

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Tchernobyl, 25 ans après: Un bilan des effets sanitaires dans les territoires contaminés

Jean Marc BERTHO

IRSN, DRPH/SRBE,

Laboratoire de radiotoxicologie expérimentale



- 26 Avril 1986: succession de défaillances et d'erreurs humaines, conduisant à l'explosion du réacteur n°4 de la centrale nucléaire de production d'électricité de Tchernobyl
- Dispersion massive d'une grande partie de l'inventaire du cœur du réacteur, principalement durant les deux premières semaines
- Estimation de l'activité relâchée: $12 \cdot 10^{18}$ Bq

Estimation des activités relâchées

Radionucléide	Demi-vie	Emission principale	Volatilité	Quantité rejetée (x10 ¹⁵ Bq)
Xe-133	5,25 j	β, γ	Élevée	6 500
I-131	8,04 j	β, γ	Élevée	1 760
I-133	20,8 h	β, γ	Élevée	910
Te-132	3,26 j	γ	Élevée	1 150
Cs-137	30,2 a	γ	intermédiaire	85
Sr-89	50,7 j	β	intermédiaire	110
Sr-90	28,9 a	β	intermédiaire	8
Pu (tous isotopes)	-	α	Faible	<2,7
U (tous isotopes)	-	α	Faible	<0,01

