

**Effets sanitaires des faibles doses
de rayonnement ionisant :
quelques éléments pour alimenter
la réflexion**

J. Treiner

LIED et Shift Project

jtreiner@orange.fr

Institutions officielles (à consulter)

CIPR : Commission internationale de protection radiologique

**UNSCEAR : United Nations Committee on the Effects of
Atomic Radiation**

IRSN : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

ASN : Agence de sûreté nucléaire

Nombre de décès pour 1000 TWh d'électricité produits

Table 1. Number of deaths per 1000 TWh of final energy for different energy production techniques.

Technique	Deaths per 1000 TWh
Coal (world)	170 000
Coal (China)	280 000
Coal (US)	15 000
Oil	36 000
Natural gas	4 000
Biomass	24 000
Solar PV	440
Wind	150
Hydroelectricity	1 400
Nuclear	90

Note: For nuclear energy, the Chernobyl and Fukushima victims are accounted for. Data from Forbes [41].

Comparaison radiation/tabac

Table 2. Equivalence in terms of mortal cancer risk between irradiation and cigarette smoking.

	Dose (mSv y ⁻¹)	Equivalent in cigarettes yr ⁻¹
Total natural irradiation	3	150
Radon	2	100
Cosmic rays	0.3	15
Medical x-rays	0.4	20
One year at 2000m altitude	0.8	40
Public individual irradiation due to nuclear plants	0.0005	0.025
Average irradiation in France due to Chernobyl during the first year after the accident	0.05	2.5

Comparaison radiation/tabac

Table 3. Equivalence in terms of mortal cancer risk between the number of cigarettes inhaled and irradiation rules.

	Maximum dose (mSv yr ⁻¹)	Equivalent in cigarettes yr ⁻¹
Professionals	20	1000 (3 per day)
Public	1	50
Evacuation limit around Chernobyl	5	250
Resettlement limit around Fukushima	20	1000

unités

activité : désintégrations par seconde

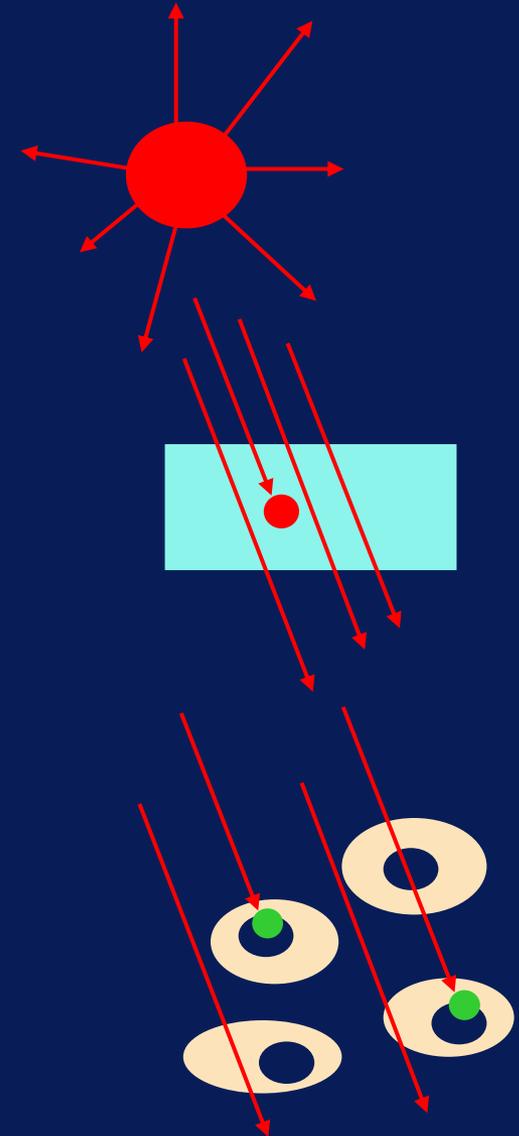
- becquerel **Bq** : 1 désintégration / seconde
- curie **Ci** : 37×10^9 Bq (37 GBq)

