

les retombées de Tchernobyl en France

André Aurengo
aurengo@wanadoo.fr



contamination par l'iode radioactif

- iode(s)

				débits de dose	
^{132}I	2.4 h	20 %	naturel		0,3 $\mu\text{Gy} / \text{h}$
^{133}I	20.8 h	1 mGy	^{131}I		5 $\mu\text{Gy} / \text{h}$
^{131}I	8 jours	80 %	1 mGy	^{132}I	400 $\mu\text{Gy} / \text{h}$

- contamination par inhalation (10%) et ingestion (90%)

- concentration active de l'iode par la thyroïde

- dose moyenne 200 $\mu\text{Gy} / \text{MBq}$
- dose à la thyroïde 350 mGy / MBq

- enfant :

- masse de la thyroïde faible, captage de l'iode élevé
- consommation de lait
- sensibilité à la cancérogénèse

- nouveau-né : 10 x dose adulte

estimations des retombées

évaluer la contamination du sol français

	^{134}Cs	^{137}Cs	^{131}I
période	2 ans	30 ans	8 jours
origine	activation	fission	fission
essais nucléaires		X	X
Tchernobyl	X	X	X

contemporaine de l'accident : SCPRI, IPSN, CEA

- air, eau, pluie, sols, aliments, lait
- sites nucléaires, essais nucléaires

après 10 ans

- le ^{134}Cs n'est plus mesurable
- distinction essais nucléaires / Tchernobyl impossible

nature fractale des dépôts

- pluie, végétation, relief, redistribution

évaluation par le SCPRI

surveillance renforcée par le SCPRI

- contamination de l'air
- contamination de l'eau de pluie
- produits alimentaires
- terme source / diagramme Doury / décision

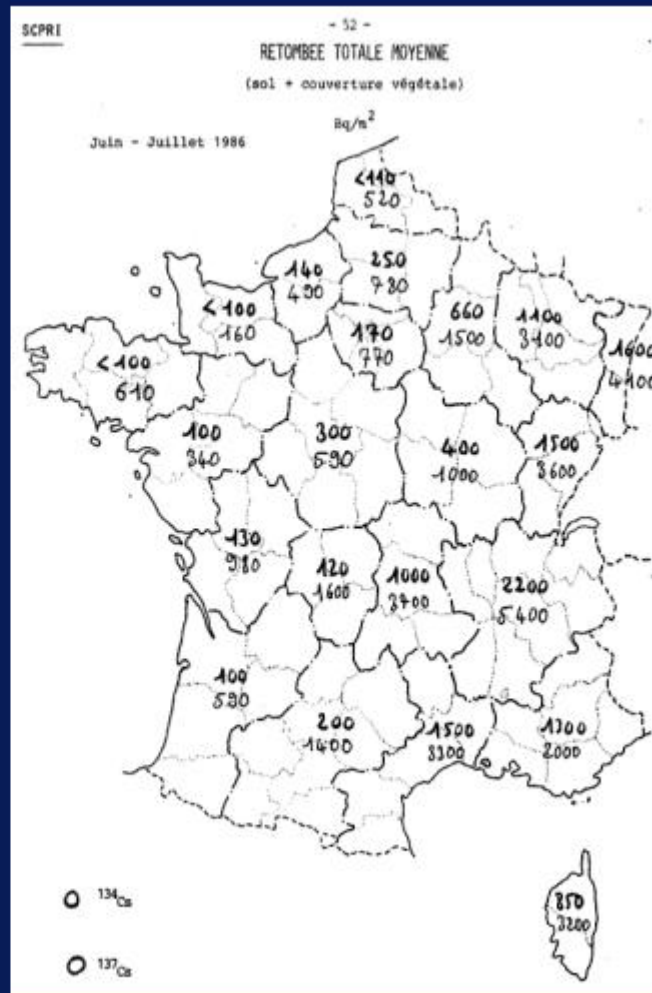
nombreuses données sur les produits alimentaires

- laits, légumes, champignons...
- valeurs moyennes (alimentation habituelle)
- données manquantes (Corse, PACA)

peu de données sur le sol

- résultats trop tardifs pour des décisions urgentes
- 9 stations de référence
- 35 sol + végétation (juin - juillet)

carte ^{137}Cs SCPRI

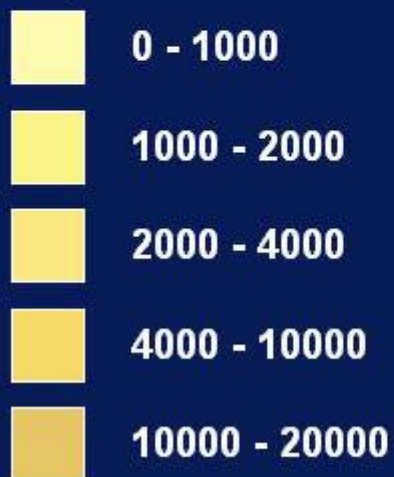


Atlas Communauté européenne 1998

fondé sur

- 9 stations de référence
- 35 sol + végétation

Bq / m²



la relation pluie-dépôts

Clark. Nature 1988

mesure = Tchernobyl + essais

Tchernobyl = dépôt_{Humide} + dépôt_{Sec}

dépôt_{Humide} = L x air x pluie

dépôt_{Sec} = S x air

L, S, air, pluie => dépôt Tchernobyl

modèles IPSN - IRSN 2002 - 2005

- quantifier les hétérogénéités locales
- expliquer les discordances

modèles IPSN - IRSN

méthode

- relation empirique pluie-dépôts
- mesures dans la « zone atelier » en 1999-2000
- basse vallée du Rhône
- coefficient de lessivage invariable
- modélisation de la contamination de l'air
- données pluviométriques Météo - France

variation du coefficient de lessivage

- ✓ sud-est # 520 - 720
- ✓ nord-est # 640 - 710
- ✓ Paris [Thomas 86] # 750
- ✓ Royaume-Uni [Clark.88] # 590
- ✓ zone atelier # 750 - 860
- ✓ zone atelier corrigé # 1000 - 1250

zone	nb mesures	coef lessivage	R ²
Vallée du Rhône	99	1086	76%
Vosges-Alsace	59	415	53%
Ouest de 4°	22	- 1457	33%
Haut-Var	21	1100	44%
Jura	13	1767	82%