Source: UNSCEAR, 2008

Dépôts de césium-137

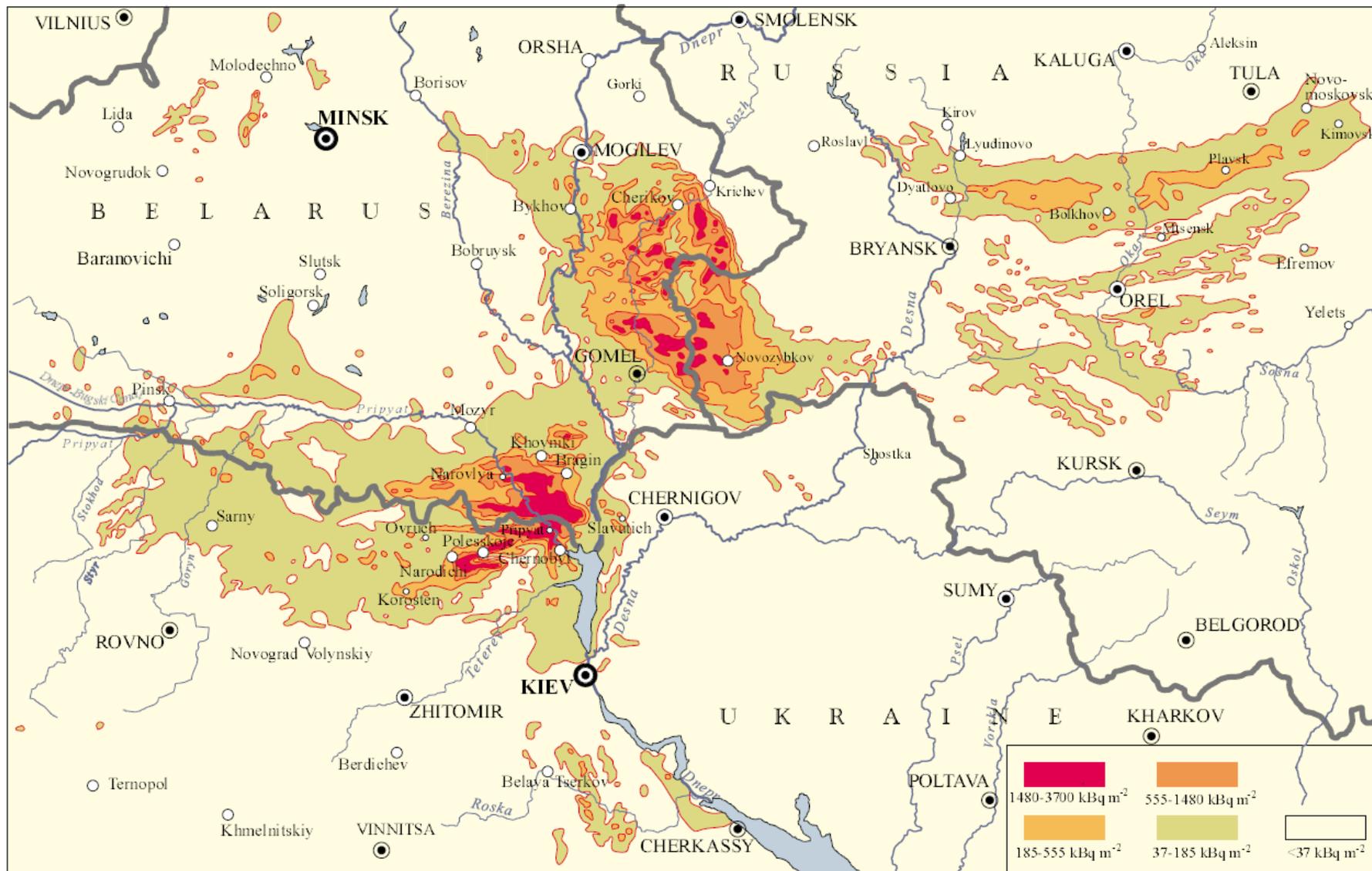
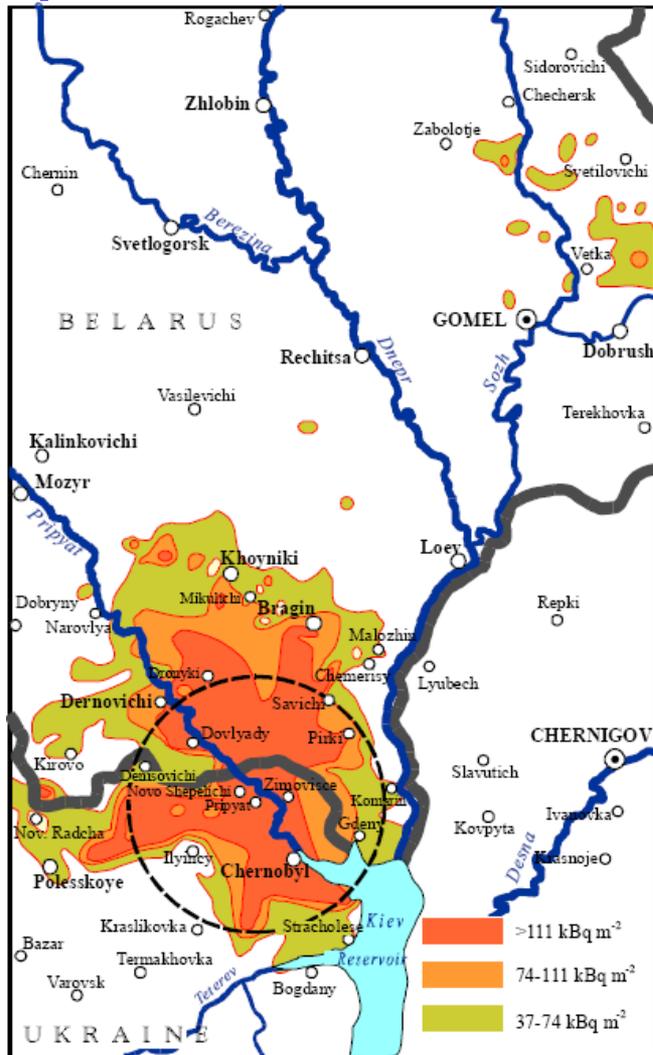


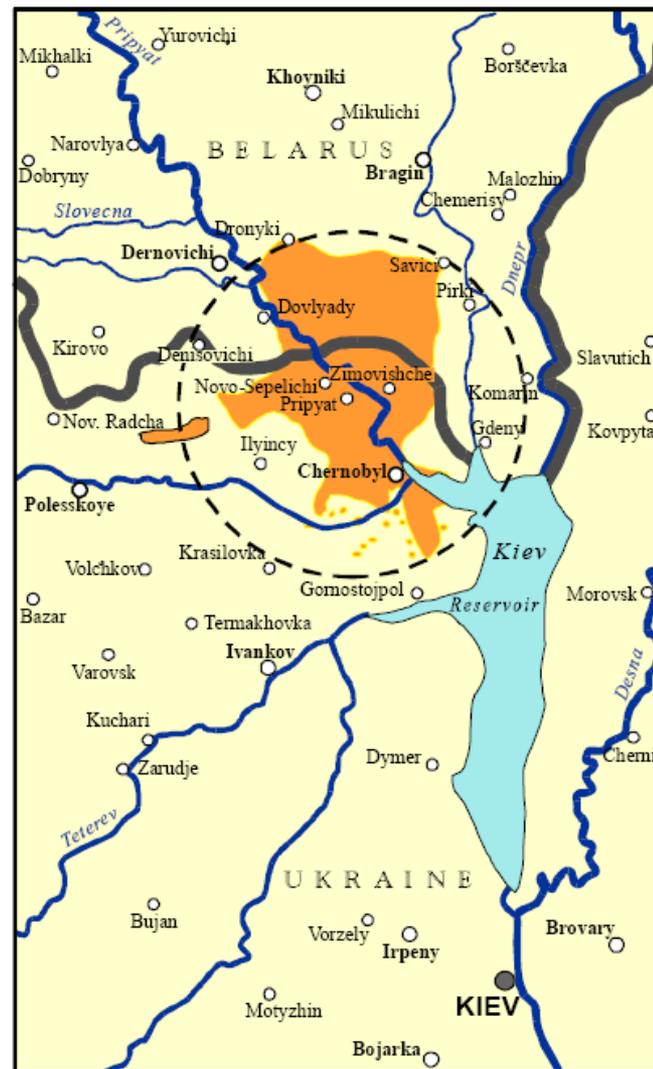
Figure VI. Surface ground deposition of caesium-137 released in the Chernobyl accident [11, 13].

