure simple brin (CSB)

Effets directs et indirects des rayonnements sur l'ADN

Cassures simple brin (CSB)

Cassures double brin (CDB)

Pour 1 Gy: on estime le nombre de CDB entre 30 et 40, celui lié au métabolisme (endogène) est estimé à 8 par jour et 50 par cycle cellulaire

3000 à 15000, selon les sources CSB sont formées par jour, 1% pourrait se transformer en CDB

Elles vont dépendre de votre activité

Effet des rayonnements ionisants aux niveaux moléculaire et cellulaire

Réparation parfaite



Survie normale

Réparation imparfaite



Survie altérée



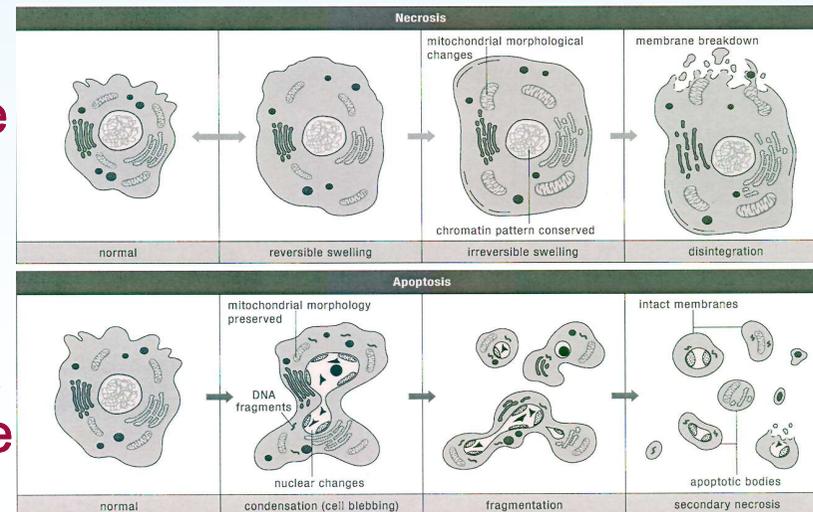
Mutation

Cancer

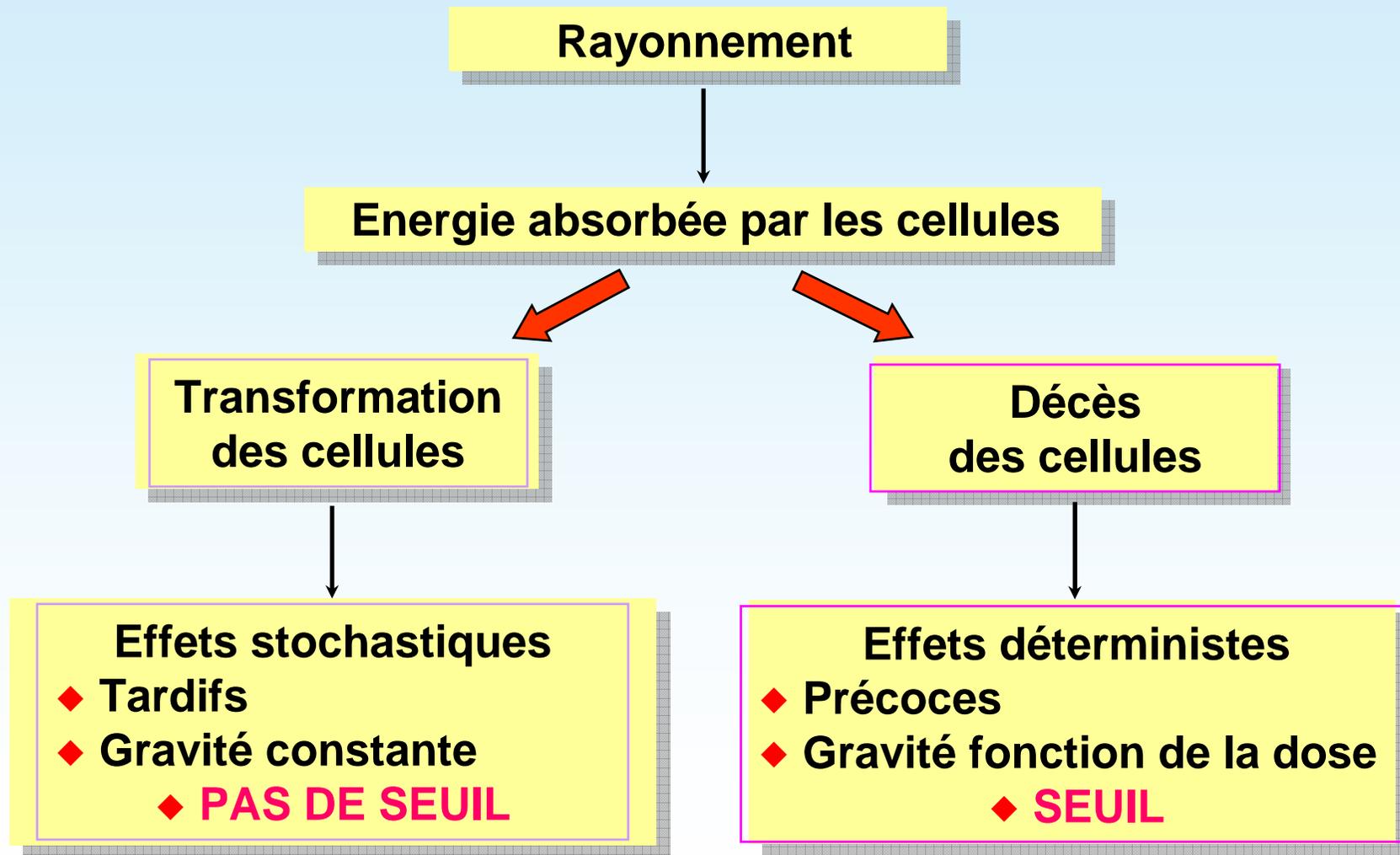
Pas de réparation possible
(Mort cellulaire)

Nécrose

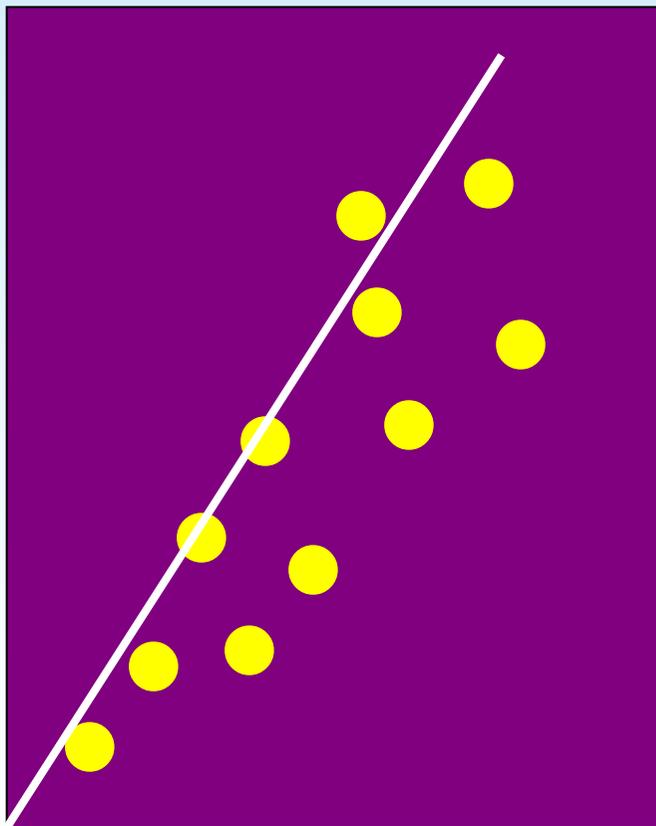
Apoptose



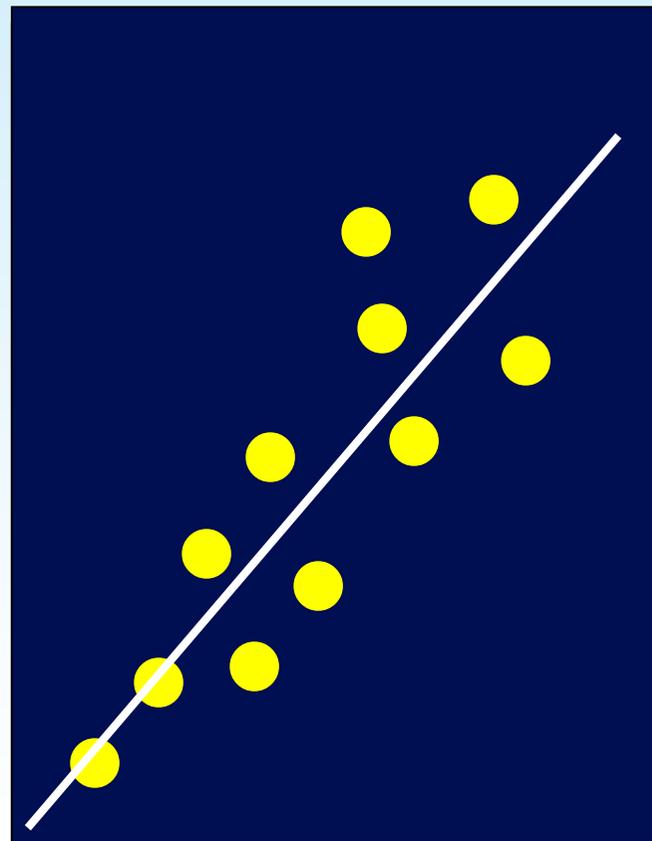
Les effets pathologiques des rayonnements, le paradigme actuel