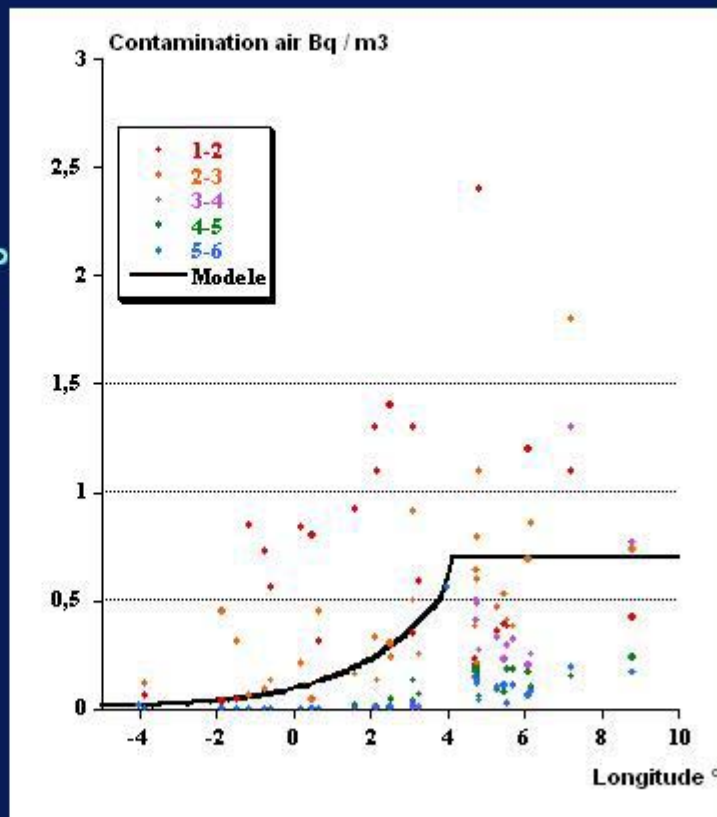
contamination de l'air (IRSN 2003)

à l'est du méridien 4°

- constante
- uniforme

à l'ouest du méridien 4°

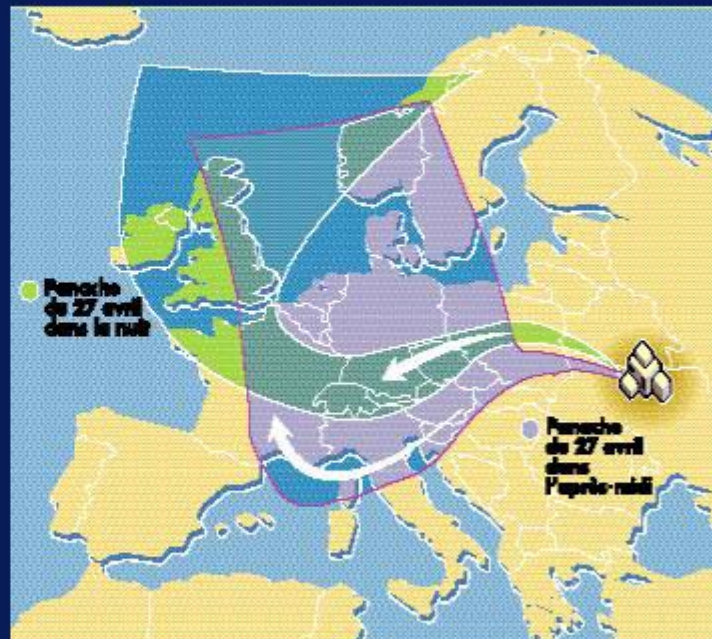
- décroissance exponentielle



modèle air

contamination de l'air

- deux phases
- très complexe



filtres aérosols



29/04/86 - 30/04/86



30/04/86 - 01/05/86



01/05/86 - 02/05/86



02/05/86 - 03/05/86



03/05/86 - 04/05/86



04/05/86 - 05/05/86



05/05/86 - 06/05/86

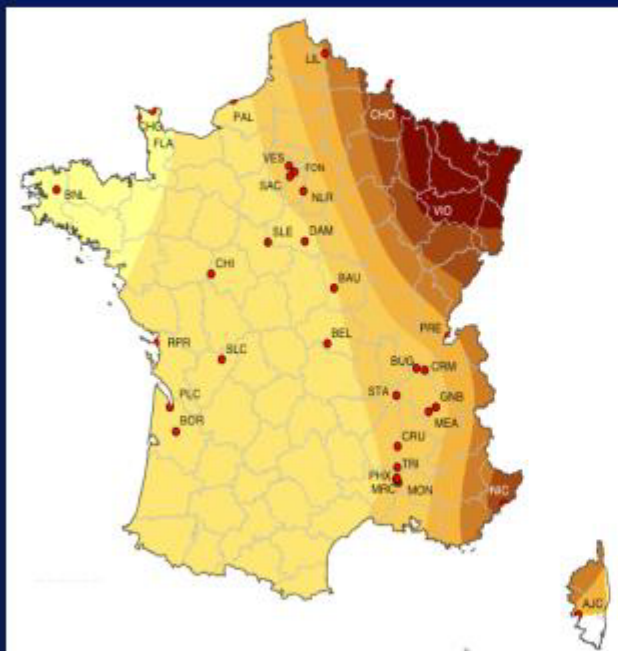
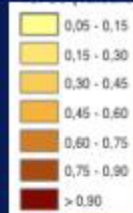