Dépôts de ^{90}Sr et de Pu



Source: UNSCEAR, 2006

Figure VIII. Surface ground deposition of strontium-90 released in the Chernobyl accident [1].



Source: UNSCEAR, 2006

Figure IX. Surface ground deposition of plutonium-239 and plutonium-240 released in the Chernobyl accident at levels exceeding 3.7 kBq m^{-2} [1].

Les effets sanitaires

- Plusieurs dizaines de millions de personnes exposées à travers toute l'Europe, en général à des doses très faibles (<10 mSv)
- L'étude des conséquences de l'accident sur la santé humaine a généré un très grand nombre d'études
 - Les bases de données scientifiques:
 - Pubmed: 3771 références
 - Scopus: 8792 références
 - Et toutes les autres références:
 - Google: Plus de $4 \cdot 10^6$ liens référencés, uniquement pour la langue française ...
- Données souvent contradictoires, débats passionnels
- Conséquences en France et en Europe non abordées ici: « Tchernobyl, 25 ans après », IRSN.

Les données récentes

- Publication de l'UNSCEAR en 2008, annexe D du rapport à l'A.G. des nations unies
 - Comité réunissant des scientifiques
 - Revue de la littérature existante
- Revue des études publiées en langue russe par A. Yablokov et A. Nesterenko (JNCI, 2009)
 - Compilation de données pas toujours vérifiables
 - Analyses de données brutes, sans tenir compte des facteurs confondants
- Bien évidemment contradictoires...

Revue de la littérature récente, référencée dans les bases de données scientifiques Pubmed et Scopus

- La dosimétrie des populations exposées
- Les cancers: thyroïde, leucémies
- Les effets non cancéreux
- Les conséquences psychologiques

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Dosimétrie des populations exposées

Les populations exposées (1)

Les liquidateurs:

a. Les intervenants d'urgence: personnel du site, pompiers, militaires intervenus sur le réacteur dans les premiers jours. Environ 600 personnes.

Irradiation externe majoritaire, avec composante d'inhalation
Doses comprises entre 0,8 et 16Gy

b. Les autres liquidateurs: intervenants dans la zone d'exclusion des 30 km. Environ 600 000.