dose : énergie absorbée / masse de matière

- gray **Gy** : 1 joule / kilogramme
- faible dose ≤ 100 mGy

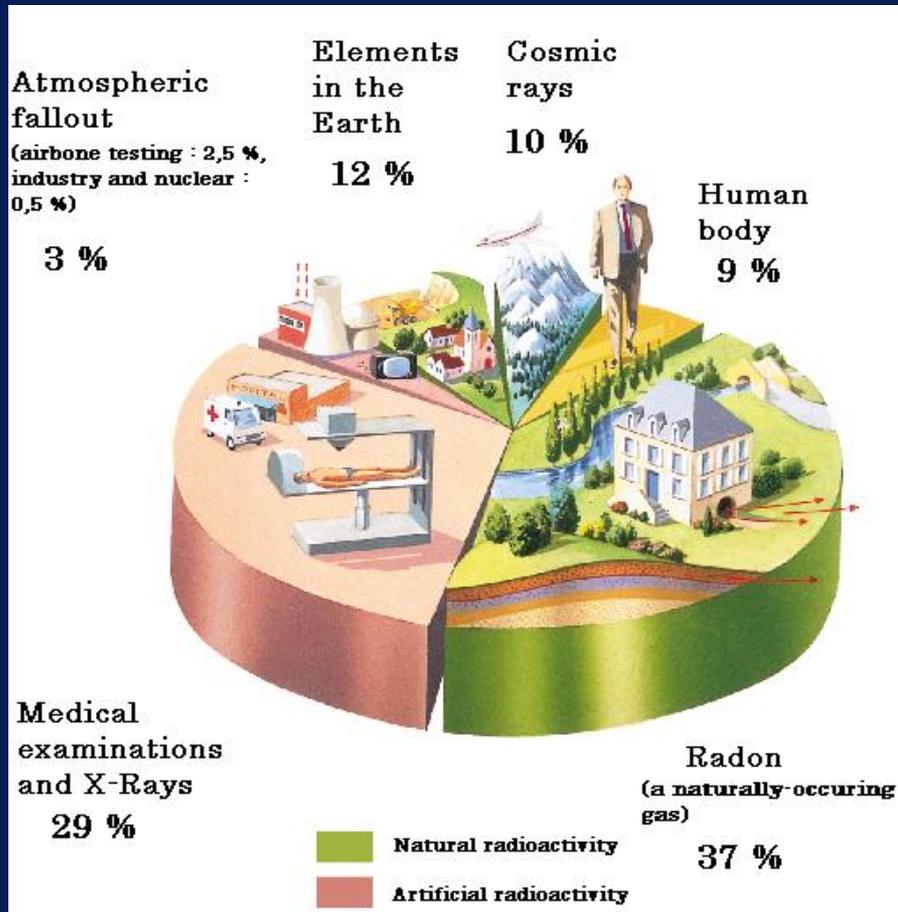
dose efficace : indicateur du risque global

- dose absorbée $\times W_R \times W_T$
- sievert **Sv**
- $W_R = 1$ pour RX, beta et gamma
- $W_T = 0.05$ pour la thyroïde