06/05/86 - 07/05/86

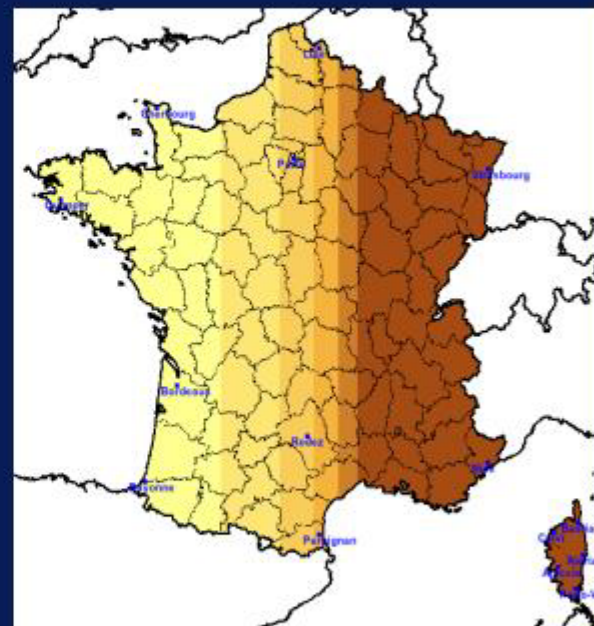


comparaison mesure - modèle

Bq / m²

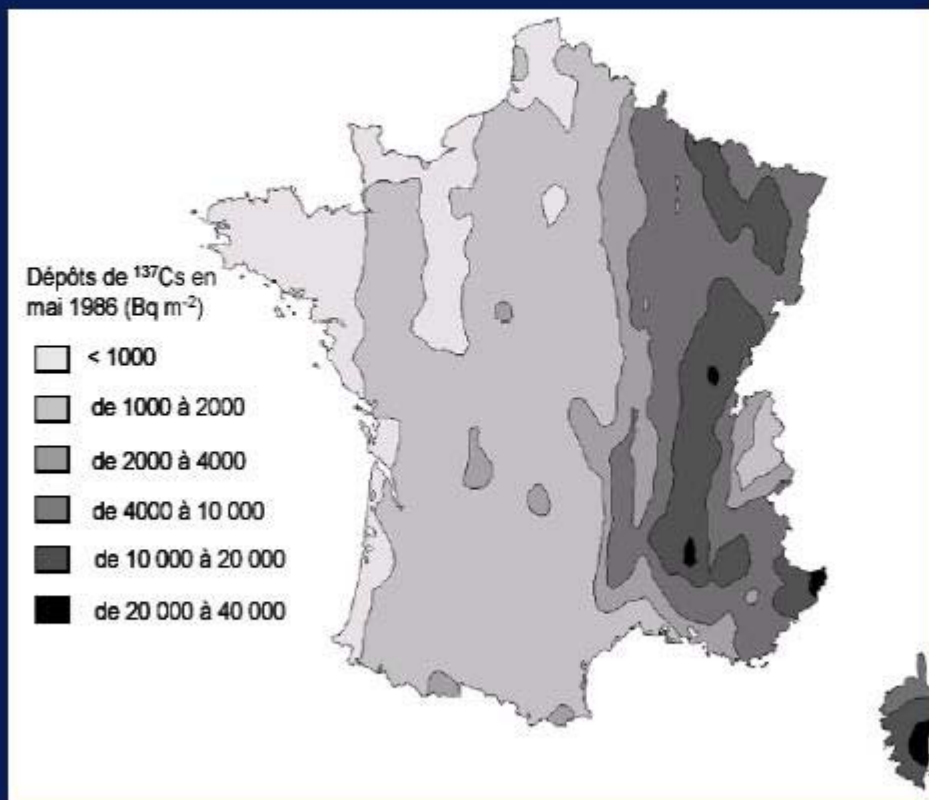


mesure
moyenne 1 - 5 mai 86

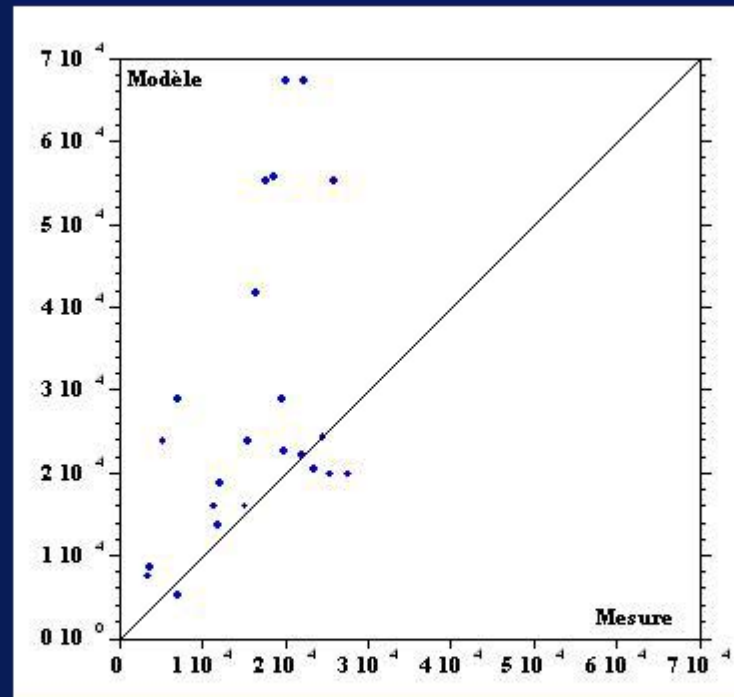


modèle IRSN 2003
1, 2, 3, 4 et 5 mai 86

modèle IRSN 2003 : résultat



validation du modèle IRSN 2003



« ... the regression model may be inaccurate for rainfall amounts exceeding 40 mm »

Aléria

	1 ^{er} mai	2 mai	3 mai	4 mai	5 mai
Pluie	0,0	0,0	2,0	35,4	10,5
IRSN-2003	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
mesure	0,59	0,88	0,82	0,37	0,22

Retombées Tchernobyl

IRSN-2003 **27823**

Jour/jour **14325**

Retombées totales

IRSN-2003 **28864**

Mesure 1986 **19500**

Mesure 2001 **7000**

Strasbourg

	1 ^{er} mai	2 mai	3 mai	4 mai	5 mai
Pluie	0	19,6	17,0	0	1,0
IRSN-2003	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
mesure	2,2	2,3	0,7	0,2	0,1

Retombées Tchernobyl

IRSN-2003 **13500**

Jour/jour **39500**

Retombées totales

CRIIRAD-1991 **26376**

modèle IRSN 2005

meilleure prise en compte

- de la contamination de l'air (39 sites / 195 mesures)
- des retombées des essais nucléaires

faiblesses

- biais de sélection du site de mesure
- sélection arbitraire des données
- variations du coefficient lessivage
- surreprésentation de la basse vallée du Rhône
 - 1,4 % du territoire
 - 56 % des mesures (72/129)