Le métier de protection



Protection



Science

Un peu d'histoire

la Saga de la CIPR

La Commission Internationale de Protection Radiologique

1928

ICXRP

1959

Publication N°1

1964

Publication N°6

1966

Publication N°9

1977

Publication 26

1990

Publication 60

1996

Directive Européenne

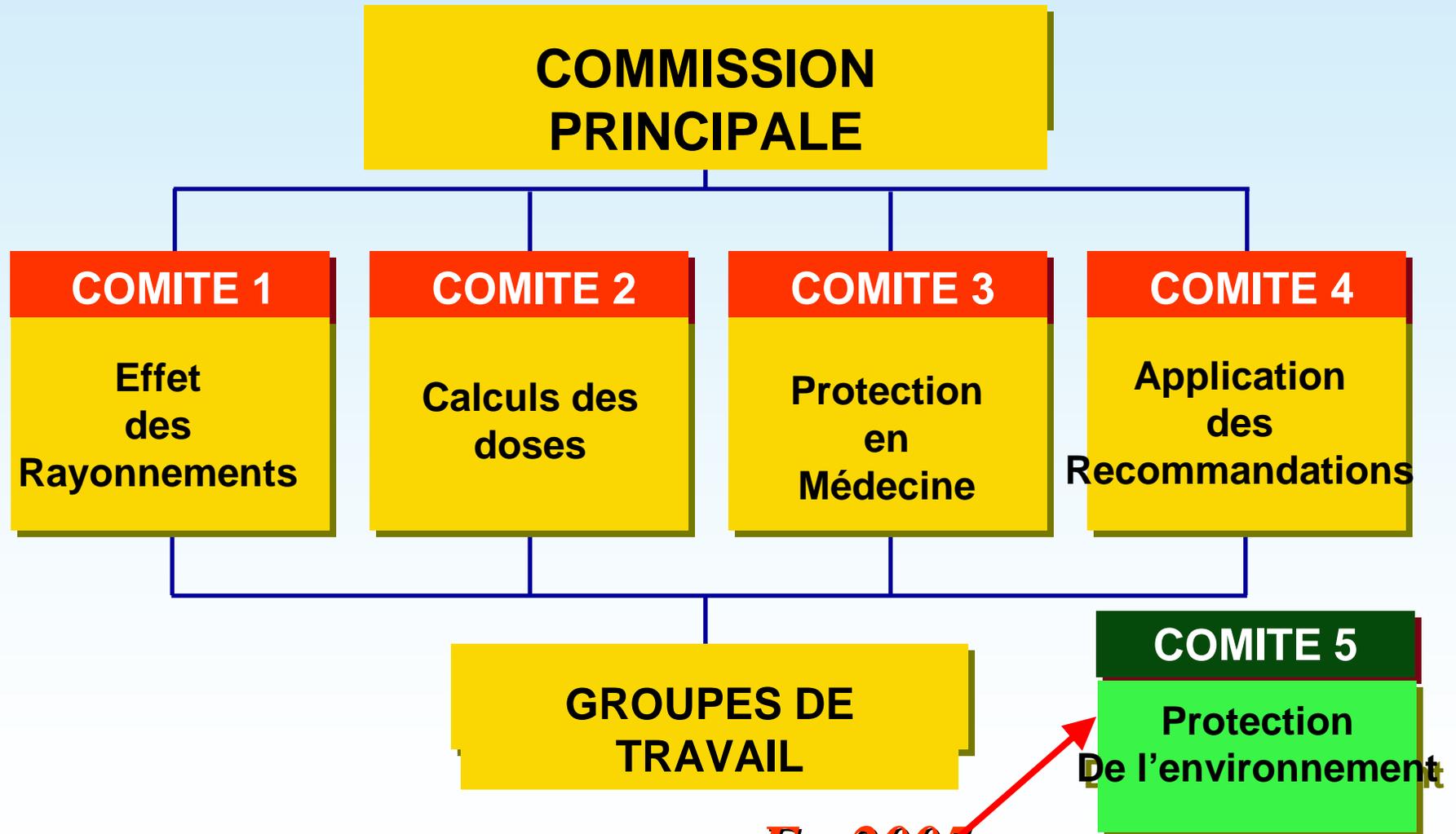
2002

Application en France

2007

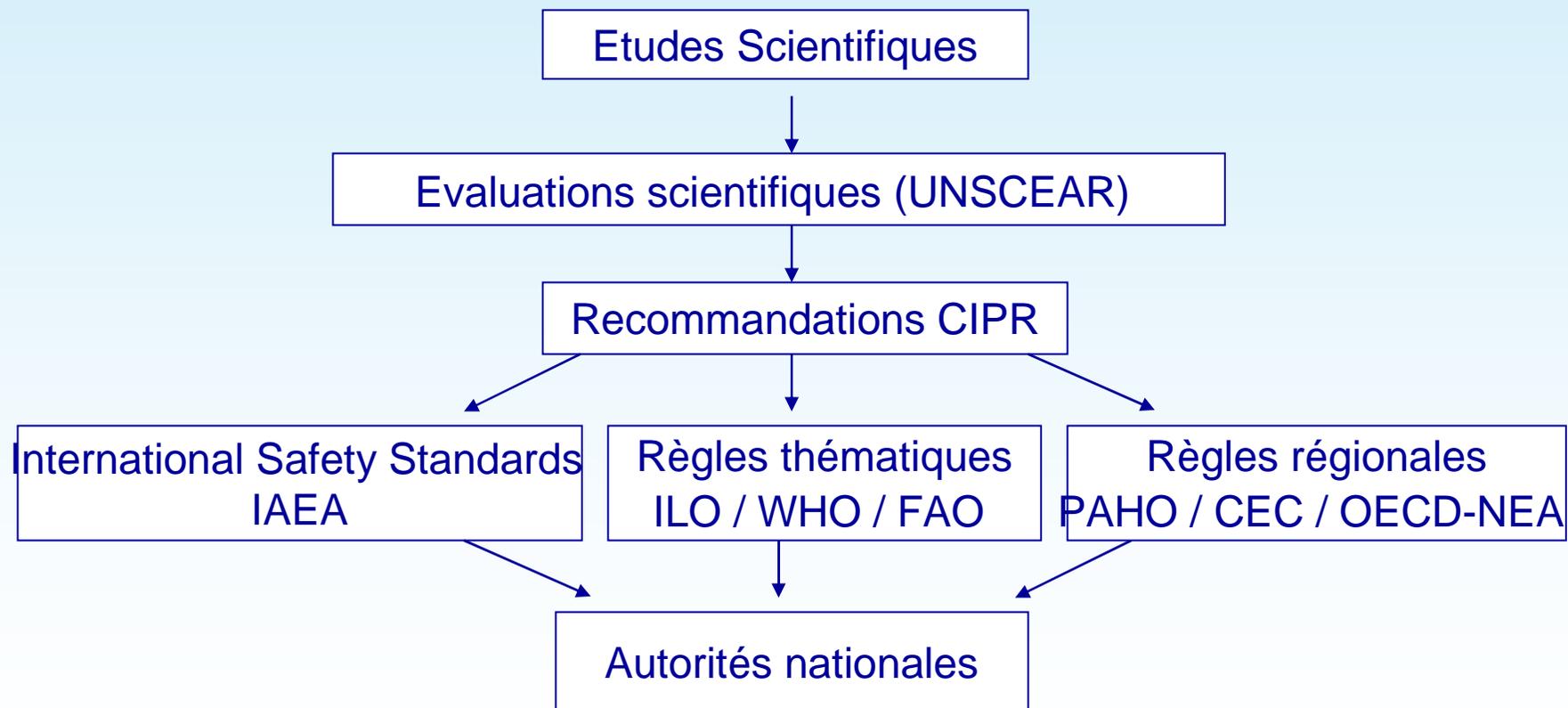
CIPR 103, Nouvelles recommandations

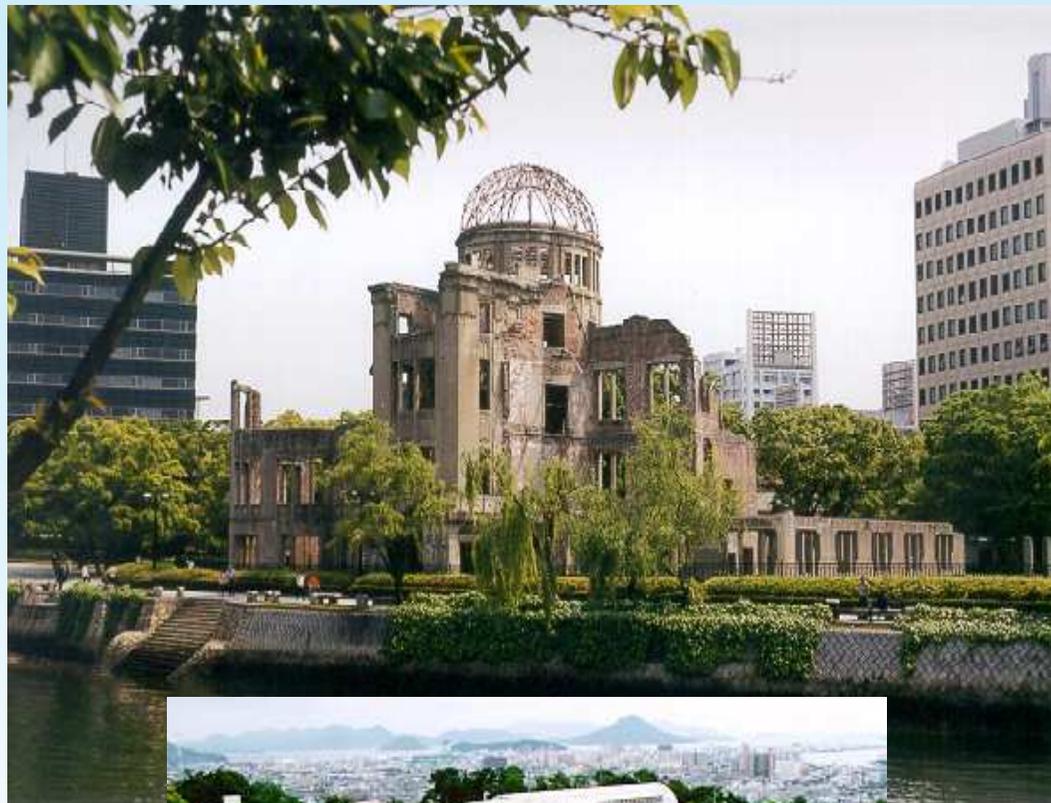
La CIPR



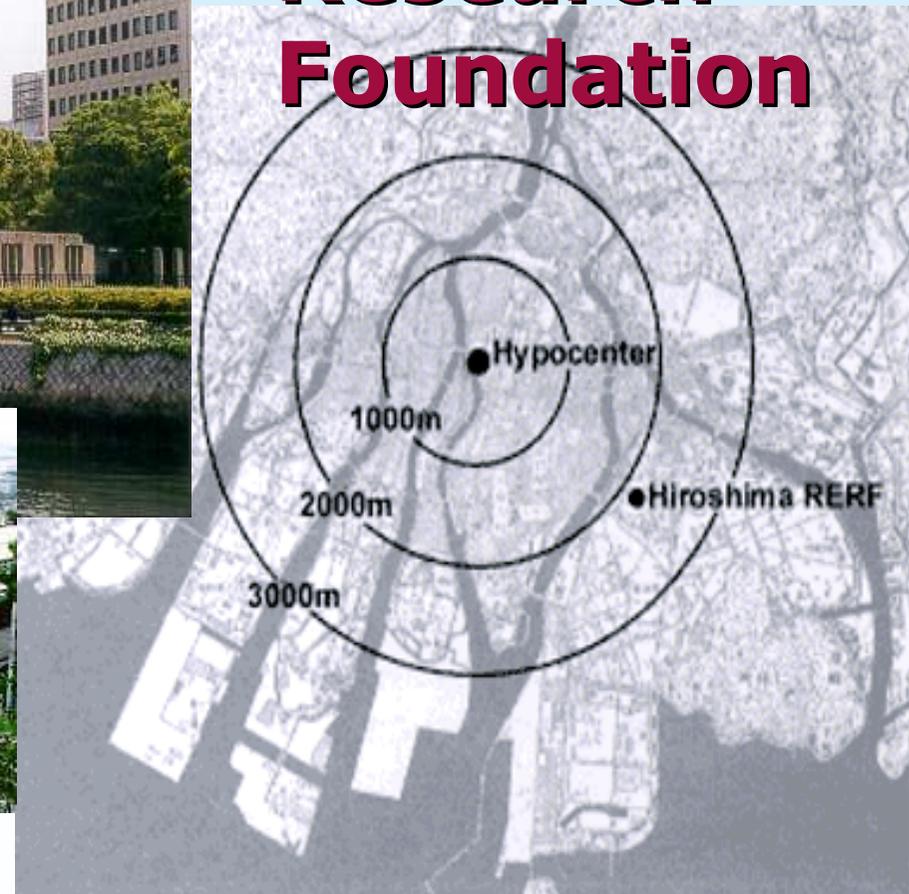
En 2005

De la Science à la réglementation





Radiation Effects Research Foundation



- Life Span Study (LSS) : 120 000 survivors

Approche CIPR-UNSCEAR



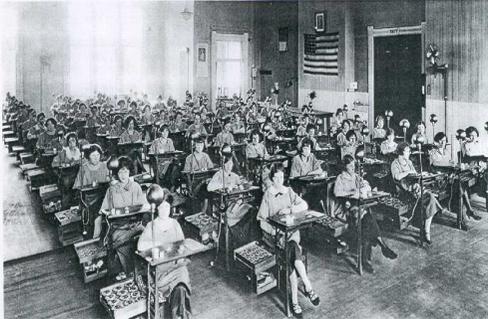
Hiroshima
et Nagasaki

Coefficient
primaire

Coefficients
extrapolés

Mélange
populations

Risque vie
entière

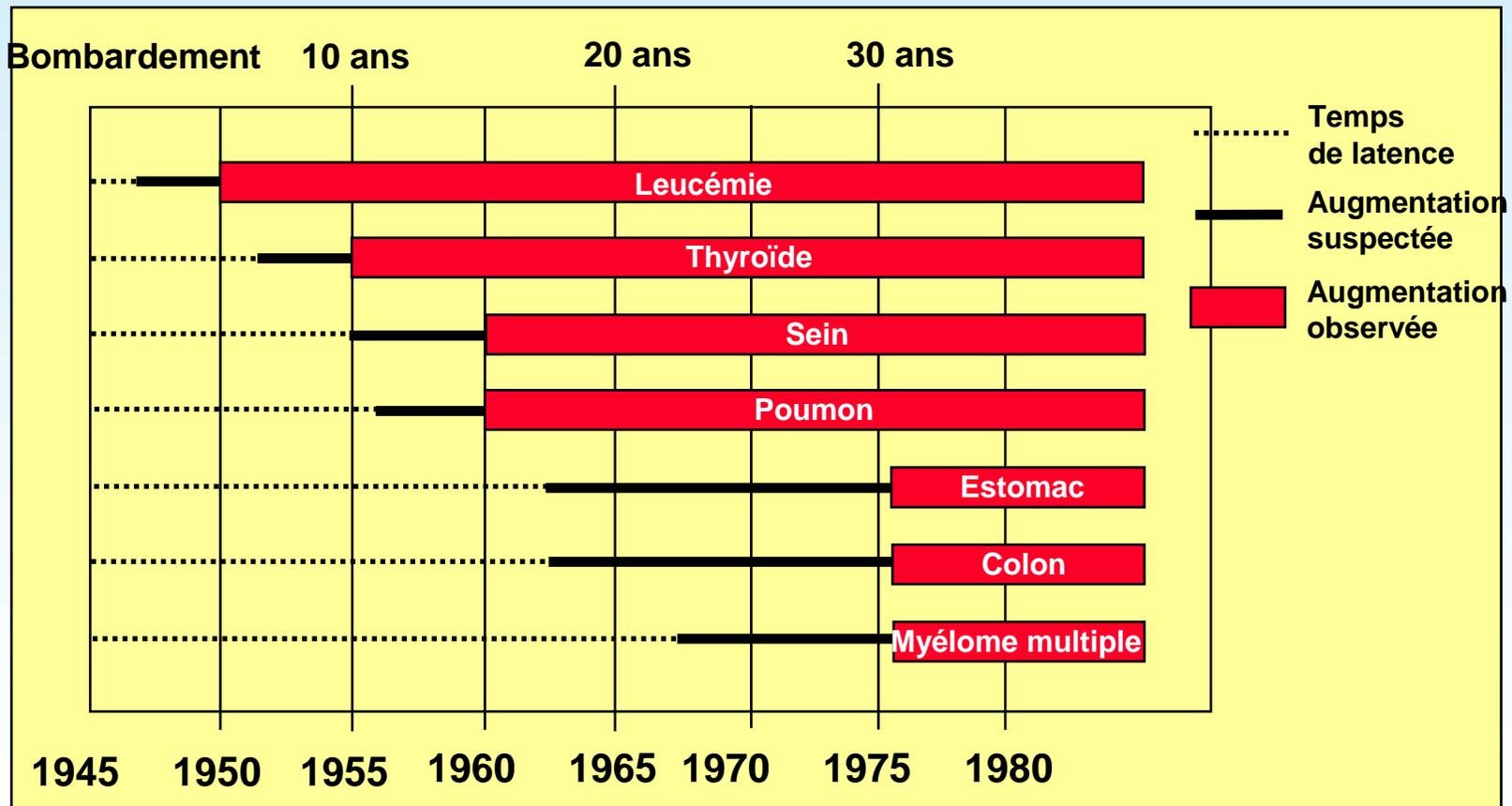


Autres données
épidémiologiques

Données
animales

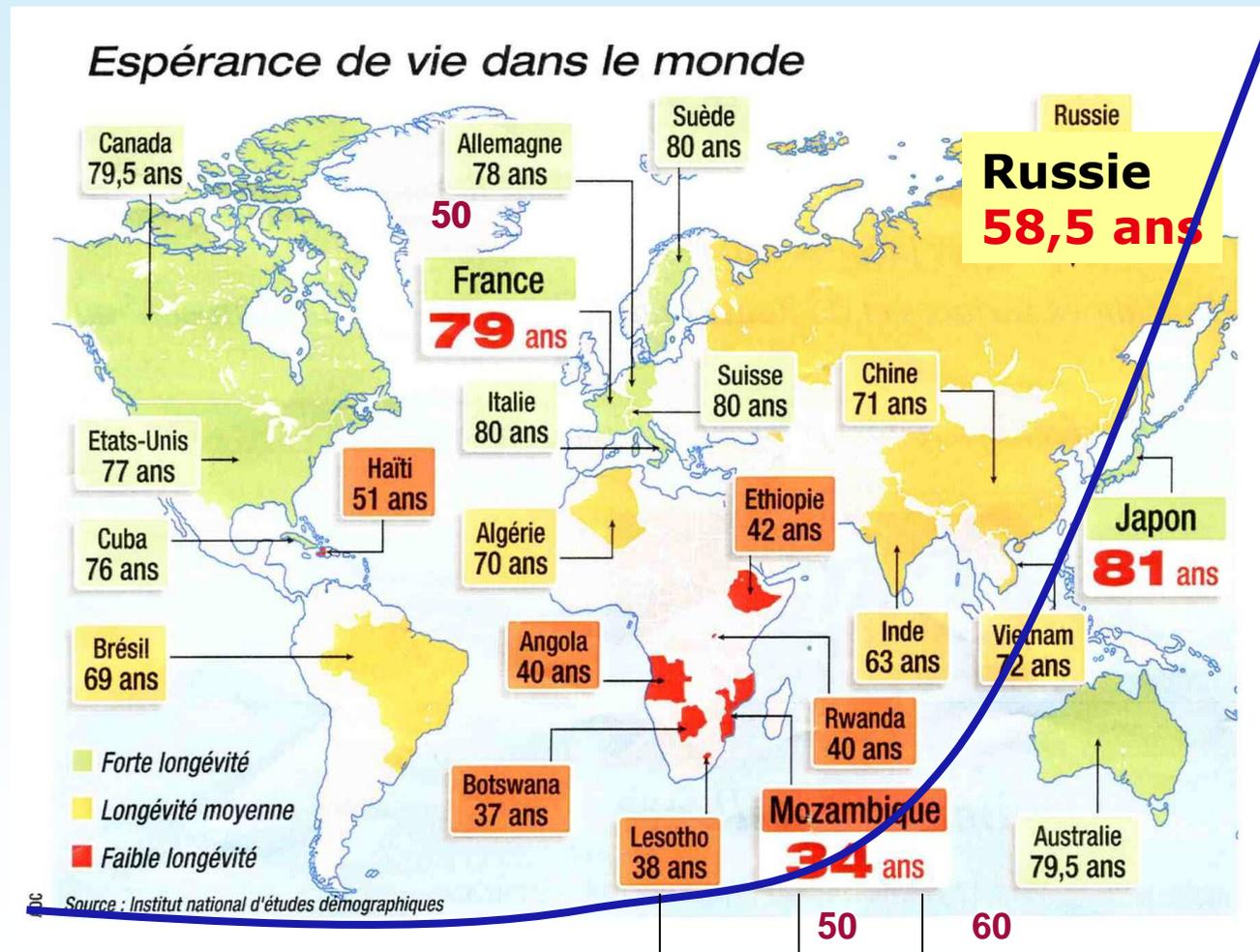
Théorie
cancérogène

Hiroshima Nagasaki : apparition des excès significatifs au fur et à mesure du suivi



Et Tchernobyl

Espérance de vie dans le monde



Cancers en fonction de l'âge

Hiroshima-Nagasaki: Sondage parmi 200 médecins libéraux et hospitaliers

on a pu calculer le nombre d'excès de cancers
mis en évidence chez les survivants irradiés
d'Hiroshima et Nagasaki.
selon vous, il est de :

• moins de 500	4 %
• 500 à 1 000	6 %
• 1 000 à 5 000	16 %
• 5 000 à 10 000	22 %
• 10 000 à 20 000	13 %
• plus de 20 000	32 %

Et la réponse est...