Irradiation

naturelle renforcée médicale retombées



corps humain 30 %
tellurique 12 %
r. cosmiques 10 %

radon 37 %

médical 29 %

essais nucléaires 2,5 %
industrie 0,5 %

irradiation naturelle

irradiation externe

cosmique	0,4 mSv / an (X 2 / 1500 m altitude)
tellurique	0,4 mSv / an

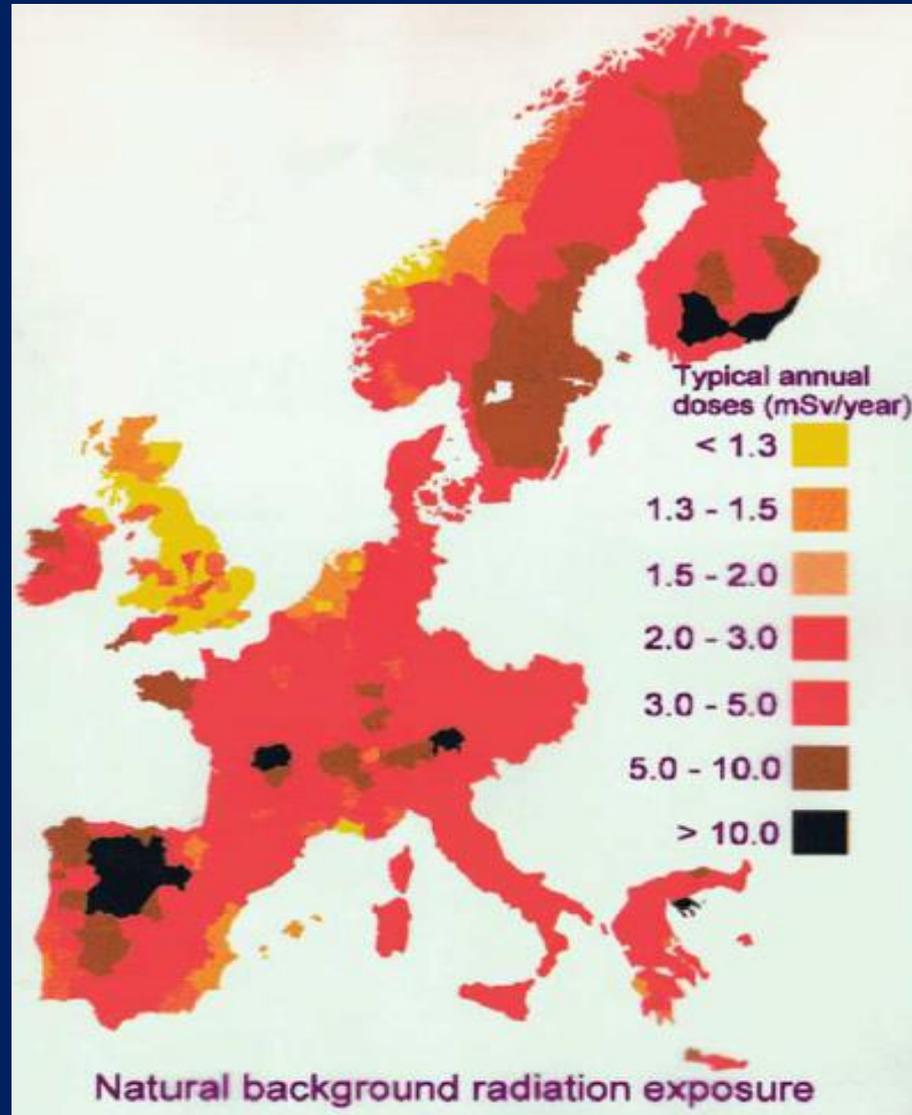
irradiation interne

^{220}Rn & ^{222}Rn	1,2 mSv / an
^{40}K	0,2 mSv/an
autres	0,2 mSv/an

irradiation naturelle totale

France	2,5 à 5,5 mSv / an
Paris	2,5 mSv / an
Monde	2,5 à 70 mSv / an (max en Iran et au Kérala)
# 10^9 ionisations / s (70 kg.)	

Niveau d'irradiation naturelle



irradiation d'origine humaine

retombées des essais nucléaires
quelques μSv / an

industrie nucléaire

en France **0,015 mSv / an**

Tchernobyl **0,4 mSv en 1986**

0,07 mSv / an 1987 - 1996

0,04 mSv / an 1997 - 2046

irradiation médicale

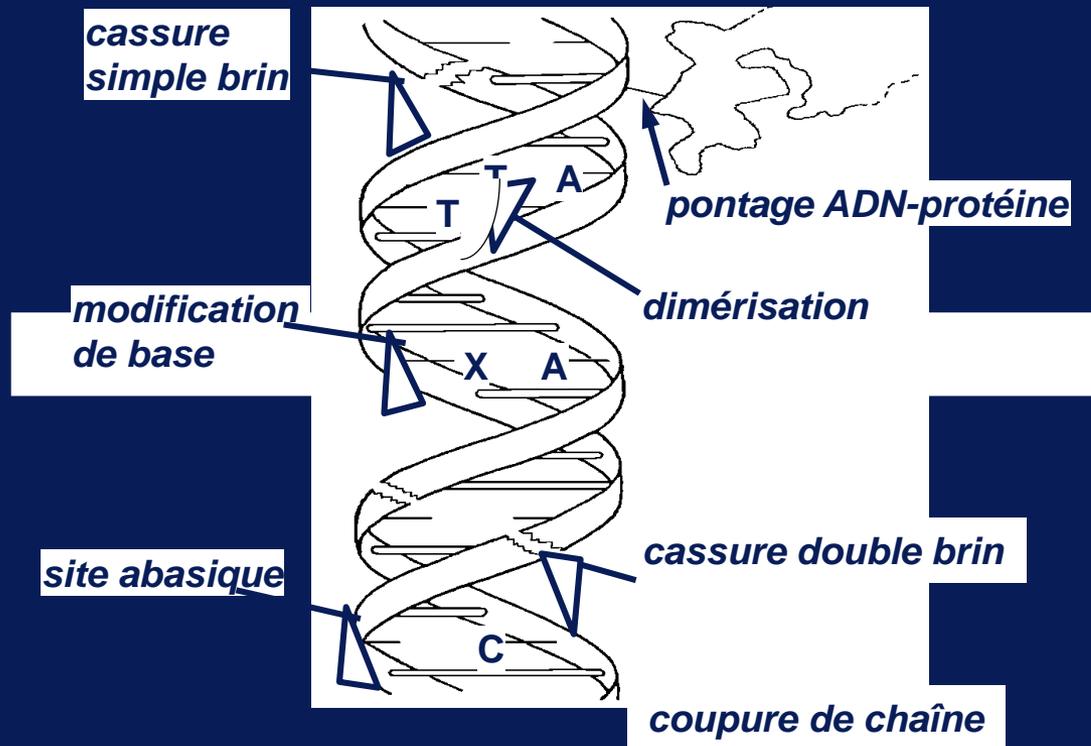
0,8 mSv / an en France

très hétérogène (sujets âgés)

La cancérogenèse

lésions de l'ADN

- ionisations
- radicaux libres très réactifs
 H_2O_2 ou peroxydes RO_2



métabolisme oxydatif

- cassures simple brin
3 000 / j / cellule
- lésions de base
3000 / j / cellule
- cassures double brin
8 / j / cellule

réparation d'une lésion monobrin d'ADN



cassure simple brin



section du brin : **endonucléase**



élimination



synthèse brin : **polymérase**

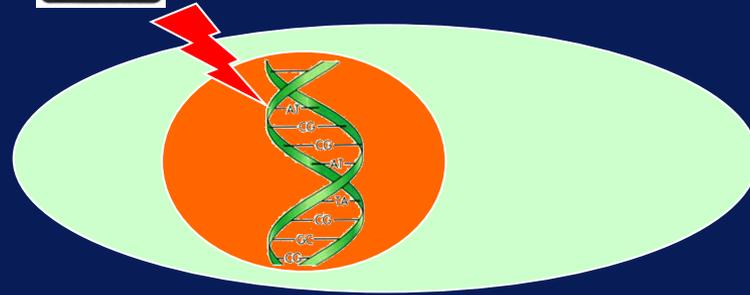


liaison : **ligase**

rayonnement ionisant



lésions de l'ADN
signalisation

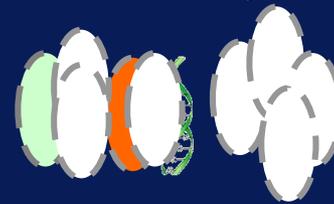
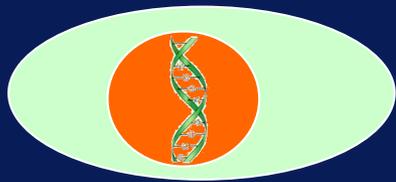