estimations des doses à la thyroïde

cartes de contamination SCPRI

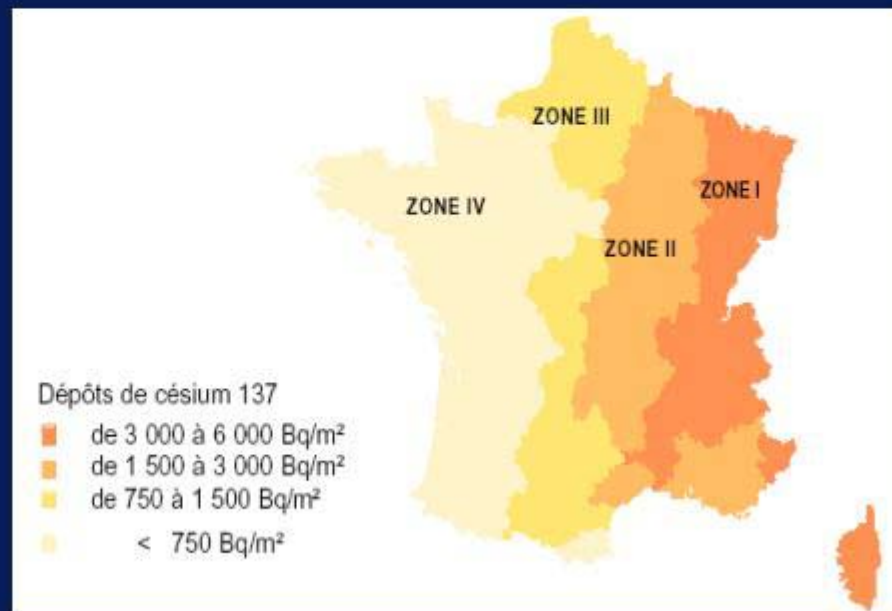
^{131}I Bq / litre de lait

1^{ère} semaine de mai 86



modélisation IPSN 1997 : Astral

- fondé sur les produits alimentaires
- validé avec de nombreuses données
- dépôts « équivalents »
- **biais de sélection des données**



conséquences de l'accident de Tchernobyl en Fra

- dose efficace globale maximale

1986	0,4 mSv	(2,5 mSv*)
1987-1996	0,7 mSv	(25 mSv*)
1997-2046	0,4 mSv	(125 mSv*)

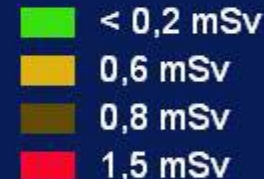
total / 60 ans 1,5 mSv (150 mSv*)

- irradiation thyroïdienne maximale

adulte	0,5 - 2 mGy	(2,5 mGy*)
5 ans	6,5 - 16 mGy	(2,5 mGy*)

- autarcie ?

* irradiation naturelle à Paris



débits de dose

naturel	0,3 μ Gy / h
1 mGy ¹³¹ I	5 μ Gy / h
1 mGy ¹³² I	400 μ Gy / h

estimations dosimétriques à partir du ^{137}Cs dans le sol (Ajaccio 2002)

modèle inadapté pour les fortes pluies

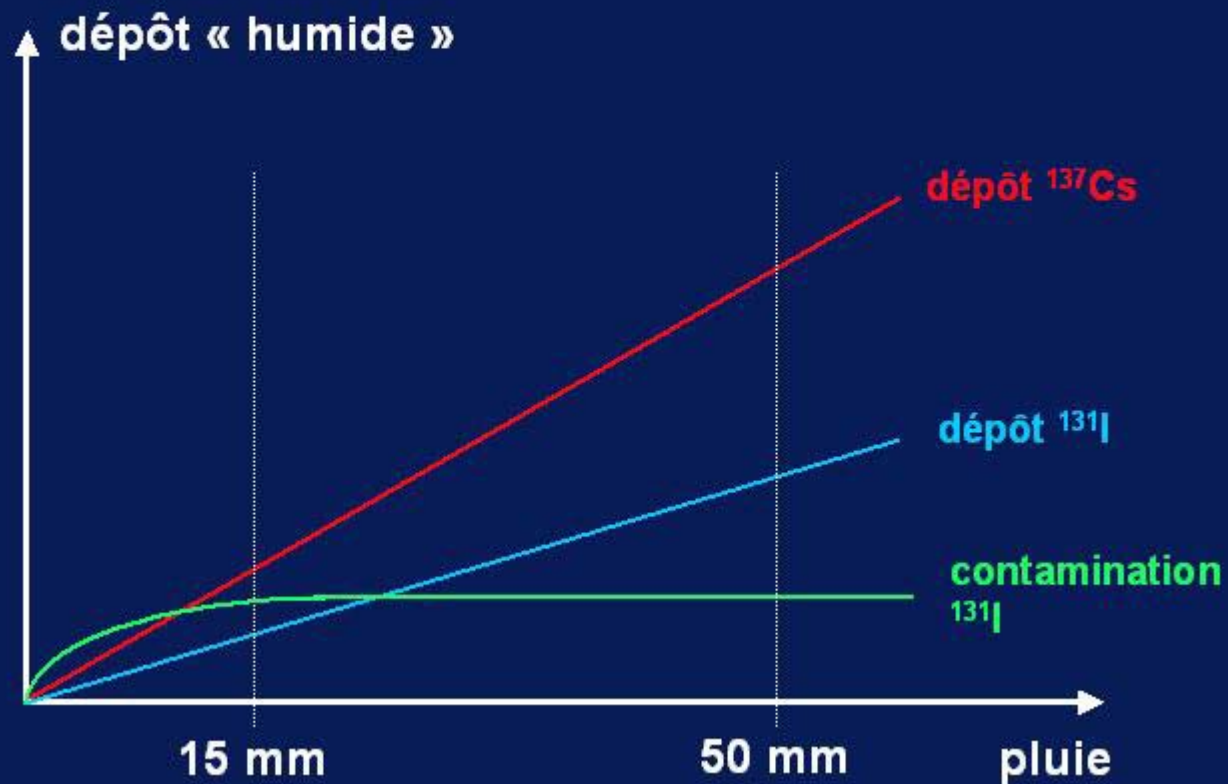
- pluie Aléria = 96 mm
- mesure 18 600 Bq.m⁻²
- modèle 55 800 Bq.m⁻²