Moins de 500

(4% de bonnes réponses)

Un effort à faire

Chimique vs radiologique

Pour la plupart des nuisances chimiques, les normes ont été définies en fonction des effets tissulaires immédiats, ne prenant en compte que récemment les effets tardifs, cancérogènes ou mutagènes, pour les rayonnements ionisants, ce sont au contraire les risques différés qui **dès l'origine**, ont inspiré les recommandations (leucémies)

Les Recommandations dans le passé

Au début: Exposition professionnelle en médecine

Eviter les effets déterministes

1928: Limites pour les heures de travail (~ 1000 mSv)

1934: ~ 500 mSv

Puis: Expositions professionnelles

1950: ~150 mSv

Et aujourd'hui: Expositions

... minimiser le risque stochastique

1956: 50 mSv; 5 mSv

1977: ALARA (Publication 26)

1990: 20 mSv, 1 mSv (Publication 60)

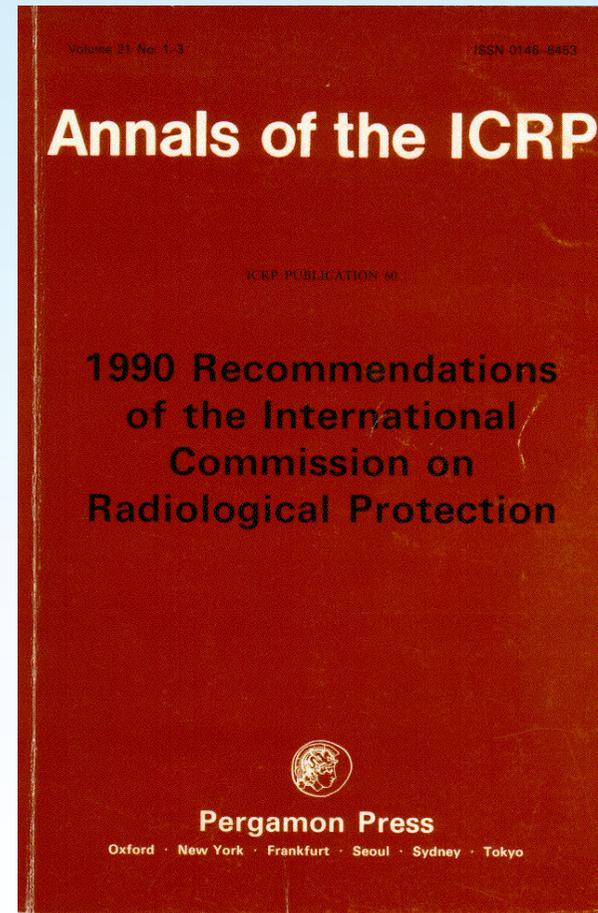
la Publication 26 de la CIPR (1977)

- Prévenait les effets déterministes, minimisait les effets stochastiques
- Justification par le coût - analyse d'efficacité
 - *“More good than harm to society”*
- Optimisation par le coût - analyse cout-bénéfice
 - ALARA; maximalise le bénéfice collectif.
- Limites de doses

Combien cela coute, combien de vies sont sauvées?

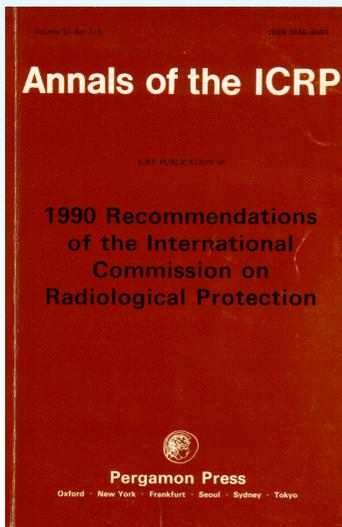
La Publication 60 de la CIPR (1990)

- Prévient les effets déterministes, minimise les effets stochastiques
- Justification
- Optimisation: Analyse cout-bénéfice
 - Contraintes de dose appliquées à une source pour limiter les inéquités.
- Limites de dose et de risque



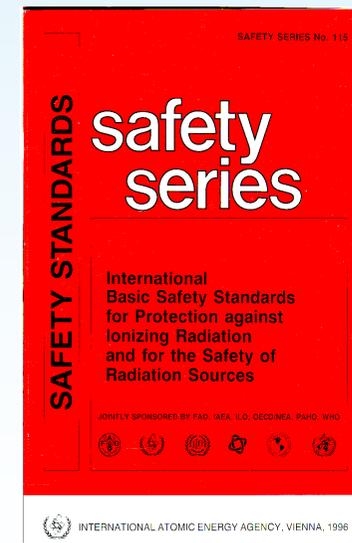
International Basic Safety Standards

- Il y a une corrélation directe entre les recommandations de la CIPR et les BSS depuis 1962
- Les BSS suivent les recommandations de la CIPR:

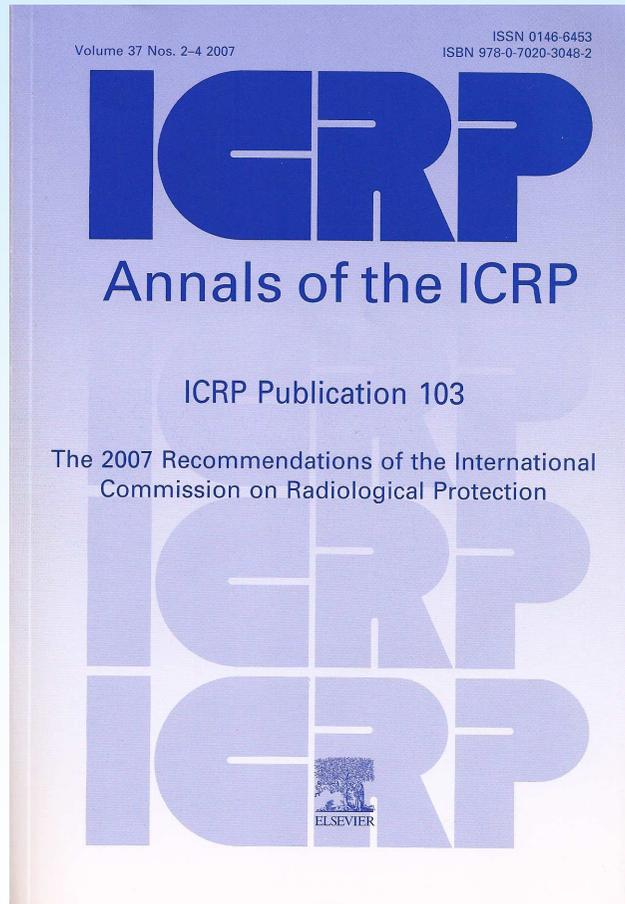


Les recommandations de 1977
sont la base des de 1984

Les recommandations de 1990
sont la base de celles de
1996



Un besoin de révision



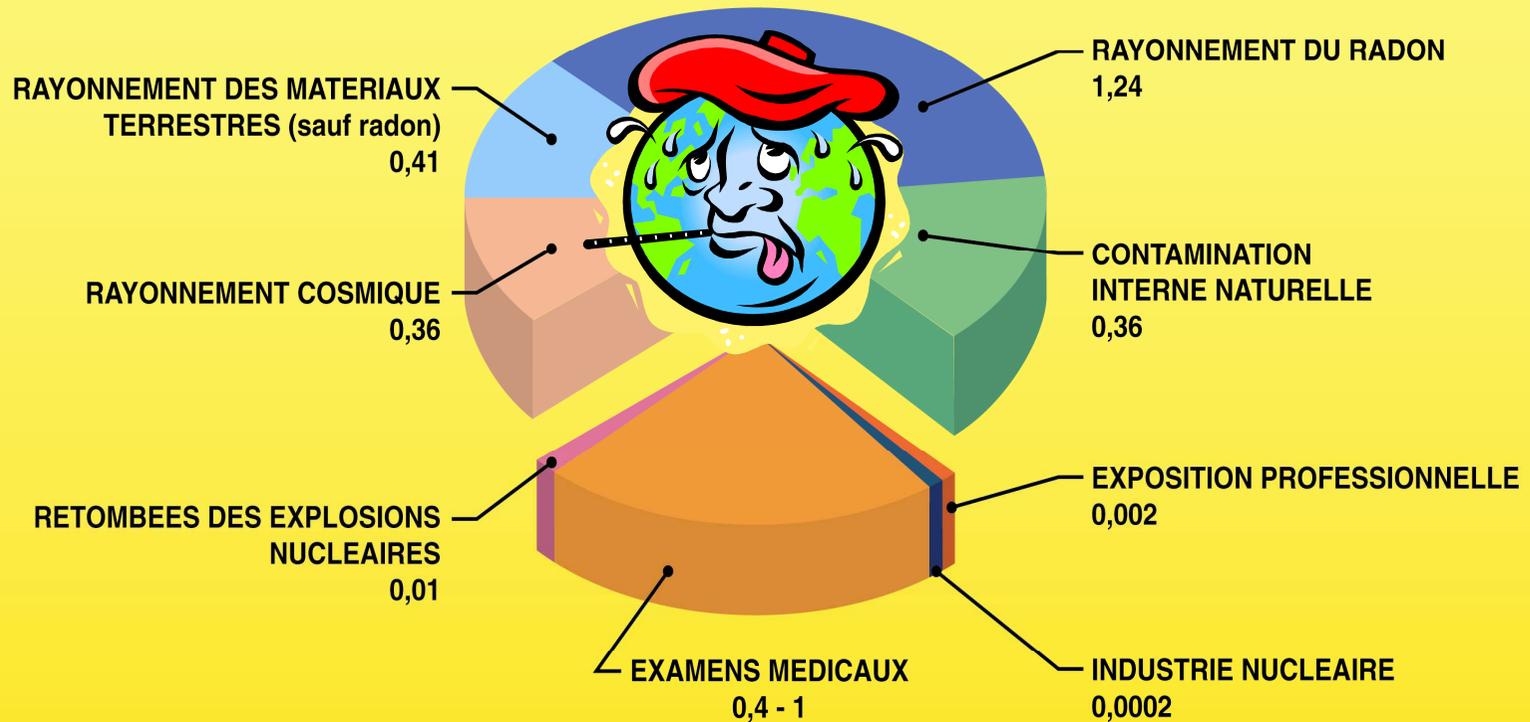
- Le risque n'a pas changé de manière substantielle
- Les connaissances biologiques et physiques doivent être actualisées
- Les recommandations existantes doivent être consolidées et simplifiées
- L'environnement doit recevoir plus d'attention que par le passé
- Mais il n'y a aucune urgence à transposer ces nouvelles recommandations

**Nous sommes tous soumis
à de faibles doses**

Que recevons nous quotidiennement?

l'Exposition des Populations (mSv/an) (source UNSCEAR, 1988)

EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS D'ORIGINE NATURELLE 2,4 mSv



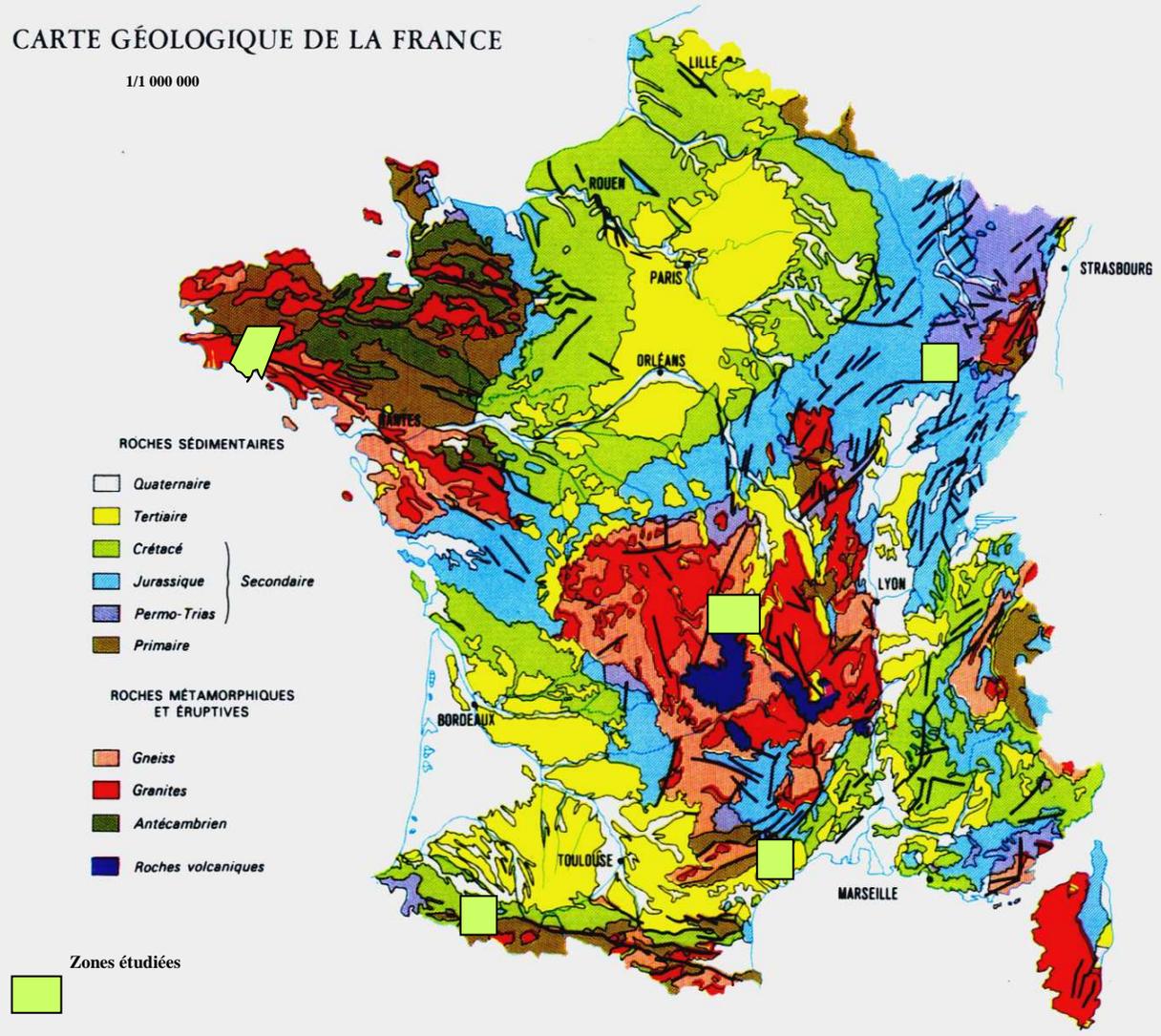
EXPOSITION LIÉE AUX ACTIVITÉS HUMAINES 0,4 - 1mSv

La principale source d'irradiation, Le radon

1,25 mSv
(1,15 ^{222}Rn – 0,10 ^{220}Rn)

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE

1/1 000 000



L'irradiation tellurique

0,41 mSv

Irradiation terrestre

Concentration dans les sols

^{40}K	420 Bq/kg
^{238}U	33 Bq/kg
^{232}Th	45 Bq/kg

Irradiation moyenne de la population: 60 nSv/h
(de 10 à 200 nSv/h)

Exposition externe d'origine tellurique (nSv/h)

Chypre	18	(9-52)	0,76 million
Islande	28	(11-83)	0,27 million
Egypte	32	(8-93)	63 millions
Pays-Bas	32	(10-60)	15,6 millions
Brunéi	33	(3-70)	0,3 millions
Royaume Uni	34	(8-89)	58 millions
France	68	(19-250)	58,5 millions
Australie	93		18 millions
Malaisie	92	(55-130)	20,6 millions
Portugal	84	(4-230)	9,8 millions