réparation fidèle

pas de réparation

réparation fautive

mutations



intégrité génomique

mort mitotique

apoptose

cancer radioinduit

Données des études épidémiologiques

études épidémiologiques

Hiroshima-Nagasaki

76.000 ; M 200 mSv

leucémies seuil # 150 mSv

cancers solides NS < 100 mSv

CIRC 1995

96.000 tr. nucléaire

leucémies NS < 400 mSv

cancers solides NS

CIRC 2005 (BMJ)

600.000 tr. nucléaire

leucémies et cancers solides

NS < 100 mSv

radiologues > 1960

220.000 ; 10 - 50 mSv / an

leucémies NS

cancers solides NS

navigants

47.000 ; 1,5 - 6 mSv / an

leucémies NS

cancers solides NS
(mélanomes)

études épidémiologiques

examens médicaux

leucémies NS
cancers sein >> 100 mSv

radiothérapie
7.700 cancer du sein

NS si séances \leq 150 mSv
cancers solides NS

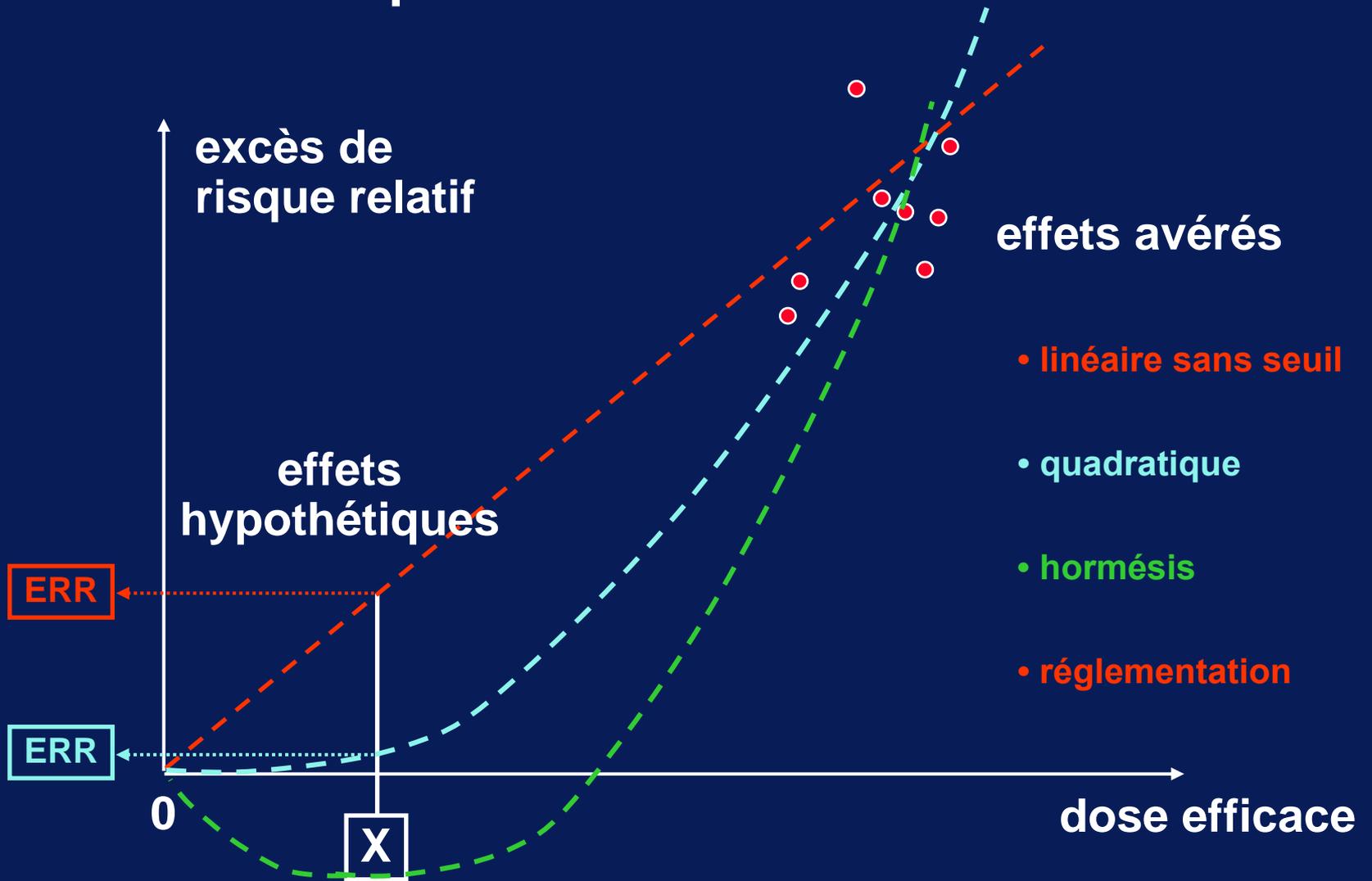
Kerala
100.000 ; ...70 mSv / an

leucémies NS
cancers solides NS

Yangijang
100.000 ; 2 - 6 mSv / an

leucémies NS
cancers solides NS

évaluation du risque des faibles doses



existence hormesis

P. Duport. *Int J Low Rad.* 2003

méta-analyse sur ensemble expériences publiées

60 000 souris

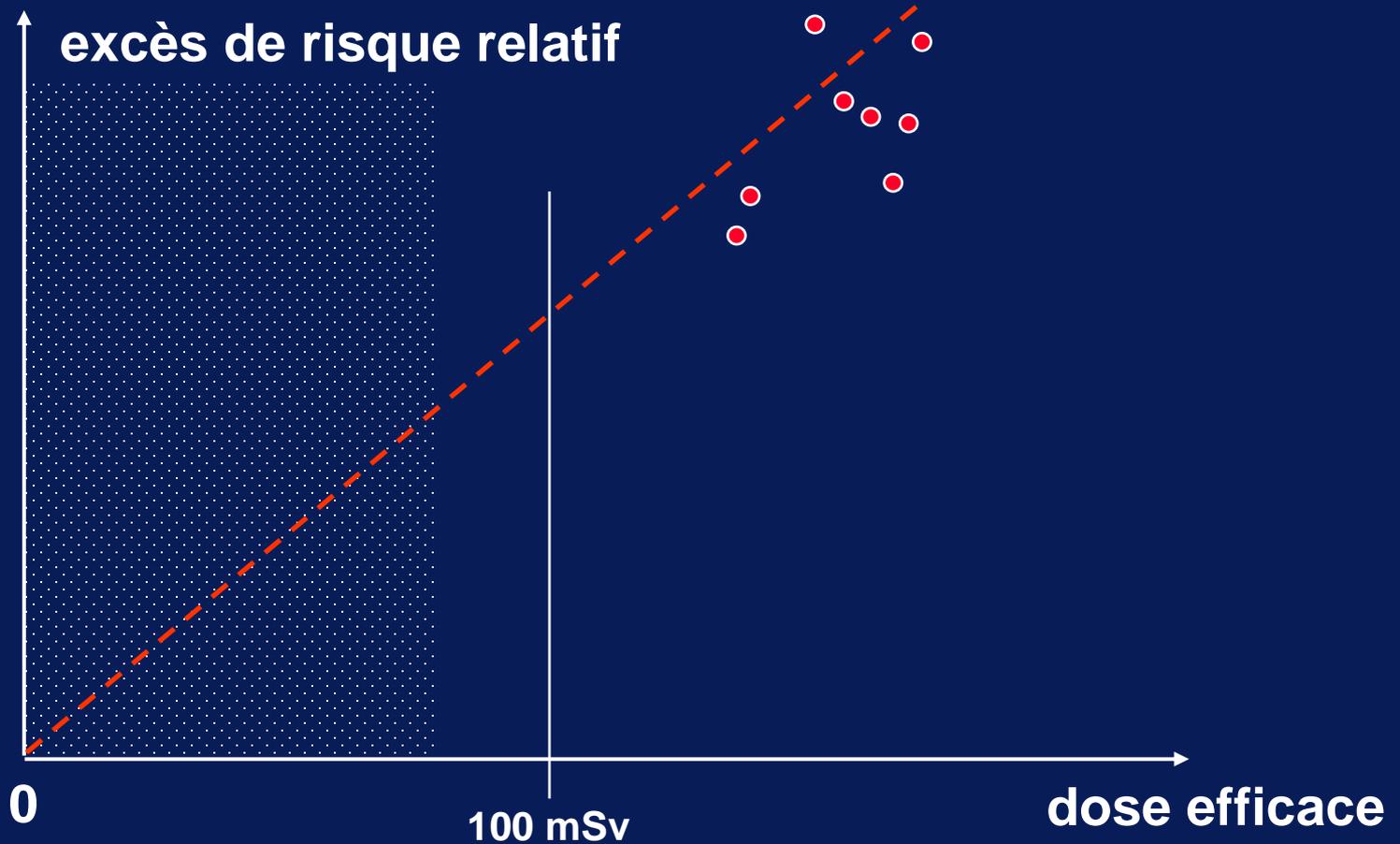
hormesis : 40 % des séries expérimentales

pour des doses # 200-250 mSv

Portess D. *Cancer Res.* 2007

**Low-dose irradiation of nontransformed cells stimulate
the selective removal of precancerous cells via intercellular
induction of apoptosis**

Données récentes de la radiobiologie



élimination

réparation

prolifération

conclusion

une relation linéaire sans seuil ne peut pas être utilisée pour prévoir le nombre de cancers induits par les faibles doses de RI

cela ne remet en cause

- **ni la réglementation**
- **ni les principes de la radioprotection médicale**
 - **justification et optimisation**

les études épidémiologiques pour les faibles doses / DD

- **donnent une borne supérieure du risque**
- **ne donnent pas de quantification directement utilisable**

besoins de la radioprotection

- **nécessitent une quantification précise des risques**
- **très faibles doses / très faibles débits de dose**
- **qui prenne en compte l'évolution des connaissances**

La question des déchets

En France : l'ANDRA (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs)

<http://www.andra.fr/pages/fr/menu1/les-dechets-radioactifs/ou-sont-les-dechets-radioactifs-r-10.html>

Toute activité humaine produit des déchets.