le rapport $\frac{\text{iode dans l'herbe}}{\text{césium dans le sol}}$

dépend de la pluie

- faible pluie # 18
- forte pluie # 2

retombées et contamination alimentaire césium et iode

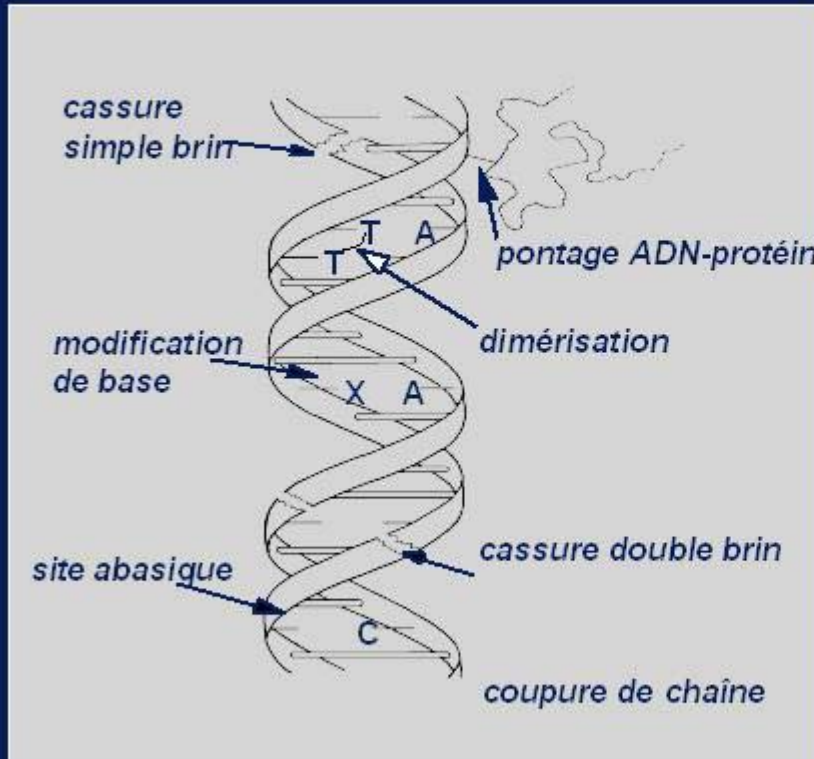


**de la dose à la thyroïde
aux cancers thyroïdiens**

cancérogenèse : un processus darwinien complexe

- 1 - autonomie de division**
activation de facteurs de croissance
- 2 - échappement aux mécanismes anti-prolifération**
inactivation de gènes suppresseurs de tumeur
- 3 - immortalisation**
altération des mécanismes d'apoptose
maintien de la taille des télomères
- 4 - échappement au contrôle par les cellules voisines**
- 5 - échappement au contrôle immunitaire**

lésions de l'ADN



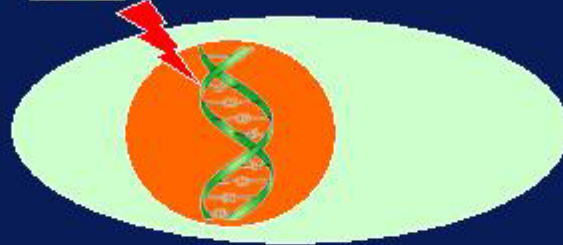
métabolisme oxydatif

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

rayonnement
ionisant



lésions de
l'ADN
signalisation



réparation
fidèle



intégrité
génomique

pas de
réparation



mort
mitotique

réparation
fautive

mutations



apoptose



cancer
radioinduit

cancer thyroïdien radioinduit



proto-oncogène ret
gain de fonction

inactif
oncogène
prolifération auto-limitée (2^{25})

gène suppresseur de tumeur p16^{ink4a}

perte de fonction

gène inactif
prolifération illimitée

définition : excès de risque relatif (ERR)

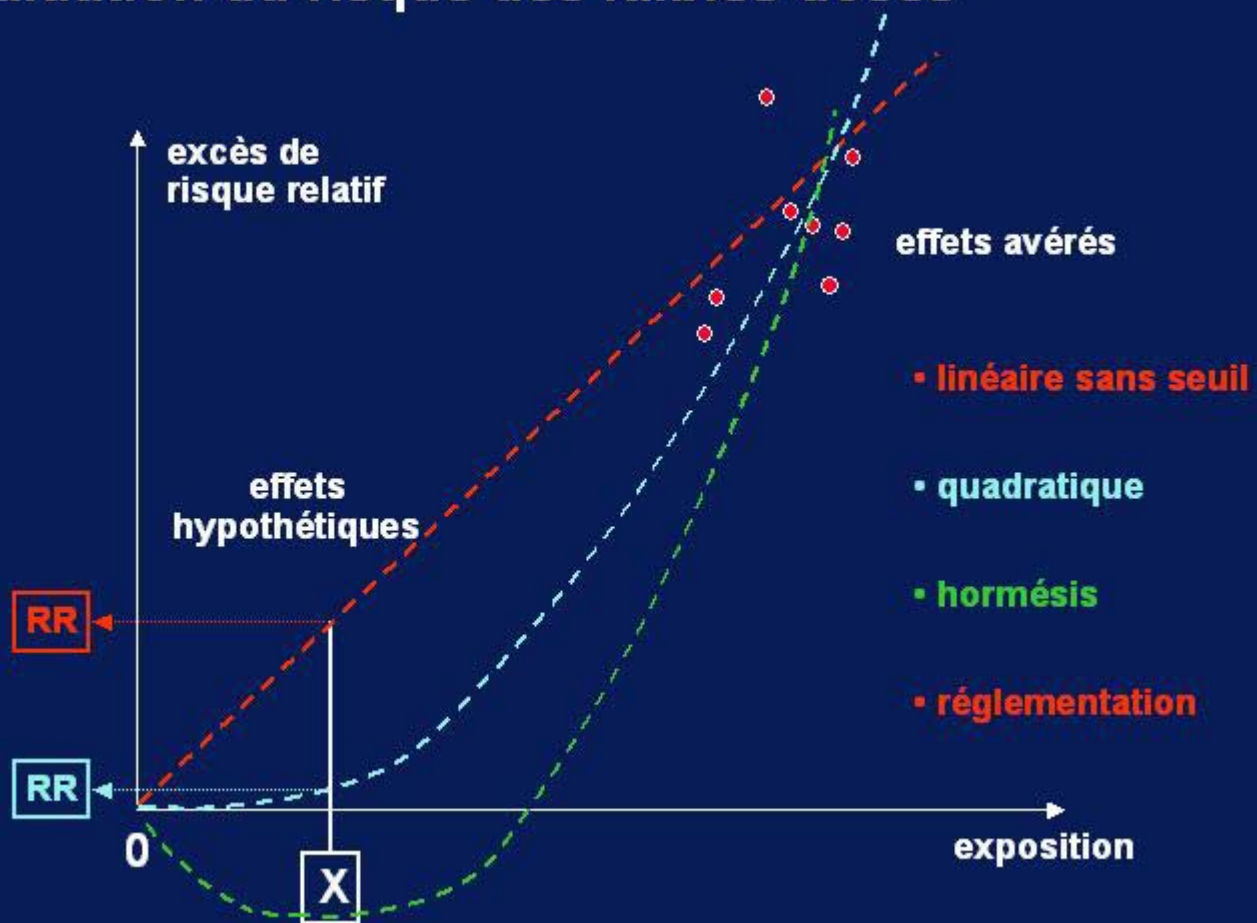
excès de cancers = nombre observé - nombre attendu
risque relatif = nombre observé / nombre attendu
excès risque relatif = excès / nombre attendu

exemple

- on attend 1000 cancers spontanés
- on en observe 1020
- excès de cancers observés 20