La troisième source d'exposition: le rayonnement cosmique

0,380 mSv
(0,280 Protons, 0,100 neutrons)

Radionucléides cosmogéniques

^{14}C	12 $\mu\text{Sv}/\text{an}$
^{22}Na	0,15 $\mu\text{Sv}/\text{an}$
^7Be	0,03 $\mu\text{Sv}/\text{an}$
^3H	0,01 $\mu\text{Sv}/\text{an}$

L'altitude

L'altitude (Composante cosmique:

Denver: 1600 m 570 μSv

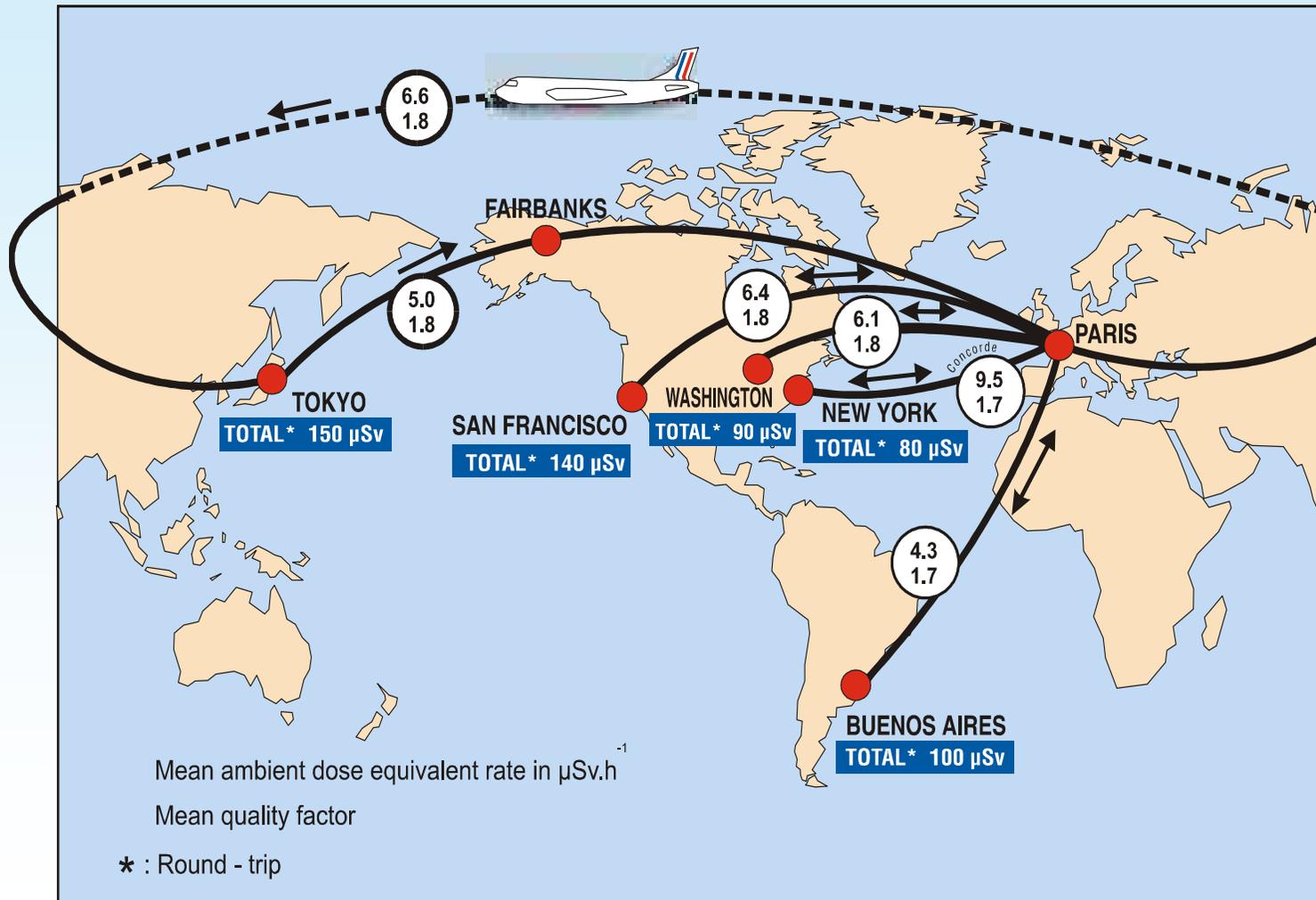
Mexico: 2240 m 820 μSv

La Paz: 3900 m 2000 μSv



En mer: 260 μSv

Mesures (1996-98)



La contamination interne naturelle

0,36 mSv

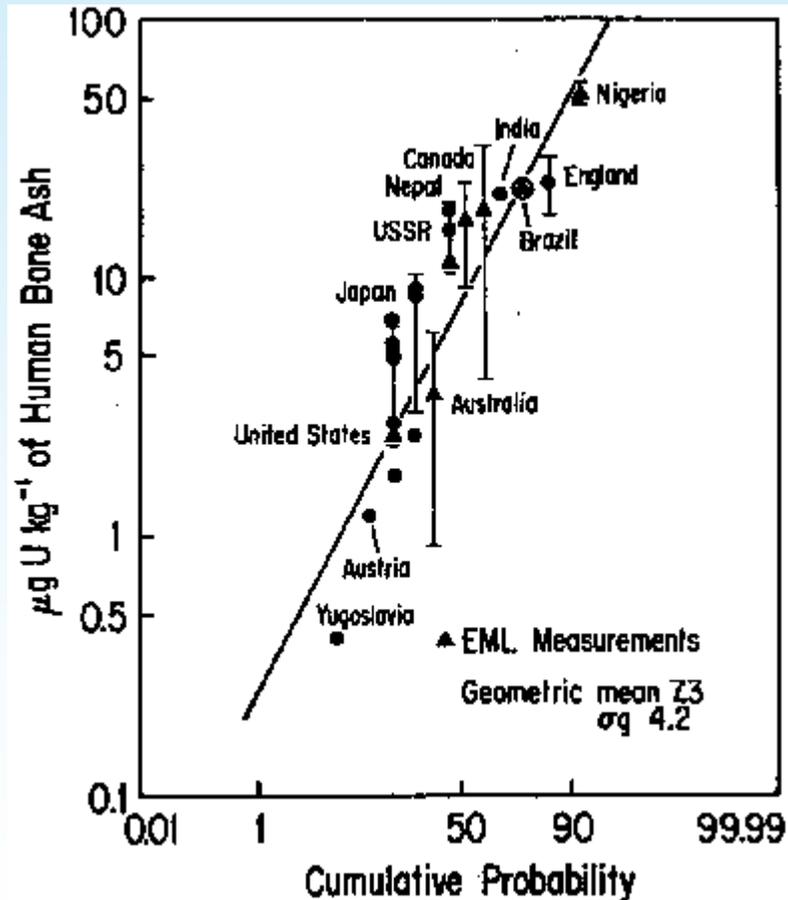


L'Uranium par exemple

-Élément ubiquiste dans les sols et les roches de la croûte terrestre, 2mg/kg (1 à 5 mg/kg), 4 mg/kg = 63 Bq/kg dans le granite

-Plus abondant que l'argent, aussi abondant que le molybdène et l'arsenic, quatre fois moins abondant que le thorium Présent dans l'eau de mer (85 mBq/l – 3.2 µg/l)

L'uranium dans l'organisme



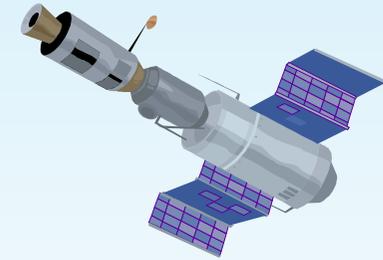
- Le contenu normal est de 90-150 μg chez l'homme à l'équilibre avec un apport journalier de 1 to 1.9 $\mu\text{g/J}$ à partir de l'alimentation et de l'eau.
- 66% l'os, 8% dans les reins, 6% dans les muscles, moins de 1% dans le foie et les poumons

L'irradiation cosmique et latitude en Chine

Région	Latitude nord	Altitude moyenne (m)	Débit de dose nSv/h
Guangdong	22°	100	29,1
Hunan	27°	250	30,0
Hubei	32°	300	31,1
Henan	34°	300	30,3
Beijing	39,5°	100	31,5
Liaoning	42°	200	31,5
Jiling	43°	500	33,2
Heilongjiang	46°	500	33,0

Pour obtenir 1 mSv

- 17 mois à Paris
- 9 mois dans le Limousin
- 1,5 jour dans la station MIR
- 7 Aller-retour Paris –Tokyo ou San Francisco
- 5 radiographies du thorax



Que nous disent les enquêtes épidémiologiques dans les zones irradiantes

Extrapoler les effets de l'irradiation naturelle d'après les données des survivants d'Hiroshima et de Nagasaki

- Darby (1991) sur la base d'une extrapolation à partir des coefficients d'Hiroshima et de Nagasaki prédit que 11% des leucémies pourrait être liées à une exposition naturelle post-natale naturelle et 4% des autres cancers
- Mais l'UNSCEAR réfute cette affirmation et déclare qu'il n'y a pas d'association significative entre le rayonnement naturel et les leucémies.

L'étude chinoise

- Wang (1993) a comparé deux régions chinoises voisines Yangjiang riche en thorium (monazite) et Taishan/Enping peu radioactive.
- Les population sont stables
- La dose à la moelle est 60 mSv en plus dans la zone riche en thorium.
- Pour les femmes le taux de mortalité est de 2,21 et 3,56 PY⁻¹, pour les hommes 3,32 et 3,82 PY⁻¹ dans les régions a taux élevé et faible

Les résultats ne sont pas significatifs mais suggèrent un taux plus bas dans la région la plus exposée

- Confirmation en 2002 par Lu-Xin Wei et T.Sugahara sur 1.698.350 PY

Mortalité par cancer dans la province de Yangjiang en Chine (1979-1995)

125079 personnes soit 1698350 personnes.an

Témoins 0,67mSv/a	Zone 1 1,83 mSv/a	Zone 2 2,10 mSv/a	Zone 3 2,46 mSv/a	Total
Tous cancers	1,07 0,90-1,27	0,998 (0,844-1,179)	0,91 0,76-1,08)	0,99 (0,87-1,14)
Leucémie	0,81 (0,31-2,01)	1,46 (0,68-3,16)	0,99 (0,40-2,40)	1,11 (0,57-2,30)
Cancers solides	1,08 (0,91-1,29)	0,98 (0,82-1,16)	0,90 0,75-1,08)	0,99 (0,86-1,14)

Mortalité par cancer chez les enfants de moins de 15 ans dans la province de Yangjiang en Chine (1979-1995)

526 enfants (384/142)

Témoins 0,67mSv/a	Zone 1 1,83 mSv/a	Zone 2 2,10 mSv/a	Zone 3 2,46 mSv/a
Leucémie	1,0	1,0	0,2
Cancers* solides	1,3	1,9	2,8

* L'augmentation des cancers solides n'est pas significative, $p=0.093$

Incidence de cancers au Kerala

Niveau de radiation mSv/an	Mortalité par cancer ajustée Pour 100000/a	Age moyen à la mort
3,2-5,3	35,66	66
1,9-3	37,42	67
0,85-1,5	37,86	67

La conclusion de l'UNSCEAR en 1994, reprise en 2000

273. It may be concluded from this and other studies reviewed in the UNSCEAR 1994 report that comparative studies of groups exposed to differing levels of natural background gamma radiation have not demonstrated any significant effects on cancer incidence.

Translocations chromosomiques

Chine **I.Hayata *et al*, 2002**

- La contribution de l'irradiation sur les translocations chromosomiques ne sont pas détectables dans les zones chinoises fortement irradiantes.
- Par contre le tabac augmente la fréquence des aberrations chromosomiques. Ceci peut expliquer qu'on ne puisse rien voir pour l'irradiation.

Kerala **M.V.Thampi *et al*, 2002**

- Une analyse sur 10230 nouveaux nés (8493/1737) ne montre pas de différence au niveau des translocations chromosomiques

Malformations congénitales au KERALA

Comparaison de deux zones, l'une 4 fois plus irradiante que l'autre (5 et 1,2 mSv/an)

MALFORMATIONS: 893 malformations pour 54103 nouveaux nés (vivants et fausses couches)
1,67 pour la zone la plus irradiante contre 1,60:
NON SIGNIFICATIF

TRISOMIE 21: mères de 24,3 ans (8% plus de 30 ans), pas de différence entre les deux zones

Le cas de Ramsar (Iran)

- Dans certaines parties de Ramsar ville proche de la mer Caspienne, 2000 personnes reçoivent jusqu'à 260 mSv/an (moyenne 6 mSv/a). Ces personnes, sont installées dans la région depuis plusieurs générations.
- Des études cytogénétiques ne montrent aucune différence avec les zones témoins (moyenne 0,7 mSv/a)
- Une étude in vitro d'irradiation des lymphocytes montre une diminution significative des aberrations chromosomiques après irradiation à 1,5 Sv gamma (56%)
- Ceci suggère qu'une réponse adaptative a pu être induite par l'irradiation chronique naturelle élevée

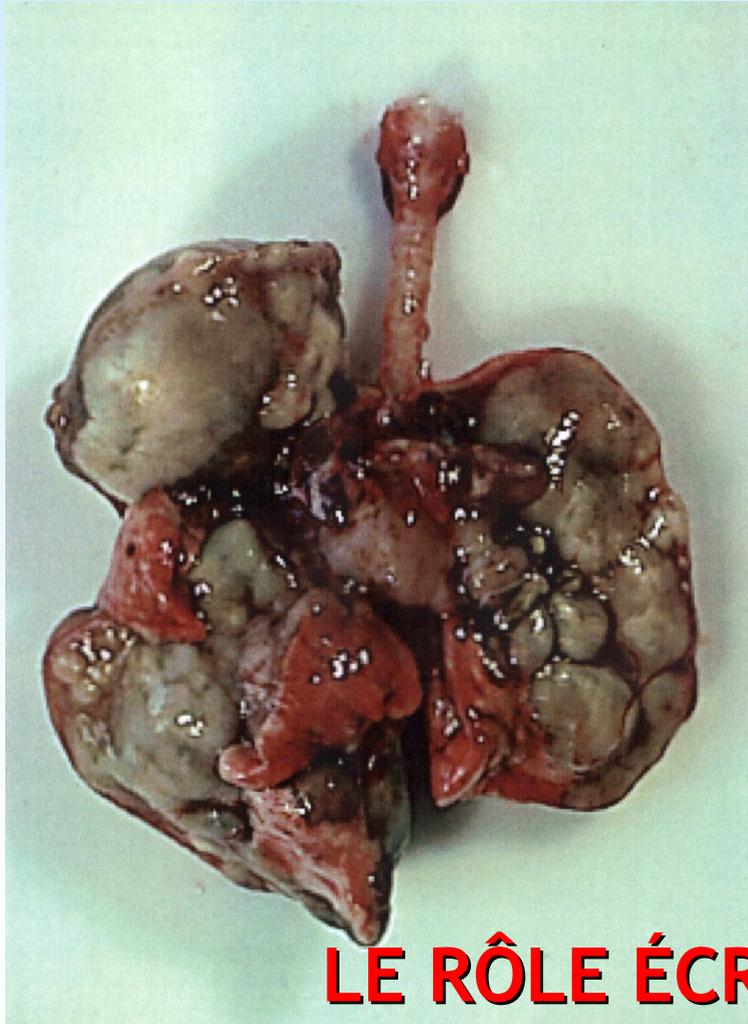
Pour le Radon

- Certaines études suédoises (Pershagen *et al*, 1994) montrent une tendance significative du risque en fonction de l'exposition dans les maisons,
- D'autres études canadiennes (Letourneau *et al*, 1994) et deux études finlandaises (Ruosteenoja, 1991, Auvinen *et al*, 1994) ne montrent aucune augmentation du risque
- Une autre étude dans le Missouri (Alavanja *et al*, 1994), et une autre de Lubin (1995) ne montrent pas de tendance positive en fonction de l'exposition au radon.