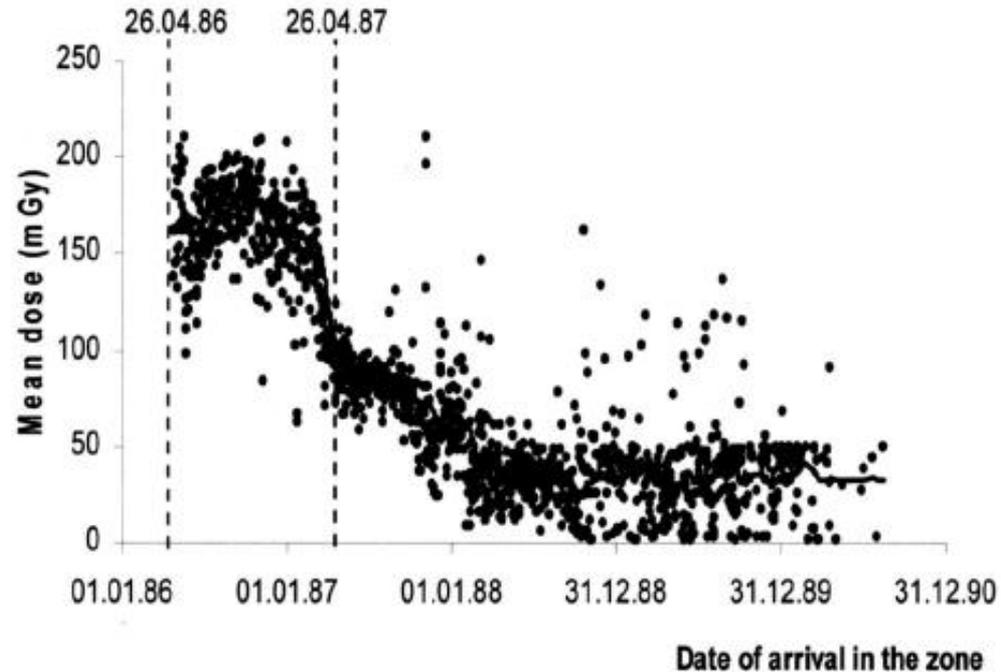
Exposition externe majoritaire, inhalation
Doses comprises entre 10 et 1000 mSv

Mais exposition plus importante si travail durant la 1^{ère} année

Biais:

- Inclusion de personnes potentiellement dicté par l'intérêt personnel: accès aux soins, indemnisations, etc...
- Inclusion de personnes au moment de l'apparition d'une pathologie. Induit un biais d'analyse

Variabilité des doses chez les liquidateurs



Ivanov et al, 2006

Fig. 1. Mean doses received by emergency workers during their entire stay in the Chernobyl zone as a function of the first date of arrival to the zone.

Les populations exposées (2)

La population exposée aux rejets

- a. La population évacuée de la zone d'exclusion: 116 000 personnes évacuées
 - Inhalation essentiellement, irradiation externe (ingestion)
 - Doses de 0,1-380 mSv
 - Doses à la thyroïde de 0,07 à 4,3 Gy (moyenne par classe d'âge)
- b. La population de la zone de contrôle strict ($>555 \text{ KBq.m}^{-2}$): 270 000 personnes
 - Inhalation, irradiation externe, ingestion
 - Dose moyenne de 50 mSv
 - Doses à la thyroïde de 0 à 2 Gy
- c. Population des autres zones: Environ 5 millions de personnes dans les trois pays Russie, Biélorussie et Ukraine.
 - Inhalation, irradiation externe
 - Dose moyenne de 10 à 20 mSv
 - Dose à la thyroïde de 0 à 50 mGy

Méthodes de reconstruction des doses

Bases de l'évaluation des doses:

1. Pour les liquidateurs

- a. Dosimétrie passive existante
- b. Modélisation à partir des rejets atmosphériques
- c. Reconstruction à partir des travaux réalisés par les intervenants (matrice « emploi-exposition » RADRUE)
- d. Recoupement avec les données de dosimétrie biologique (anomalies chromosomiques ou RPE)

2. Pour la population générale

- a. Dépôts de césium 137 au sol
- b. Activité mesurée de la thyroïde chez 350 000 personnes dans les semaines qui ont suivi l'accident

Incertitudes liés aux modèles, mais aussi à la part prise par l'ingestion de produits contaminés à long terme

Etudes épidémiologiques préférentiellement basées sur la méthodologie « Cas-témoin »

Part prise par l'ingestion?

- Mise à disposition des populations de denrées alimentaires non contaminées
- Mais effets limités du fait de l'arrêt de cette mesure à la disparition de l'union soviétique en 1991 (Fesenko et col, 2001)
- De plus, les difficultés socio-économiques ont conduit à un retour vers les pratiques agricoles locales: chasse, pêche, récolte de produits forestiers (baies, champignons)(Wertelecki, 2010)
- Etudes du bol alimentaire:
 - De 100 à 2000 Bq/jour de ^{137}Cs et de 10 à 100 Bq/jour de ^{90}Sr (Cooper et col, 1992, Handl et col, 2003)
 - Charges corporelles résultantes: de 0,1 à 700 KBq de ^{137}Cs
 - Variations très importantes, au sein d'un même village, voire d'une même famille

La part prise par l'ingestion reste donc une source d'incertitude pour l'estimation de la dose chez les populations vivant sur les territoires les plus contaminés

Quelles étaient les conséquences attendues ?