On appelle déchet radioactif toute substance dont aucun usage n'est prévu, et dont le niveau de radioactivité ne permet pas la décharge sans contrôle dans l'environnement.

En France :

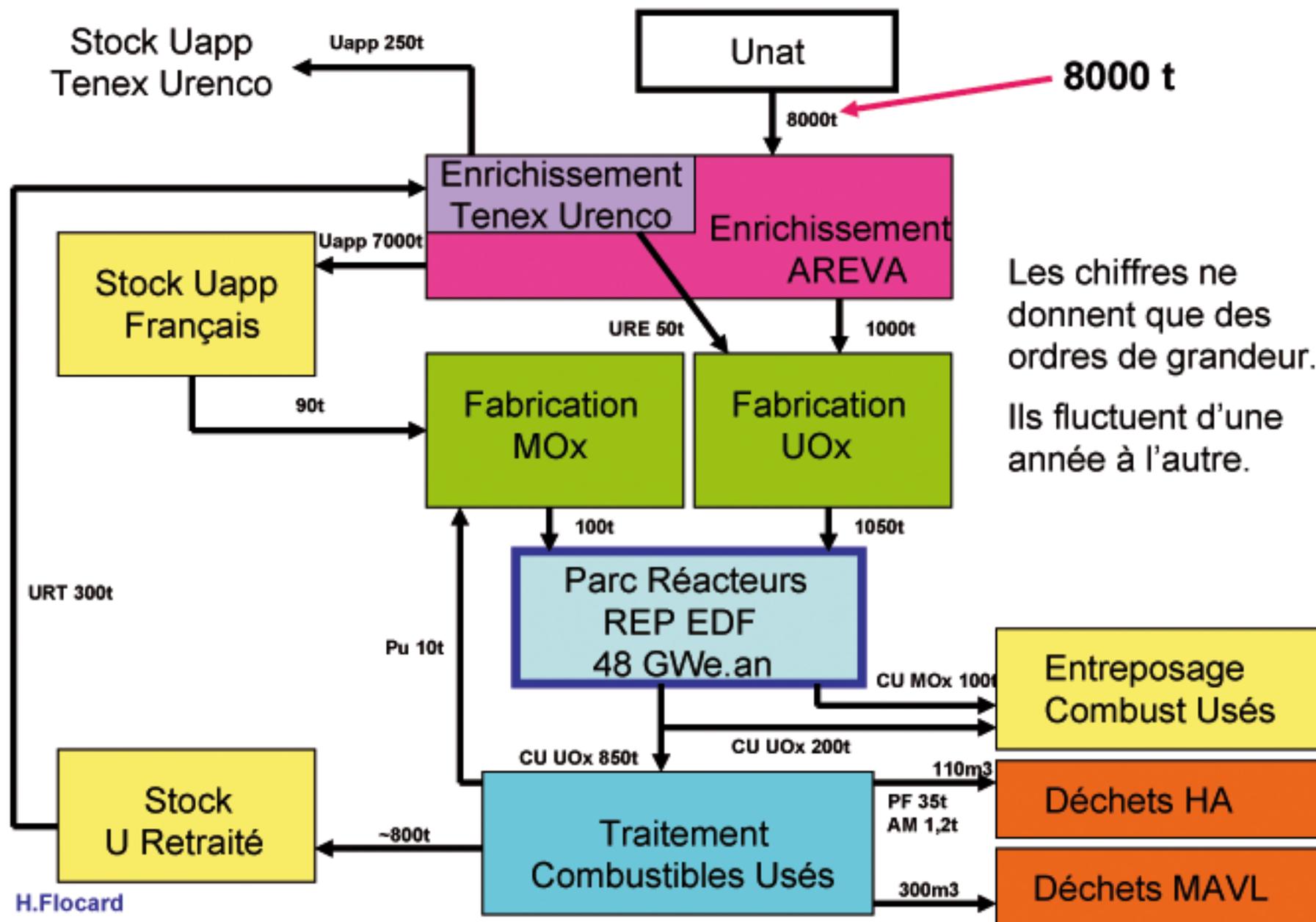
- **2 kg de déchets radioactifs par habitant et par an.**
- **360 kg de déchets ménagers**
- **2500 kg de déchets industriels, 5000 en incluant les déchets de construction**

Provenance : centrales nucléaires, usines de traitement des combustibles usés et des autres installations nucléaires civiles et militaires.

Principaux producteurs : EDF, AREVA et CEA.

Plus de 1000 petits producteurs : laboratoires de recherche, hôpitaux, industries...

Flux massiques annuels dans le cycle français G-II



Classification des déchets

En France, deux paramètres :

1. Le niveau de radioactivité : activité = nombre de désintégrations par seconde (Bq) que l'on rapporte à la masse (par gramme ou par kilogramme). Haute activité (HA), moyenne activité (MA), faible activité (FA) et très faible activité (TFA).