Valeurs citées dans les recommandations

- **Union européenne (seuils d'action)**
 - habitations actuelles : **400 Bq/m³**
 - habitations nouvelles : **200 Bq/m³**
- **Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France**
 - établissement recevant du public : **1 000 Bq/m³**
- **Valeurs retenues par les pouvoirs publics français**
 - seuil d'alerte : **1 000 Bq/m³**
 - objectif de précaution : **400 Bq/m³**

Si votre maison dépasse 400 Bq/m³



- Plus de 90% des cancers que l'on lie au radon sont dus au tabac
- Pour les fumeurs habitant des maisons à radon, la meilleure prévention est d'arrêter de fumer

LE RÔLE ÉCRASANT DU TABAC

Comparer ce qui est comparable

Tabac - Radon ?

Réduire la concentration en radon $\leq 200 \text{ Bq.m}^{-3}$
équivalent à diminuer le nombre de fumeurs de
0,05 %

Ayotte ; Health Physics 1998

habitations individuelles 1.250.000, collectives 200.000

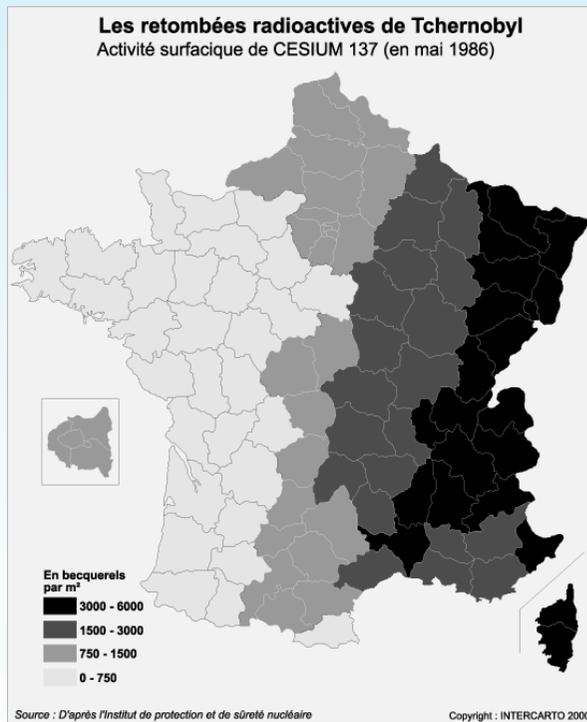
Les limites de l'épidémiologie

Pour mettre en évidence de façon significative des cancers radio-induits, il faut suivre entre 10 à 30 ans :

- ◆ 1000 individus si l'exposition est de l'ordre de 1 sievert par personne
- ◆ plusieurs dizaines de milliers d'individus pour 1/10 de sievert
- ◆ 10 000 000 d'individus pour 1/100 de sievert

Se méfier des corrélations hâtives

Le Césium



Le Pen en 2002



Et les activités humaines

L'irradiation médicale

Evolution du nombre d'examens de 1988 à 2000
(UNSCEAR 2000)

	Nb d'examens en millions en 1988	Nb d'examens en millions en 2000
Radiologie X	1380	1910
Odontologie	340	520
Médecine nucléaire	23,5	32,5

L'irradiation médicale

Comparaison européenne des doses reçues mSv par an et par habitant, par l'imagerie radiologique diagnostique (UNSCEAR 2000)

Allemagne	1,9
France	1,0
Norvège	0,8
Portugal	0,71
Suède	0,68
Hollande	0,6
Finlande	0,45
Espagne	0,4
Danemark	0,36
Royaume Uni	0,33

L'irradiation médicale

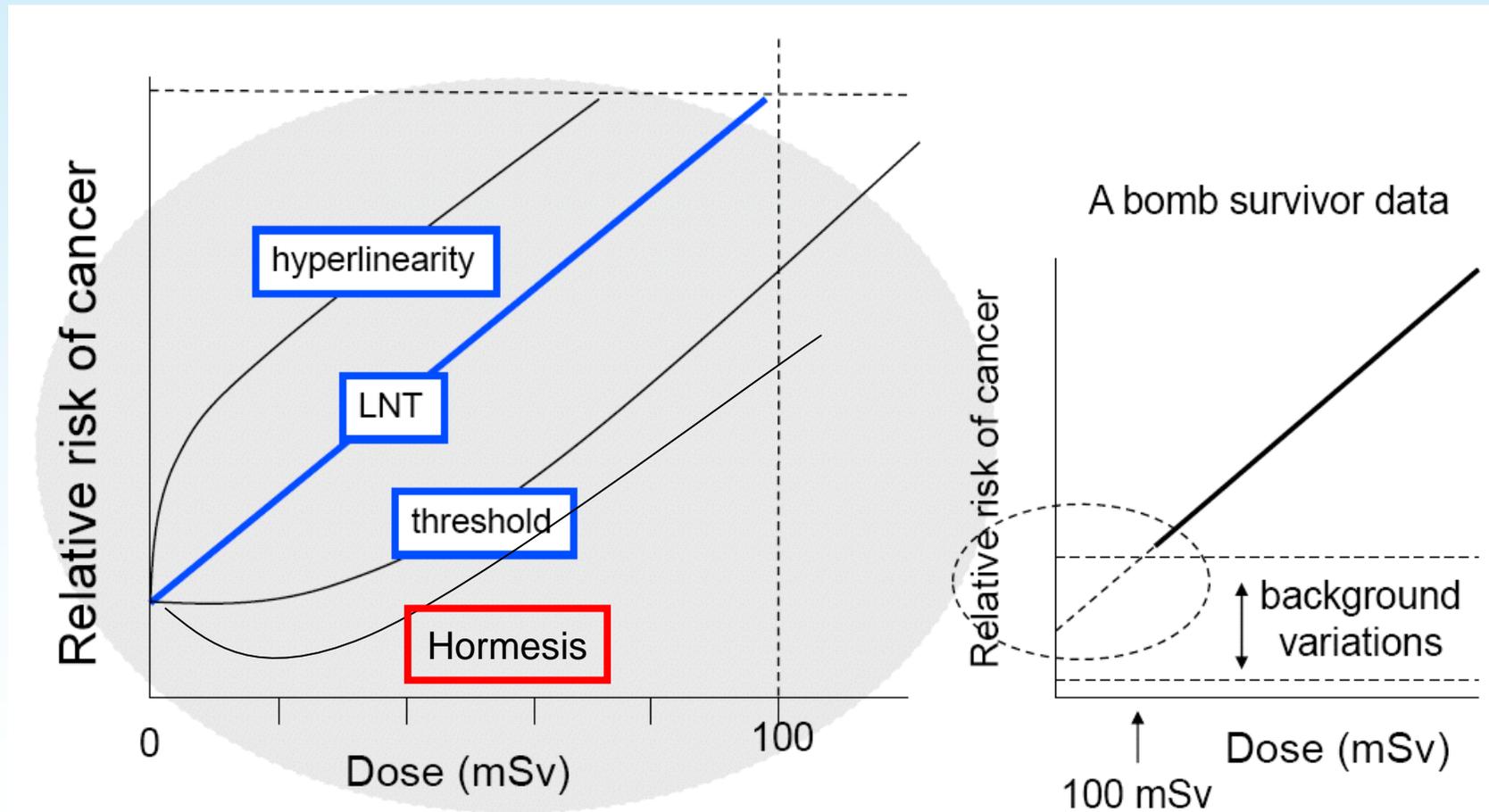
Comparaison entre l'irradiation naturelle et un examen radiologique (UNSCEAR 2000)

Panoramique dentaire	1 jour
Radiographie des poumons	3 à 15 jours
Scintigraphie thyroïdienne	1 mois
Rachis lombaire	6 à 7 mois
Scanner thoracique	4 ans
Scanner abdominal	5 ans

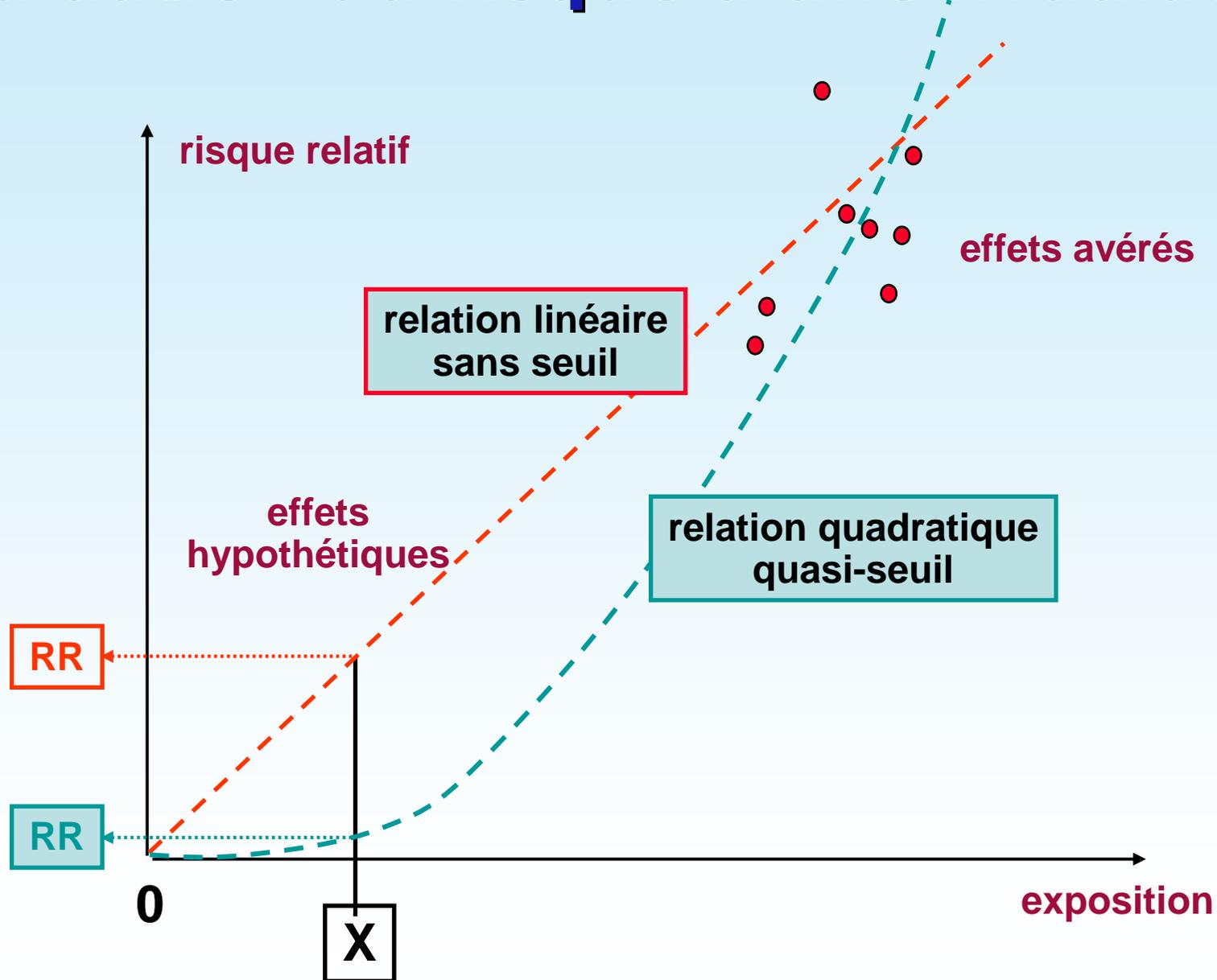
L'exposition professionnelle

Secteur d'activité ou établissement	Travailleurs surveillés	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne ^b (mSv)	Effectifs dont la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv
Activités médicales et vétérinaires	159 116	11,72	0,07	30
Industrie (effectif classé "non nucléaire"), divers	41 789	21,02	0,50	8
Recherche, IPN, CNRS, CEA	18 634	1,02	0,05	0
Industrie nucléaire	54 347	31,03	0,57	2
Total	273 886	64,79	0,24	40

L'approche actuelle de protection



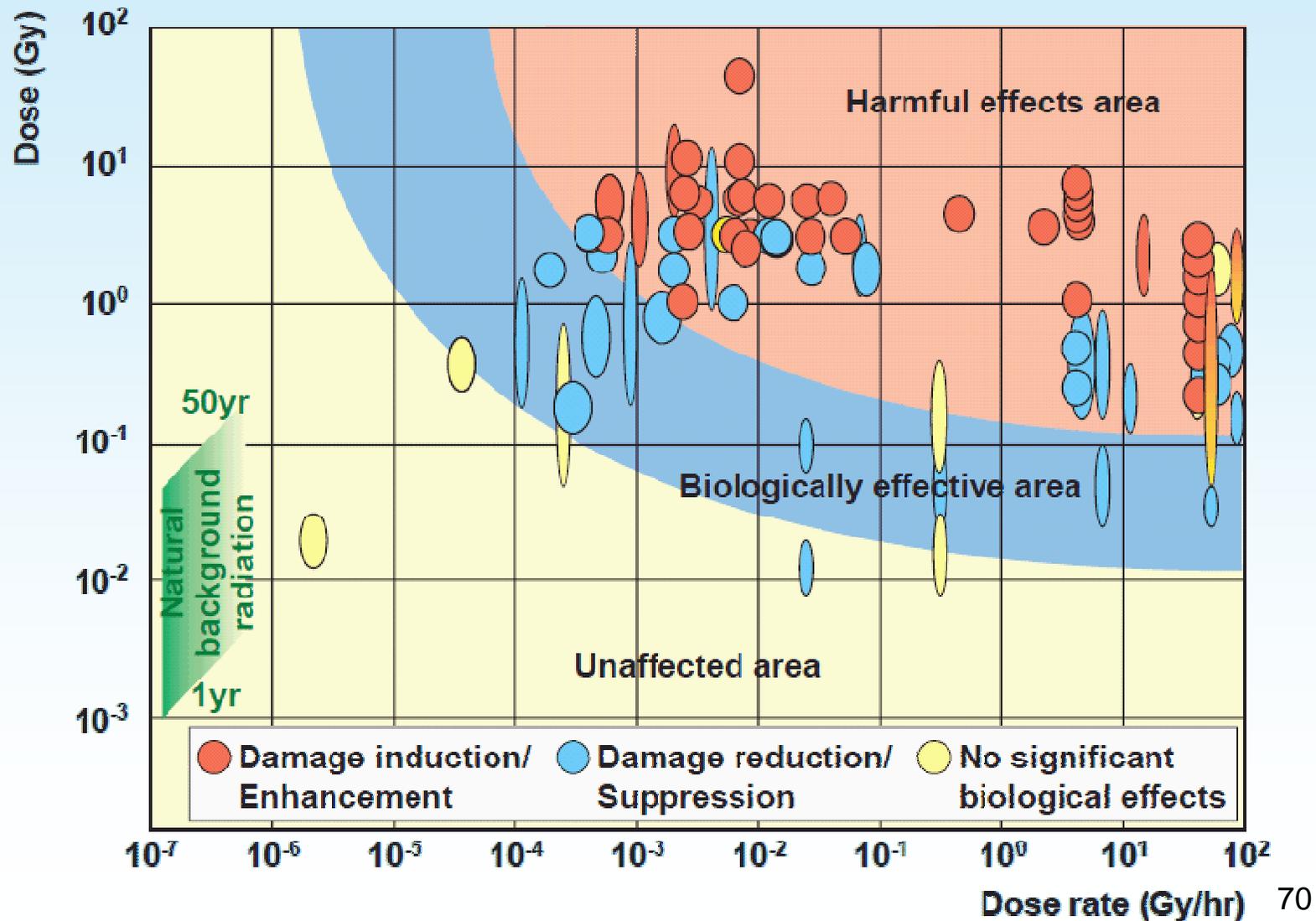
évaluation du risque d'une irradiation



L' Hypothèse LNT permet

- Moyenner et additionner les doses
- De définir la dose efficace
- De définir la dose engagée et la dose collective
- D'avoir une gestion administrative