1986:

- La contamination par les isotopes radioactifs de l'iode étaient considérée comme moins cancérigène pour la thyroïde qu'une irradiation externe
- Une augmentation de l'incidence des leucémies était attendue, en particulier chez les enfants

1992:

- Première description d'une augmentation de l'incidence des tumeurs de la thyroïde (Kazakov, 1992), confirmation en 1995 (Stsjazhko et al., 1995)

2002:

- Description d'une association entre exposition >10 mSv et apparition de leucémies

Les conséquences sanitaires de l'accident ne sont pas forcément celles qui étaient attendues...

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Les pathologies thyroïdiennes

Deux principaux types de pathologies

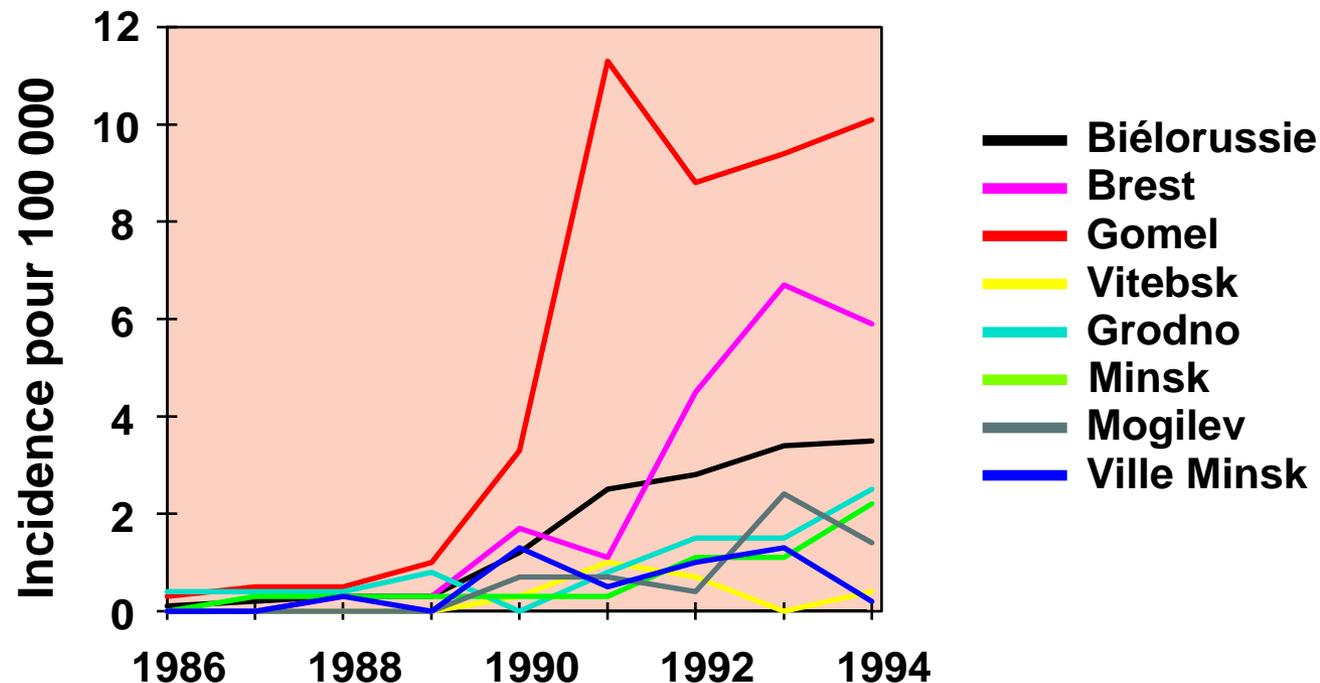
- Les pathologies cancéreuses: tumeurs de la thyroïde de type folliculaire ou papillaire
 - En 1986, certains auteurs estimaient que le risque de tumeur de la thyroïde induit par une contamination interne était inférieur au risque lié à une irradiation externe.
 - Premières descriptions d'augmentation d'incidence en Biélorussie en 1992, puis en Ukraine et Russie en 1995.
- Les pathologies non cancéreuses:
 - Nodules thyroïdiens
 - Thyroïdites auto-immunes.
 - Lien avec l'exposition aux rayonnements ionisants incertain

Les tumeurs de la thyroïde

Dès 1986, campagne de mesure du débit de dose au contact de la région thyroïdienne chez 350 000 personnes

A permis une reconstitution des doses individuelles avec une incertitude réduite...