- risque relatif $1020 / 1000 = 1,02$
- excès de risque relatif $20 / 1000 = 0,02$
- intervalle de confiance $[- 0,1 \text{ à } + 0,3]$
- ERR non significatif

évaluation du risque des faibles doses



rapport InVS - IPSN 2001

Relation Linéaire Sans Seuil

période	K spontanés	K en excès
1991-2000	97 ± 20	0,5 à 22
1991-2015	899 ± 60	7 à 55

« Compte tenu des limites méthodologiques indiquées ci-dessus et des incertitudes sur l'existence d'un risque aux faibles doses, il est aussi possible que l'excès réel de risque de cancer thyroïdien, aux niveaux de dose considérés ici, soit nul. »

**le dogme
de la relation linéaire sans seuil
RLSS**

la cellule n'est pas isolée et se défend

modèle classique : évolution linéaire

- mutations indépendantes

événements physiques initiaux proportionnels à la dose

- indépendants
- 1 mGy entraîne
 - 1 CSB / cellule
 - 1 CDB / 25 cellules
 - 1 aberration chromosomique / 10.000 cellules

mécanismes de défense fortement non linéaires

- leur mise en œuvre successive dépend
 - de la dose
 - du débit de dose (nombre de lésions simultanées)
 - des cellules voisines
 - de la surveillance immunitaire

une défense au moindre coût

état basal : métabolisme oxydatif / irradiation naturelle

- 3000 à 10 000 CSB / cellule / jour
- 8 à 50 CDB / cellule / jour
- système de réparation basal activé

très faible dose (qq mGy) et débit de dose (< 5 mGy / min)

- pas de signalisation supplémentaire
- les lésions complexes ne sont pas réparées
- mort cellulaire

Rothkamm - Lobrich. PNAS 2003 ; Collis. J Biol Chem 2004

et pour quelques mGy de plus

- signalisation
- sans induction de systèmes de réparation
- les lésions simples sont réparées
- les lésions complexes conduisent à l'apoptose

une défense au moindre coût ...

de quelques mGy à # 100 - 200 mGy

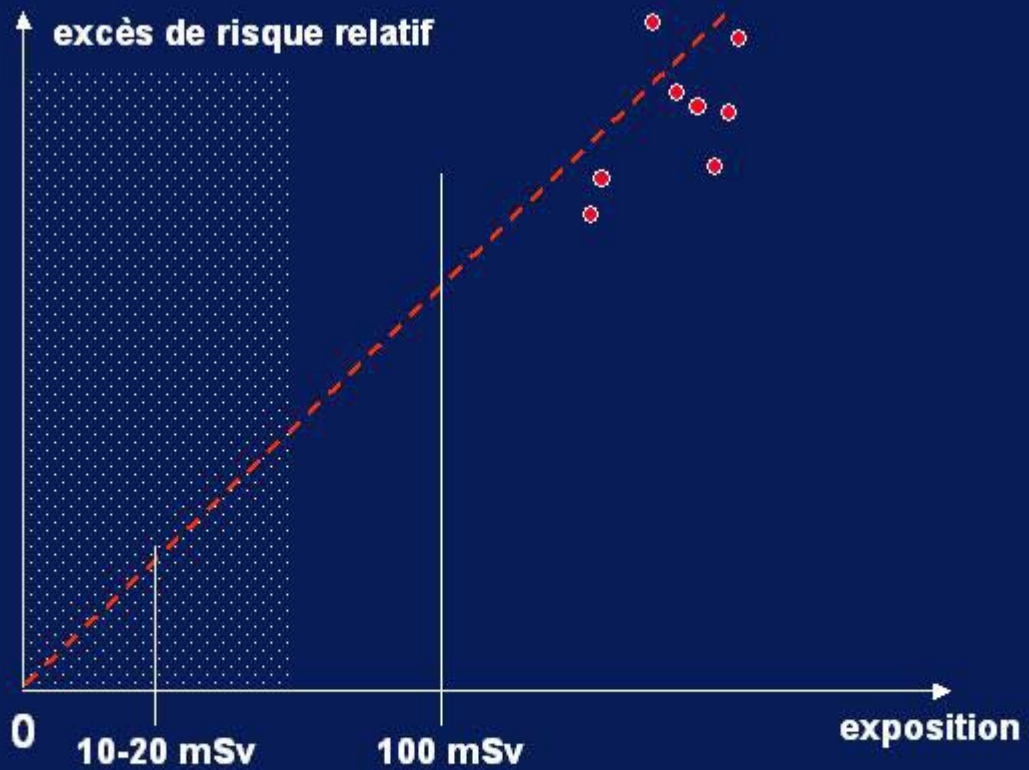
- signalisation
- induction de systèmes de réparation
- leur efficacité diminue avec la dose
- apoptose / réparation