Dose / Dose Rate Map of Biological Effects of Ionizing Radiation

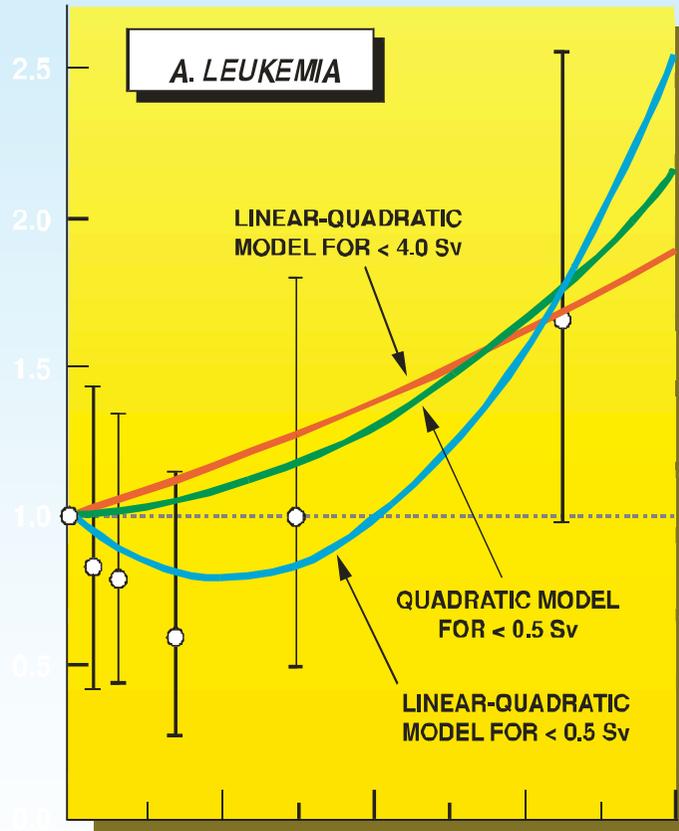


D'après Kazuo SAKAI

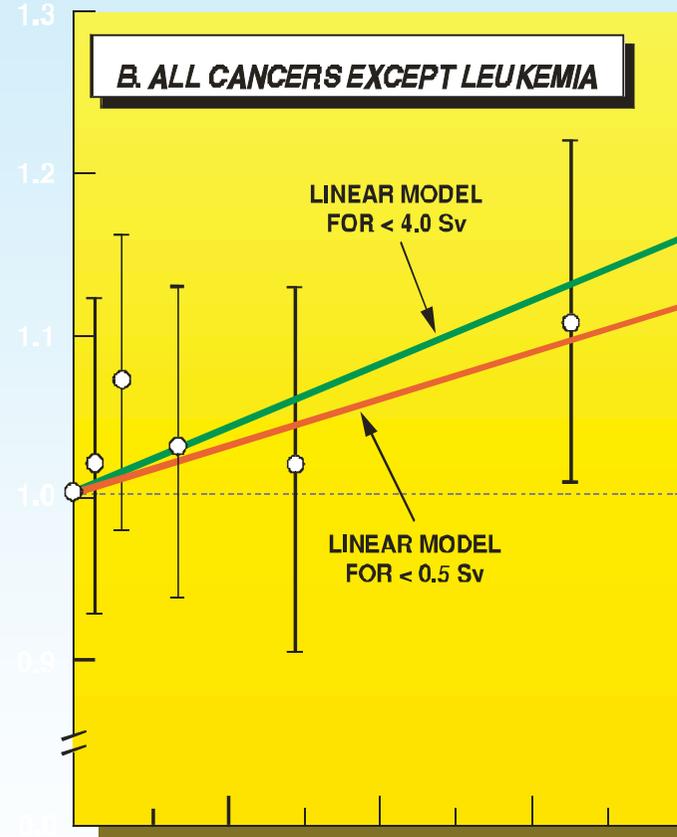
Hiroshima - Nagasaki

Deux Types de Réponses

RELATIVE RISK



RELATIVE RISK



d'après Y. SHIMIZU
(1992)

Une estimation pessimiste du risque stochastique en 2007 (% Sv⁻¹)

Cancers Effets
 héréditaires Total

	1990	2006	1990	2006	1990	2006
Population totale	6,0	5,5	1,3	0,2	7,3	6
Adultes	4,8	4,1	0,8	0,1	5,6	4

Un changement d'attitude

Un peu moins de totalitarisme
De nouvelles données scientifiques
Une surenchère de certains

Bref, un débat toujours aussi vif, aussi pollué

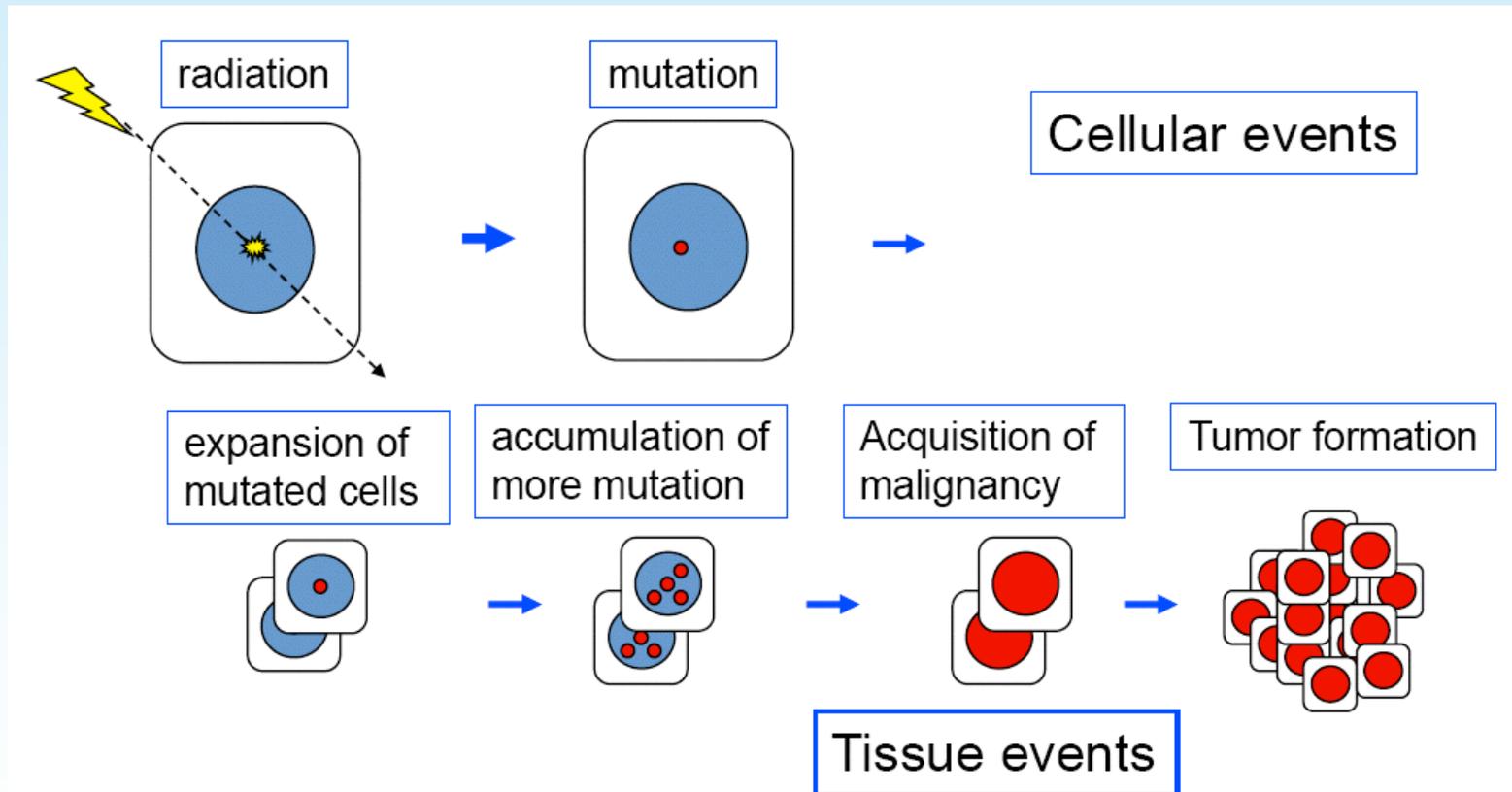
La querelle des académies

Académie des Etats Unis (BEIR VII) vs
Académies de médecine et de Sciences françaises

Aucune preuve épidémiologique d'un effet cancérigène chez l'adulte pour des doses inférieures à 100 mSv (USA et Fr), peut être 50 mSv chez l'enfant (USA)

L'UNSCEAR et BEIR VII (USA) prédisent un excès de leucémies et autres cancers de l'enfant pour des expositions *in utero* de 10 à 20 mSv, le CIRC (OMS) conteste ces affirmations

Paradigme actuel, trop naïf



**Que savons nous réellement
sur les mécanismes de cancérogénèse?**

De l'ADN à l'organe

Si les phénomènes physiques initiaux sont proportionnels à la dose, la nature et l'efficacité des mécanismes de défense varient selon la dose et le débit de dose, induisant dans la relation dose-effet de fortes non-linéarités.

Les mutations sont à la base du modèle cellulaire

Mais si le cancer a bien une origine clonale, c'est un processus tissulaire

Le dogme n'est plus totalitaire

(63) Although there are exceptions, for the purpose of radiological protection the Commission judges that below around 100 mSv, it is scientifically reasonable to assume that the incidence of cancer or hereditary effects will rise in direct proportion to an increase in the equivalent doses.

*Use of so-called LNT is considered by the commission to be the **best practical approach** to managing risk from radiation exposure*

Et d'en tirer les conséquences

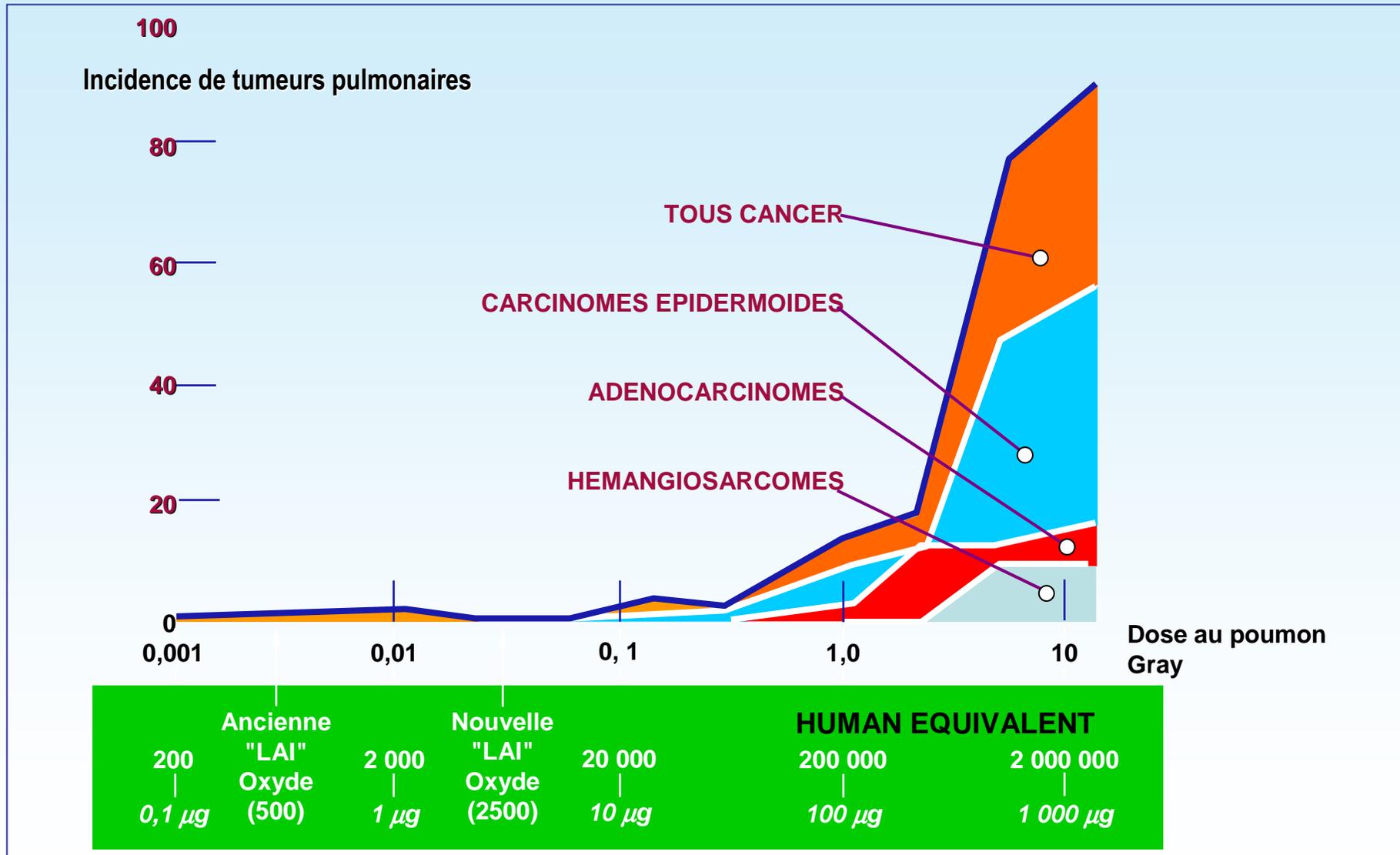
*Because of this uncertainty on effects at low doses the Commission judges that **it is not appropriate**, for the formal purposes of **public health**, to calculate the **hypothetical** number of cases of cancer that might be associated with **very small radiation doses** received by large numbers of people over very long periods of time.*

L'erreur de Tchernobyl

**Autre remise en cause
du dogme**

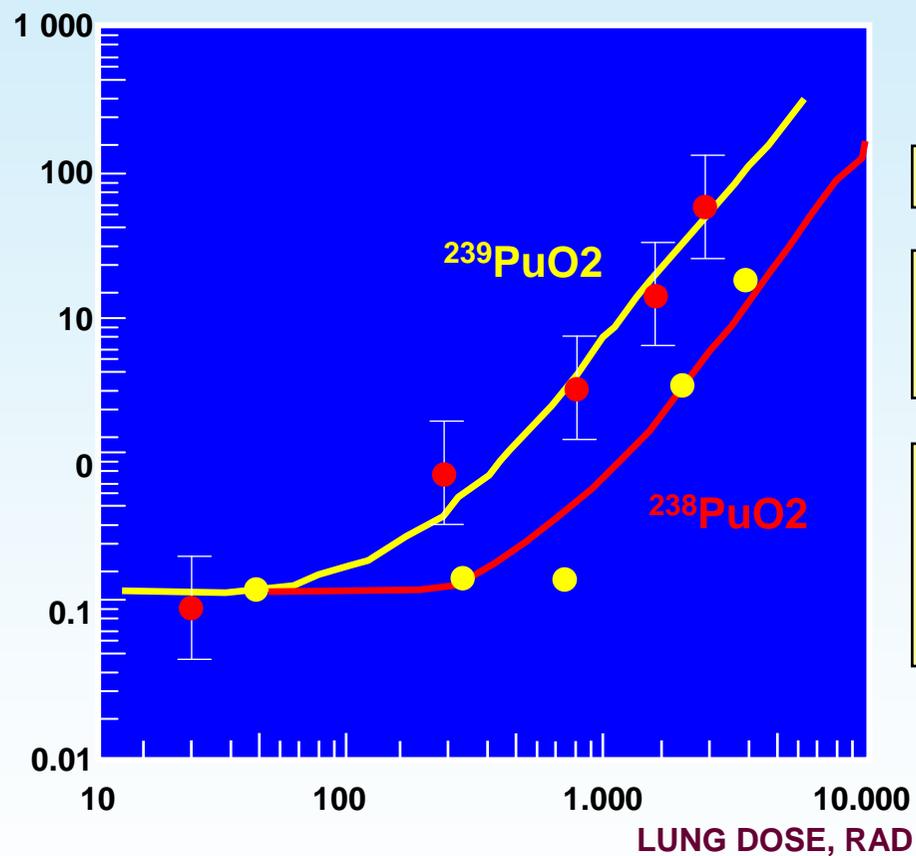
La contamination interne

$^{239}\text{PuO}_2$ inhalé, un seuil



D'après C.L. SANDERS et al.