... Ce qui a autorisé des études épidémiologiques.

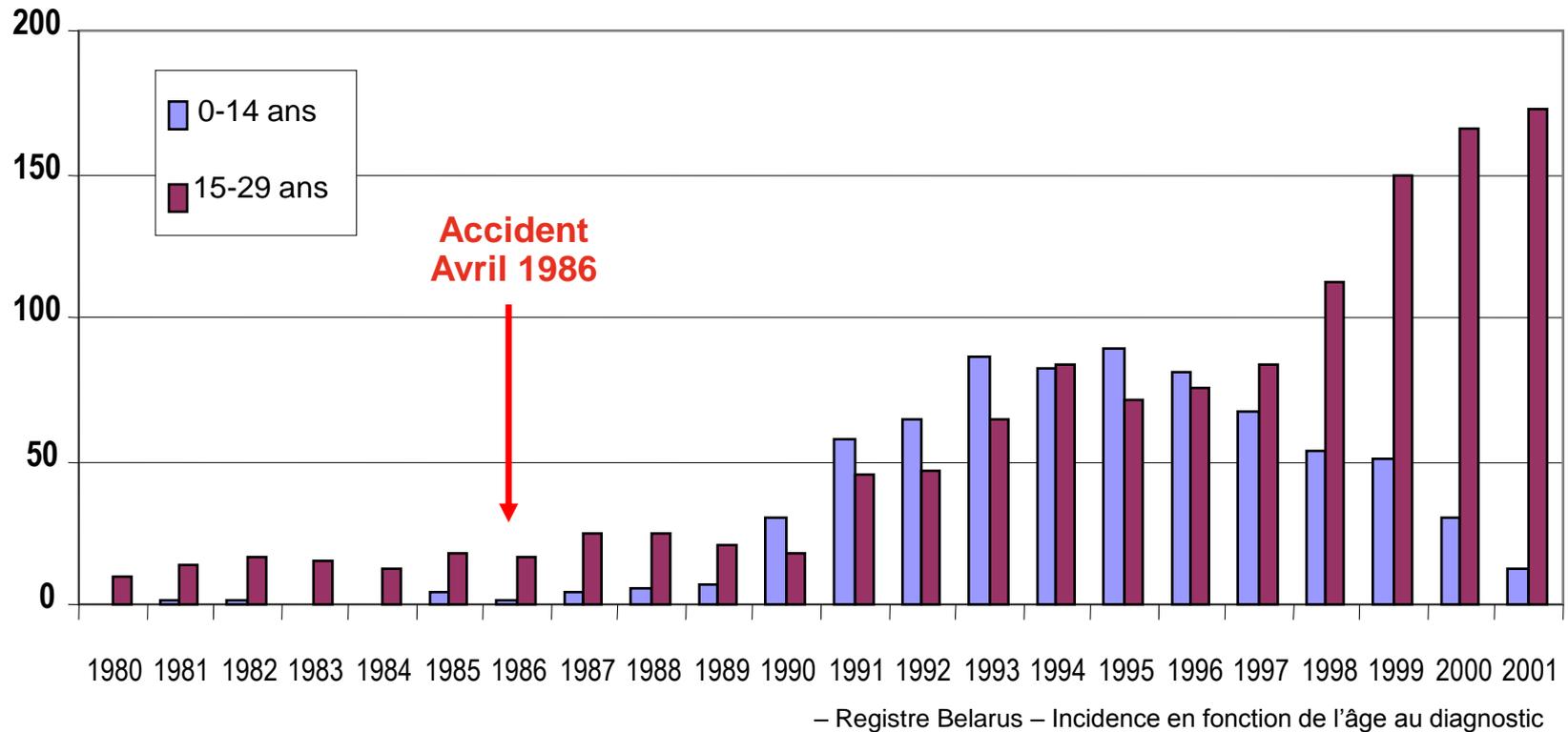


Le bilan des études sur les tumeurs de la thyroïde (UNSCEAR 2008)

1. 6850 cas de cancers de la thyroïde observés chez les individus de moins de 18 ans présents au moment de l'accident dans les territoires contaminés
2. Incidence X8 en Ukraine, x30 en Biélorussie, x100 dans le nord de l'Ukraine et à Gomel
3. Incidence fortement augmentée chez les plus jeunes (<4 ans) au moment de l'accident.
4. Tumeurs agressives, de type papillaire
5. Association avec l'exposition aux iodes radioactifs, mais existence de facteurs confondants (carences en iode, ...)