2. La période radioactive, ou demi-vie : temps au bout duquel l'activité initiale d'un radionucléide est divisée par deux.

Période courte (inférieure ou égale à 31 ans), période longue (supérieure à 31 ans). La radioactivité est très fortement atténuée au bout de 10 périodes.

Radionucléides utilisés pour les besoins de diagnostic en médecine, de durée de vie "très courte", c'est-à-dire dont la période est inférieure à 100 jours. Au bout d'un temps réduit, leur radioactivité atteint des niveaux très faibles.

Classification des déchets

Nous connaître

Nos expertises

Les déchets radioactifs

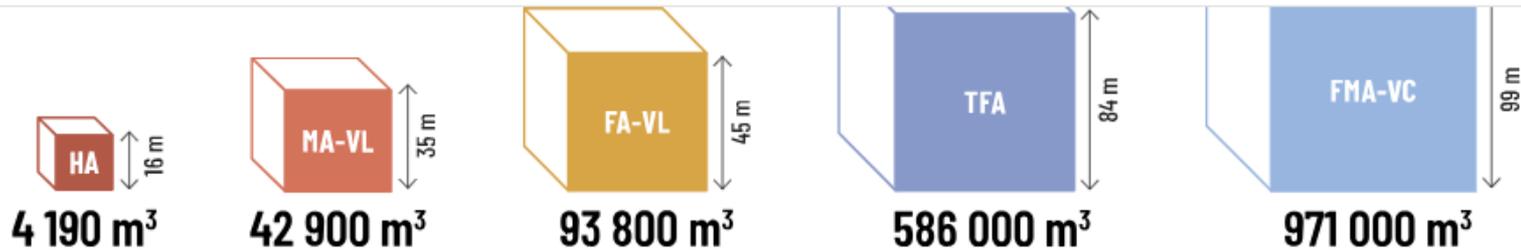


Cigéo

Inventaire déchets

La concertation

Tous nos sites



Les plus dangereux ?

Les déchets radioactifs les plus dangereux (HA et MA-VL), en raison de leur niveau de radioactivité et de leur durée de vie, ne représentent qu'une très faible part du volume total.

Ils concentrent ainsi 99,8 % de la radioactivité, et représentent 3,1 % du volume total des déchets.

À noter : Une personne qui se placerait à côté de déchets HA, sans protection, aurait