Confirmé chez le chien



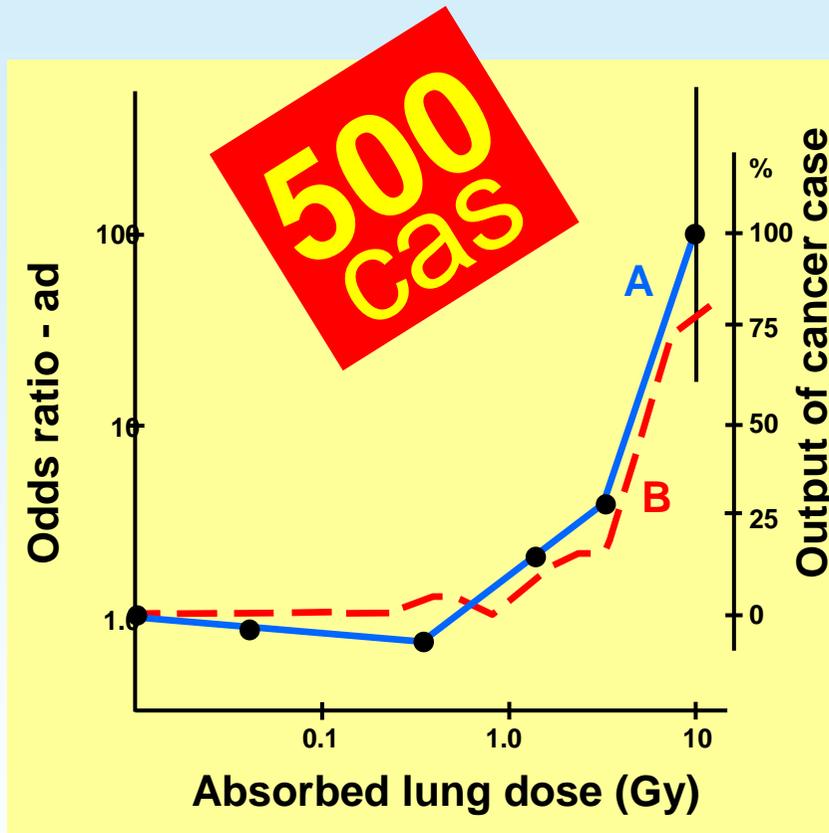
● LA REGRESSION LINEAIRE EST REJETEE

● LA REGRESSION LINEAIRE QUADRATIQUE POSSIBLE EST MOINS BONNE QUE LA REGRESSION QUADRATIQUE PURE

● LE RISQUE RESULTANT DE L'INHALATION DE $^{239}\text{PuO}_2$ EST PLUS GRAND (57 pour 10^4 par Gy) QUE CELUI RESULTANT DE L'INHALATION DE $^{238}\text{PuO}_2$ (1 pour 10^4 par Gy), $p < 0.001$

D'après J.F. PARK et al. 1991

Mayak vs Sanders



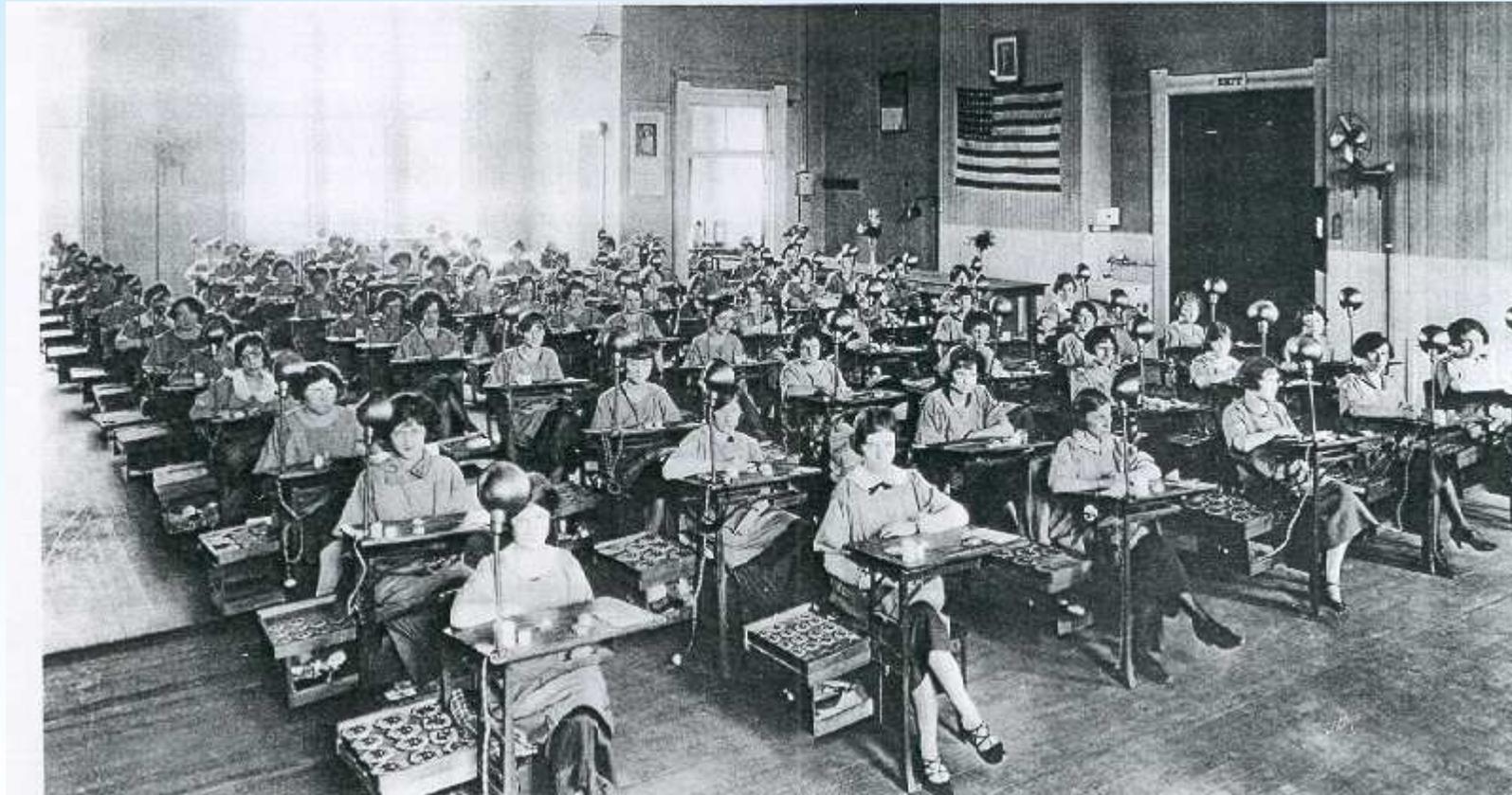
Cancers Pulmonaires après inhalation de $^{239}\text{PuO}_2$

A Mayak.

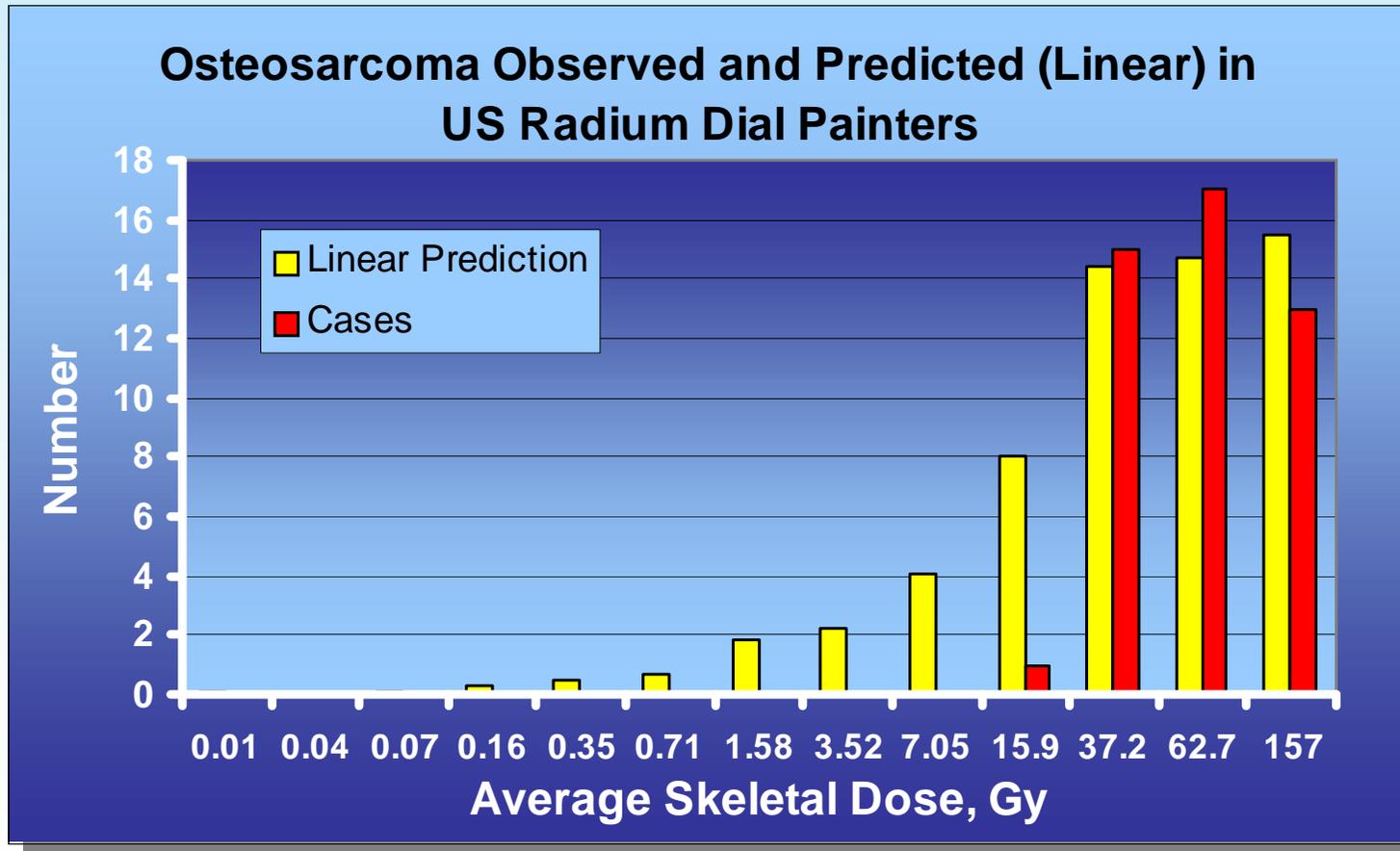
B Résultats Experimentaux
Chez le rat,
Sanders - 1988

D'après Z.B. TOKARSKAYA 1997

Dial painters



Déficit d'Osteosarcomes



L'inhalation de $^{239}\text{PuO}_2$

Effets non ciblés; Effet de proximité,

Relation entre les effets biologiques et les effets sur la santé

Low and High LET,
Exposition chronique ou aigue, etc.

Réponse
Supralinéaire
Chez les cellules
vs
Linéaire quadratique
ou seuil dans les
organes

Challenges Scientifiques

- Les modèles linéaires surestiment le risque de cancer de l'os, de cancer du foie et de la leucémie à faibles doses alpha
- Il peut exister une dose seuil au-dessous de laquelle aucun effet n'est observé dans les tissus-cibles
- Les faibles doses alpha peuvent ne pas présenter aucun risque
- Nous devons comprendre pourquoi des seuils apparents sont observés ici et pourquoi ils ne sont pas aussi évident dans la plupart des autres études

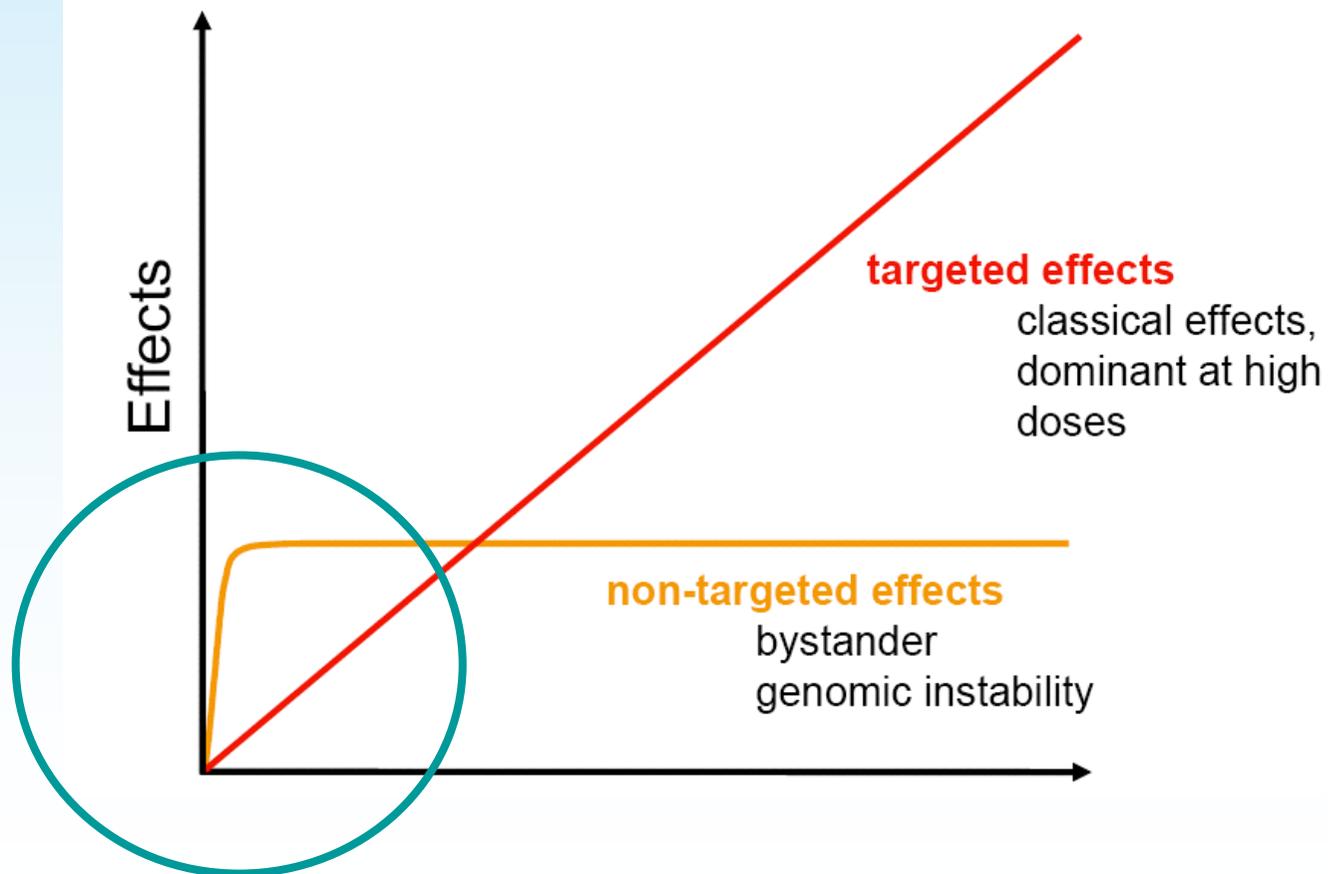
From N.Priest 2004

Les Challenges biologiques

- Effet de proximité (bystander effect)
- Réponse adaptative
- Instabilité génomique
- Sensibilité individuelle