Age au diagnostic:

Etude pilotée par l'IFA, à partir des registres de Biélorussie

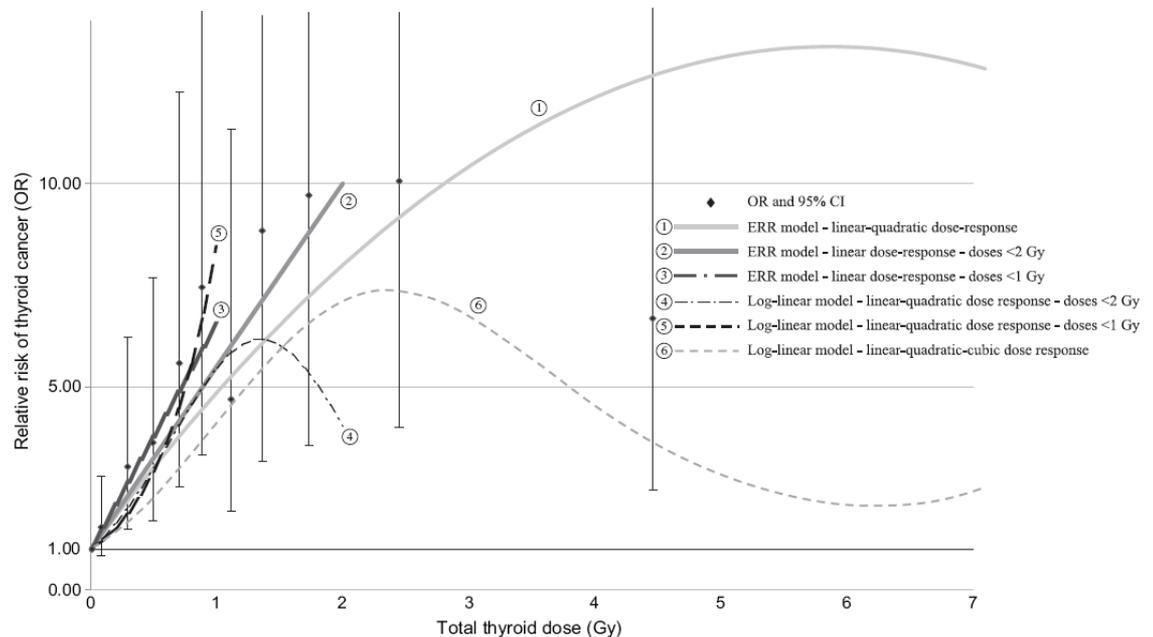


Le risque de cancer de la thyroïde persiste à l'âge adulte

Relation à la dose ?

- Cardis *et al*, 2005: Etude cas-témoin sur deux oblasts de Biélorussie et 4 de Russie
- 276 cas diagnostiqués entre 1992 et 1998 comparés à 1300 témoins
- Excès de risque de 5,6/Gy, pour ceux exposés à <1Gy, relation linéaire

- Risque augmenté si carence en iode (x3)
- Risque diminué si supplémentation en iode stable (/3)



Données récentes

1. Zablotska et al, 2011, Biélorussie: 11611 sujets et 87 tumeurs sur une cohorte initiale de 35000 enfants de moins de 18 ans

- Doses de 0 à 32,8 Gy, médiane 0,23 Gy
- Excès de risque par Gy : 2,15 (IC 95%: 0,81-5,47) si analyse limitée à $D < 5$ Gy
- Excès de risque par Gy: 4,92 (IC 95%: 1,32-17,12) si analyse limitée à $D < 1$ Gy
- Risque augmenté si âge à l'exposition inférieur à 5 ans