au delà de 100 - 200 mGy

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

au delà de 500 mGy

- stimulation de processus de prolifération
- facteur épigénétique



élimination

réparation

prolifération

études épidémiologiques

Hiroshima-Nagasaki
76.000 ; M 200 mSv

leucémies seuil # 150 mSv
cancers solides NS < 100 mSv

CIRC 1995
96.000 T. nucléaire

leucémies NS < 400 mSv
cancers solides NS

CIRC 2005 (BMJ)
600.000 T. 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

F. De Vathaire

**études de cohorte sur les faibles doses de R
doses < 100 mSv**

effectif **415.000**

suivi **18 ans**

cancers solides **ERR = - 0,012 [-0,041 - +0,017]**

leucémies **ERR = +0,032 [-0,011 - +0,019]**

<http://www.academie-medecine.fr>
<http://www.academie-sciences.fr/>

les cancers thyroïdiens en France

cancers thyroïdiens en France 1975 - 2000

incidence
/100 000/an
std monde

F : 7.5

H : 2.2

3711 cas / an

F : + 6,3 % / an

H : + 5,9 % / an

mortalité

F : 0.3

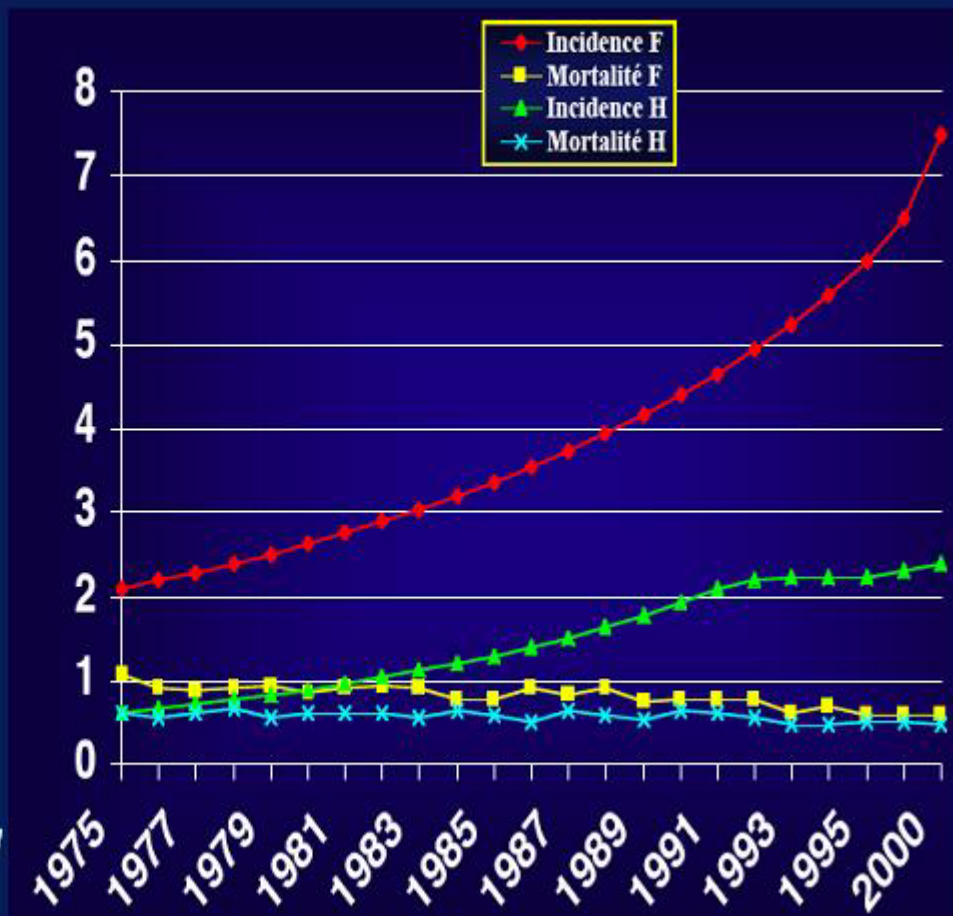
H : 0.3

431 décès/an

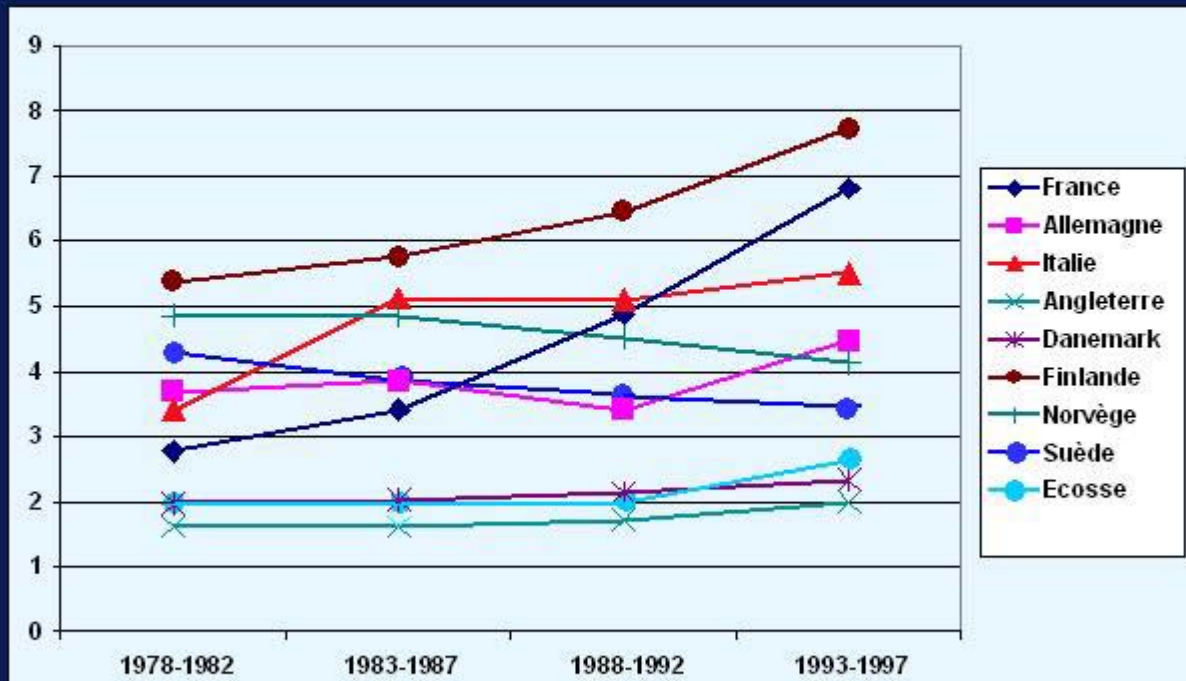
22^{ème} rang

Incidence : FRANCIM

Mortalité : CépiDc



évolution de l'incidence des CTD Femmes 1978 - 1997



évolution de l'incidence

- papillaires / 10⁵ personnes

	Calvados	Bas Rhin
1982-86	1.59	1.36
1987-91	3.68	1.43
1992-96	6.81	2.70
évolution	x 4.28	x 1.98

- insuffisance du système de surveillance
- 5 registres des tumeurs de l'enfant
- registres spécialisés (Champagne-Ardennes)