Les effets de proximité

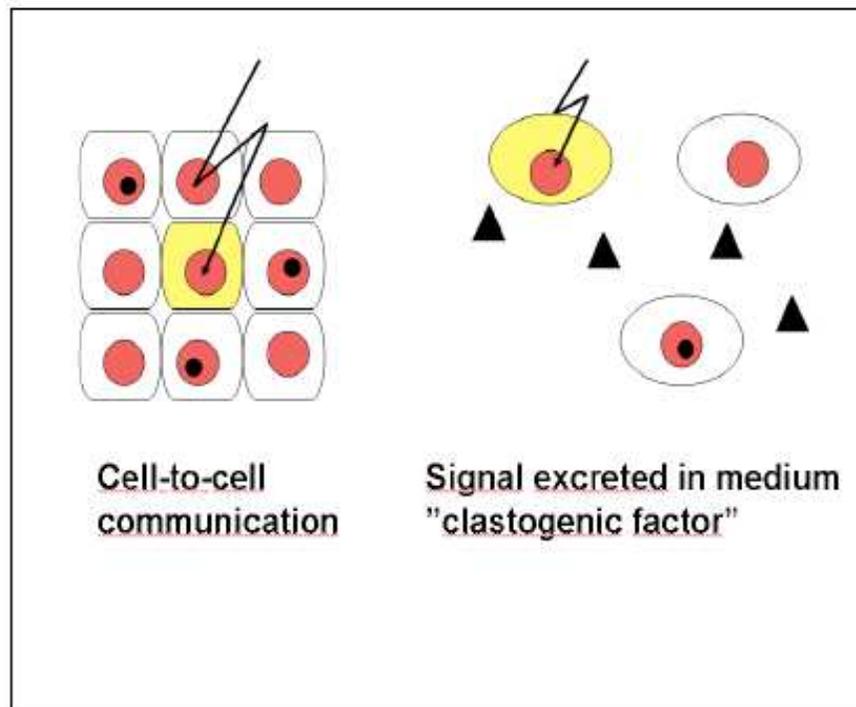
Low-dose effects



Les Challenges biologiques

L'effet de proximité

Signalling of bystander response



Des systèmes de signalisation intercellulaire informent chaque cellule sur le nombre de cellules environnantes ayant été lésées

Le processus de cancérogenèse se heurte alors à des mécanismes de défense à l'échelle du tissu

Effets non ciblés

L'épidémiologie des survivants d'Hiroshima et de Nagasaki (au dessus de 100 mSv) incluent obligatoirement les effets de proximité

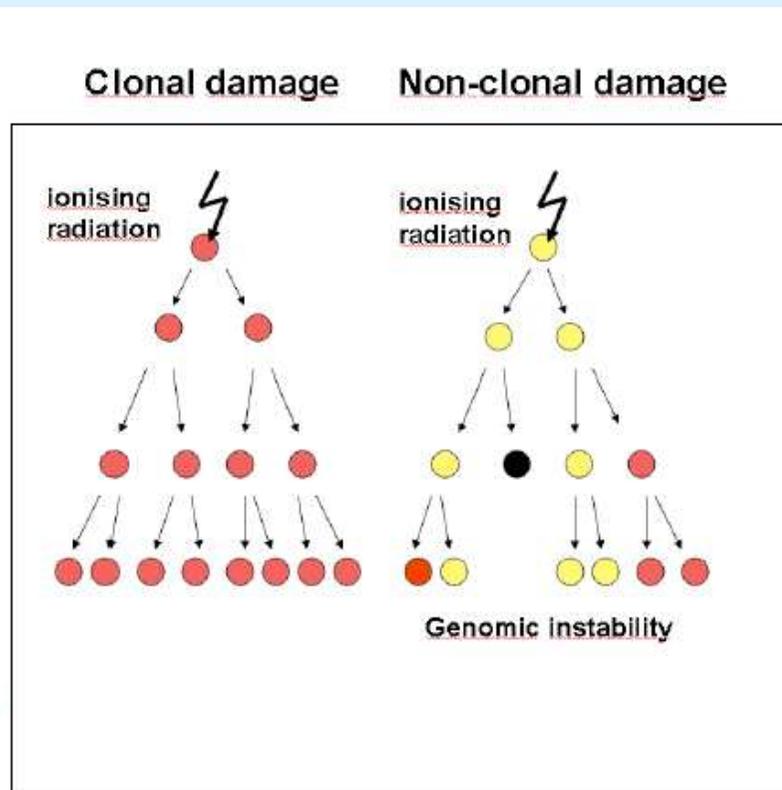
Quel est le rôle de ces effets aux faibles doses?

Les Challenges biologiques

La surveillance immunitaire

Les systèmes de surveillance mis en œuvre par les cellules saines sont capables d'éliminer des clones de cellules transformées, comme le montrent les échecs de greffes de cellules tumorales ainsi que la forte augmentation de la fréquence de certains cancers chez les sujets immunodéprimés.

L'instabilité génomique



L'instabilité génétique est un événement permanent, elle est produit par les rayonnements ionisants mais aussi par d'autres agents.

Il est très difficile de maintenir intact son génome.

Sensibilité individuelle

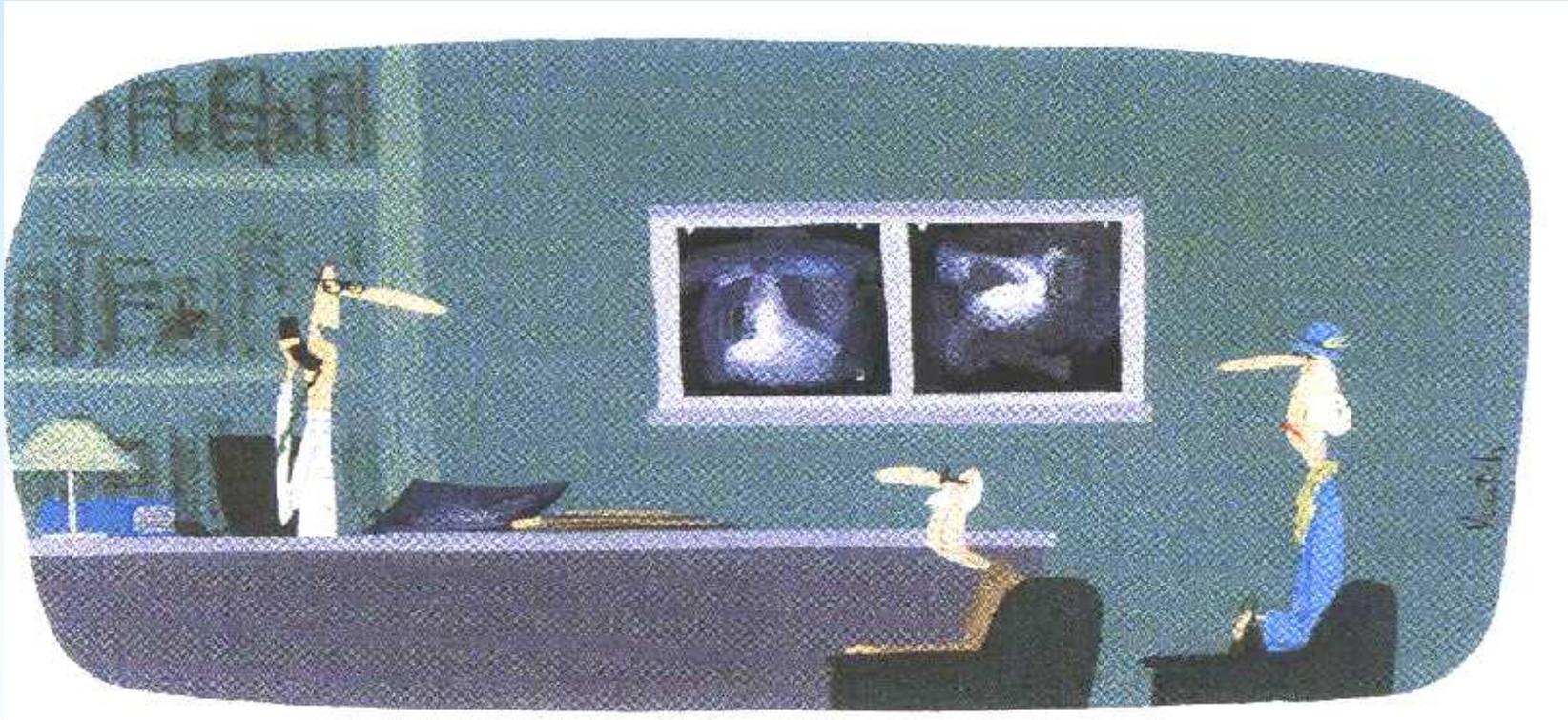
Réelle et problématique pour la radiothérapie
(5% des patients)

- Ataxie Téléangectasie, augmentation du risque d'un facteur 250 pour les lymphomes et les cancers du sein
- Anémie de Franconi
- Anomalie au niveau des gènes BRCA1 et BRCA2

Mais rien au niveau des faibles doses

Sans compter le problème éthique

Le problème éthique



Darling, can I call you back later?
I'm in a meeting with a future widow and her husband.

Les Challenges biologiques

- Effet de proximité (bystander effect)
- Réponse adaptative
- Instabilité génomique
- Sensibilité individuelle

La CIPR remarque que les données biologiques ne sont pas assez claires et concluantes au niveau des faibles dose et qu'il n'y a pas de raison d'en tenir compte aujourd'hui.

Le risque *in utero*

La CIPR estime qu'il y a un seuil aux environs de 100 mGy en dessous duquel le risque de malformations n'existe plus

Elle fixe le même seuil pour les effets sur le quotient intellectuel

Par contre elle estime que le risque de cancer à long terme pour l'embryon et fœtus est le même que pour l'enfant

Le risque héréditaire

Bien qu'il n'existe toujours pas d'évidence d'un risque héréditaire chez l'homme, la CIPR maintient son approche prudente mais diminue le risque pour les deux générations de 1,3% par Sv à 0,2% par Sv

1977, CIPR 26	$W_T = 0,25$
1990, CIPR 60	$W_T = 0,20$
2008, CIPR 103	$W_T = 0,08$

The Genetic Risk Estimate – 1991 and Now

- In 1991: based on UNSCEAR 1988, DD in mice, extrapolated to theoretical equilibrium (many generations)
- Now: based on UNSCEAR 2001, DD based on humans and mice, 2 generations only since extrapolation to equilibrium makes incorrect assumptions
- UNSCEAR 2001, BEIR VII: 2 generations and similar risks
- Radiation induces multigene deletions of low fitness
→ selection will remove most in 2 generations →
2-generation risk close to theoretical equilibrium

Les maladies non cancéreuses

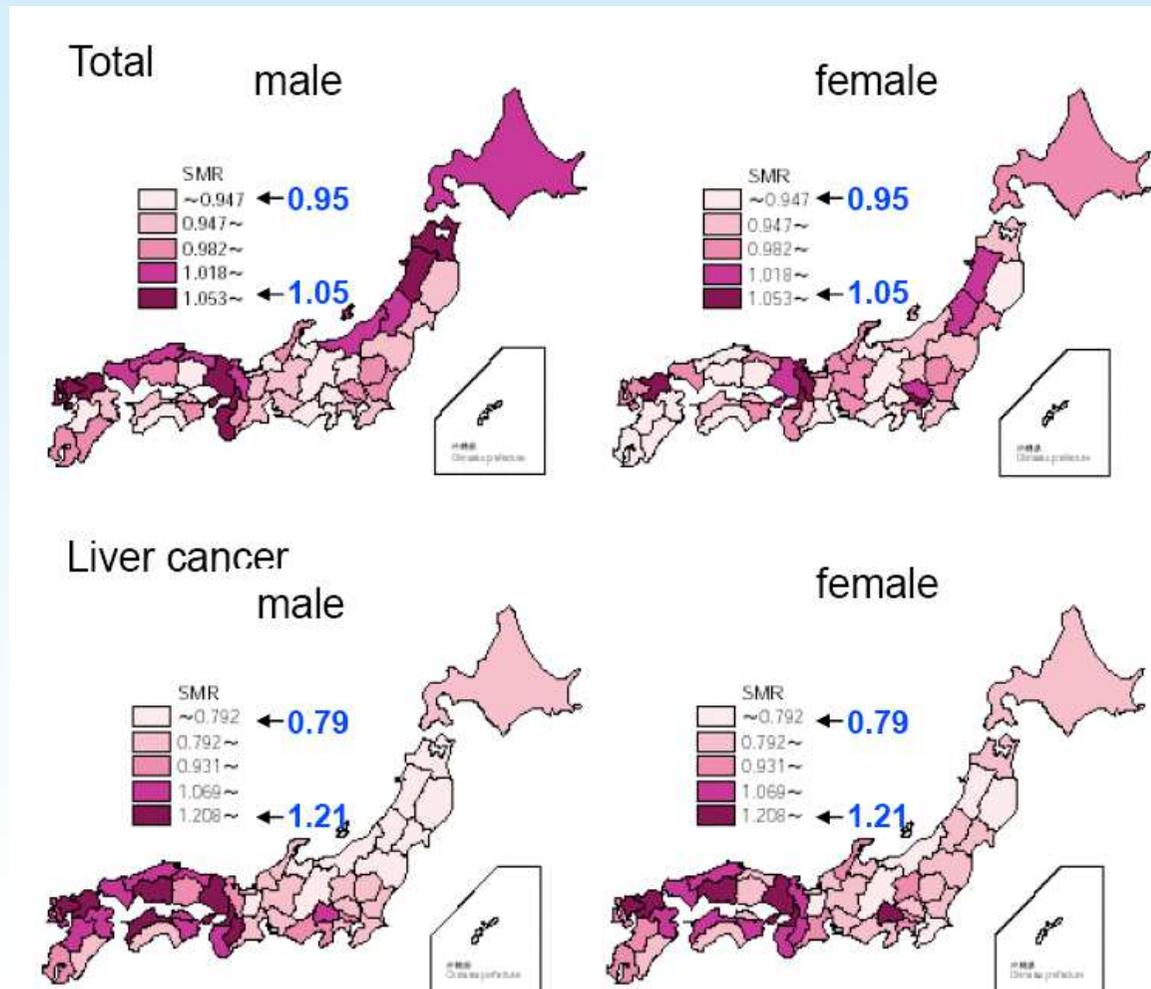
Bien qu'observées à forte doses (radiothérapie par exemple) la CIPR n'estime pas utile de prendre en compte ces maladies pour la protection des faibles doses.

Maladies cardiovasculaires

Très net en radiothérapie dès 5 Gy

Hiroshima-Nagasaki, rien au dessous de 0,5 Gy

Une large variation de risque



L'exemple du Japon montre qu'une population peut accepter des variations de mortalité par cancer de plus de 10%

Quelques sites

www.sfrp.asso.fr

www.irsn.org

www.asn.gouv.org

www.laradioactivite.com

www.icrp.org

www.iaea.org

Merci