Volume de déchets radioactifs

0,2%

Niveau de radioactivité

HA

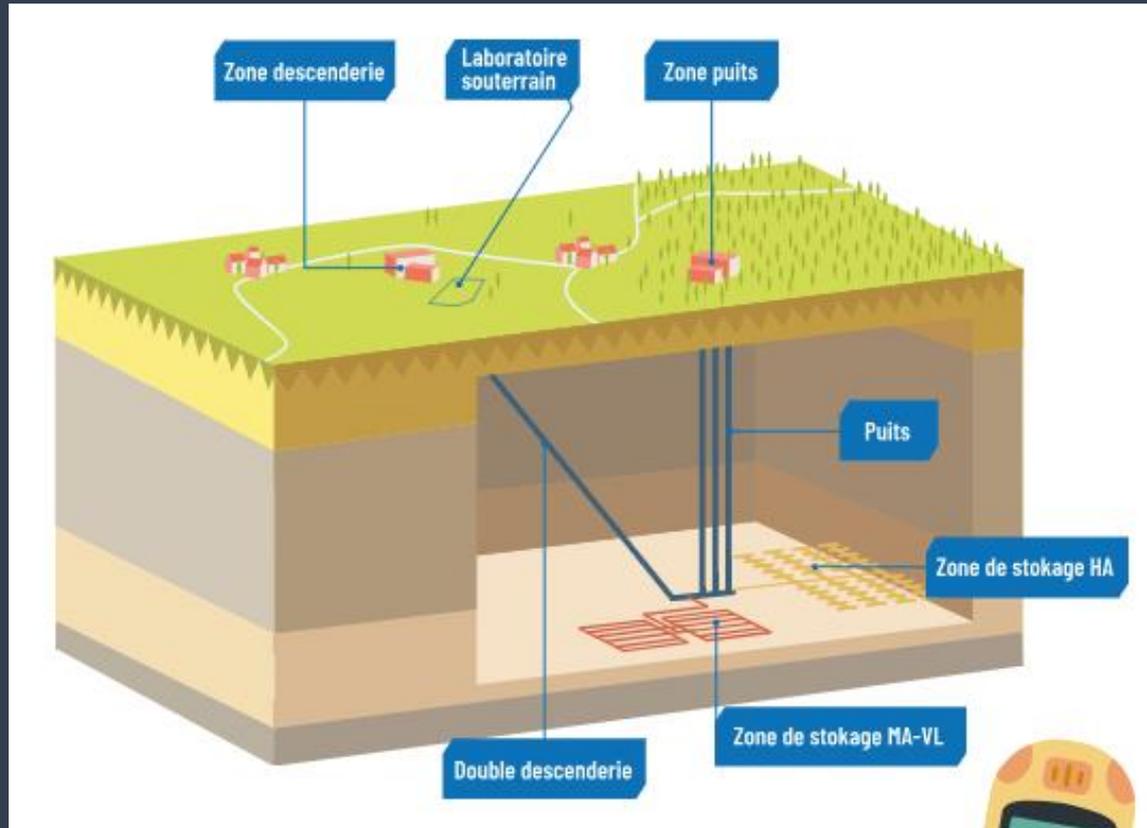
94,9%

2,9%

MA-VL

4,9%

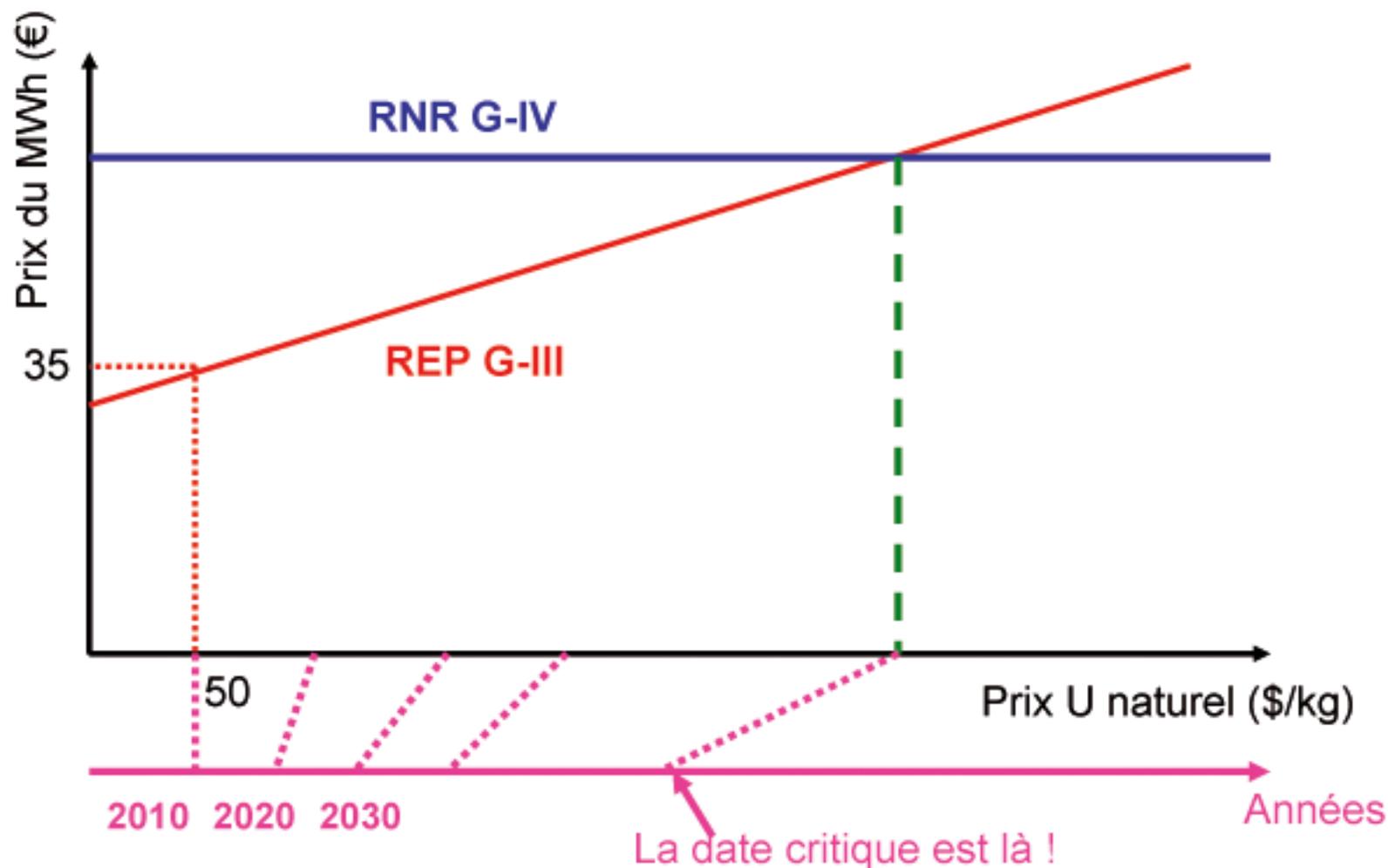
Stockage géologique profond (400 m) pour HA et MA-VL



Réversibilité (loi du 28 juin 2006) : pendant au moins 100 ans.

Economie, quand G-IV s'imposera à G-III ?

Diagramme pour déterminer exactement quand G-IV va surpasser G-III !



Initiatives Internationales

Critères d'action du Gen-IV International Forum (GIF)

1) Durabilité

1.a Meilleur usage de la ressource U

1.b Minimisation des nuisances associées aux déchets

2) Compétitivité économique

3) Sûreté de fonctionnement et disponibilité accrue des réacteurs

4) Résistance à la prolifération et aux agressions physiques.



Le GIF a sélectionné six grandes classes de réacteurs

En relation avec G-IV, au plan européen, création de la
Sustainable Nuclear Energy
Technological Platform
SNETP



Strategic Research
Agenda