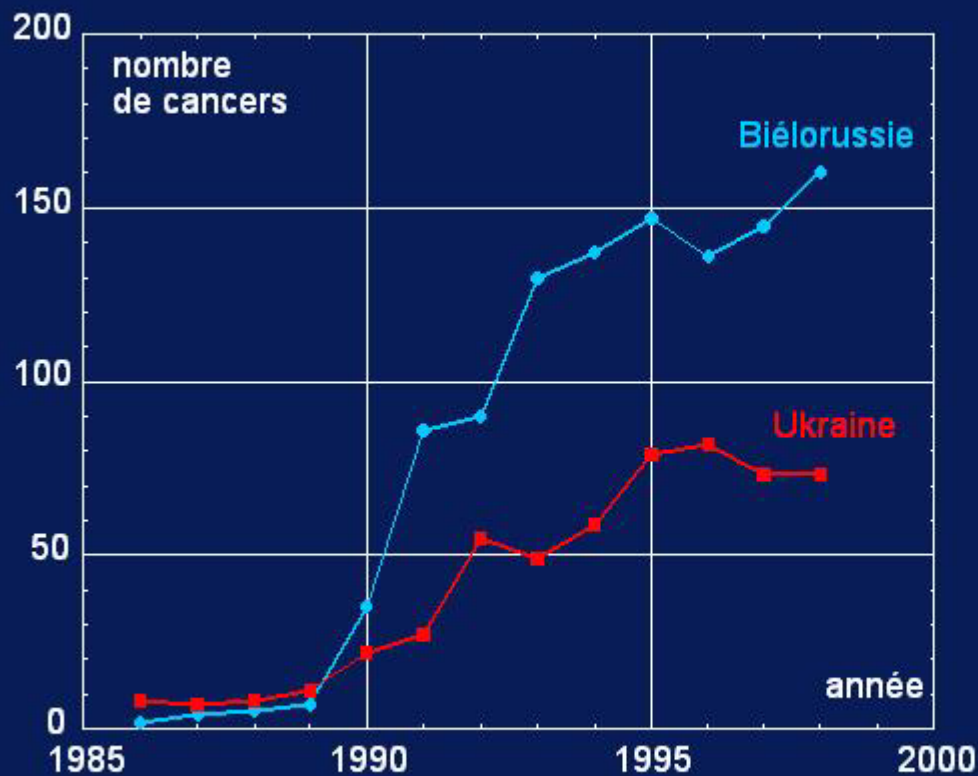
incidence CTD enfant

- 5 registres cancer enfant
- 30% population (3.5 M) < 15ans
- très rare : 0,4% cancers de l'enfant

Incidence par million [nombre de cas]

Age	78 – 86	87 – 92	93 - 97
0-4 ans	0,00 [0]	0,00 [0]	0,15 [1]
5-9 ans	0,45 [2]	0,96 [8]	0,55 [4]
10-14 ans	1,23 [6]	2,23 [18]	1,62 [12]
Total	0,59 [8]	1,06 [26]	0,79 [17]

ETD enfants < 17 ans lors de l'accident



< 10 ans : 98 %
< 5 ans : 80 %

4000 cas en excès
7 morts

cancers thyroïdiens des enfants < 15 ans en ex-URSS et en Champagne-Ardennes

année	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Bélarus	3	4	6	5	31	62	62	87	77	82	67	73	48	-
Ukraine	8	7	8	11	26	22	49	44	44	47	56	36	44	-
Russie	0	1	0	0	1	1	3	1	6	7	2	5	-	-
CA	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	

enquête en Franche-Comté

*nous ne mettons pas en évidence de variation
significative du cancer de la thyroïde de l'enfant,
ni dans le temps ni dans l'espace*

augmentation de l'incidence des cancers thyroïdiens en France

- l'augmentation de l'incidence des nodules et cancers thyroïdiens en France a commencé avant 1986
- **causes possibles**
 - prévalence considérable des nodules et cancers
 - biais de dépistage (scinti : 1 cm ; écho : 2 mm)
 - pratiques (clinique, échographie, cytologie, chirurgie)
 - découverte fortuite (Doppler)
 - classification histologique
 - responsabilité de l'accident de Tchernobyl ?

caractéristiques des cancers

%	1966-76 n = 416	1977-86 n = 837	1987-96 n = 1173	1997-99 n = 533
< 10 mm	6	12	24	31
10 - 40 mm	42	47	54	52
> 40 mm	20	18	12	13
papillaire	62	73	83	88
vésiculaire	34	26	17	12
autres	4	3	2	1

Service de médecine nucléaire
G.H. Pitié - Salpêtrière
2006 # 50% de microcarcinomes

évolution des pratiques médicales

série hospitalière n = 471 patients

%	n	1980	1985	1990	1995	2000
scintigraphie	344	89	88	85	69	49
échographie	301	3	46	83	87	85
cytoponction	95	4	25	13	29	23
hormones	433	92	94	97	96	93

position du GRT

Société Française d'Endocrinologie

Annales Françaises d'Endocrinologie, novembre 2001

il n'y a pas d'argument scientifique qui conduise à penser qu'en France l'augmentation du nombre des cancers thyroïdiens diagnostiqués soit liée à un " effet Tchernobyl "

accroissement constaté dès 1975, son taux ne s'est pas majoré après 1986, et il est présent dans toutes les régions du monde

en France, pas d'augmentation préférentielle des cancers non médullaires chez les enfants et adolescents lors de l'accident

position du GRT

Société Française d'Endocrinologie

Annales Françaises d'Endocrinologie, novembre 2001

il n'y a pas d'argument scientifique qui conduise à penser qu'en France l'augmentation du nombre des cancers thyroïdiens diagnostiqués soit liée à un " effet Tchernobyl "

accroissement constaté dès 1975, son taux ne s'est pas majoré après 1986, et il est présent dans toutes les régions du monde

en France, pas d'augmentation préférentielle des cancers non médullaires chez les enfants et adolescents lors de l'accident

rapport InVS avril 2006

Institut de Veille Sanitaire

La surveillance mise en place montre une augmentation des cancers thyroïdiens n'allant globalement pas dans le sens d'un éventuel effet du passage du nuage de Tchernobyl sur le territoire.

Les taux de cancers de la thyroïde les plus élevés sont observés par les registres de surveillance des cancers situés dans les départements de l'Ouest (Calvados) et du Sud-ouest (Tarn, département français qui a connu la plus forte augmentation du cancer de la thyroïde entre 1982 et 2001). Des taux parmi les plus bas sont retrouvés dans les départements d'Alsace.

conclusion

- **de nombreuses incertitudes**
 - contamination des sols
 - contamination des produits
 - incorporation / populations particulières
 - dose à la thyroïde
 - relation dose - risque
- **registres**
- **enquête épidémiologique (difficile & trompeuse)**
- **effets des faibles doses**
- **signature moléculaire des cancers radioinduits**