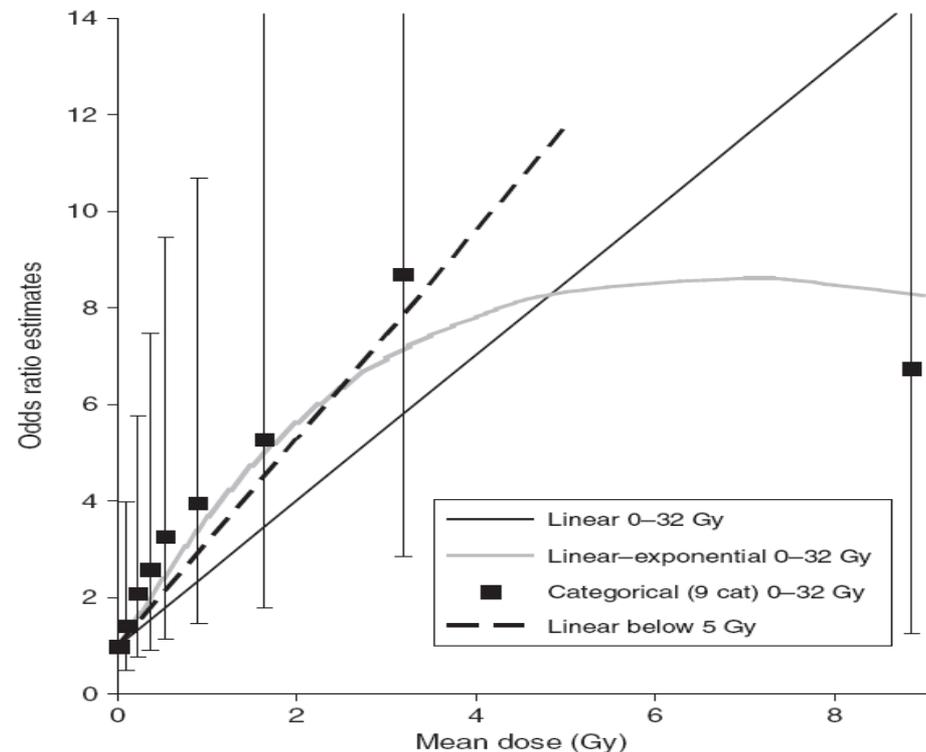
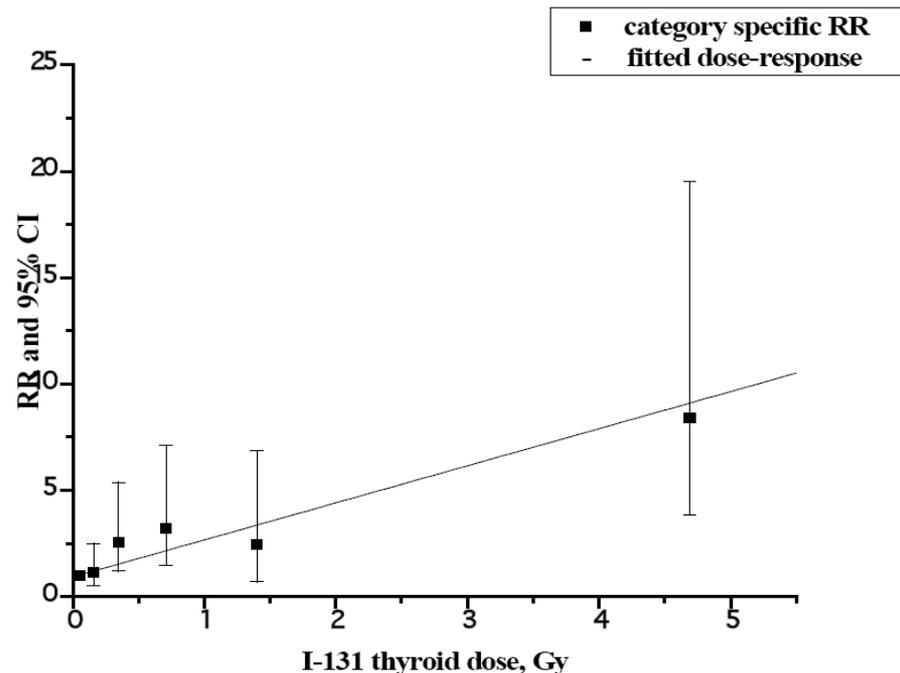


Figure 2 Categorical odds ratios and fitted dose-response lines

Données récentes (2)

2. Brenner et al, 2011, Ukraine: Bilan actualisé sur 12514 personnes de moins de 18 ans à l'exposition avec examen entre 2001 et 2008, 65 cas.

- Doses de 0 à 32,8 Gy, médiane 0,23 Gy
- Excès de risque relatif par Gy: 1,91 (IC 95%: 0,43-6,34)
- Relation linéaire à la dose



Brenner et al, 2011

Les autres pathologies thyroïdiennes

- Deux types de pathologies sont étudiées, bien que la relation entre leur apparition et une irradiation ne soit pas démontrée: les nodules thyroïdiens et les thyroïdites auto-immunes
- Nodules thyroïdiens:
 - Incidence de 1 à 18% à la suite d'un screening de masse. Biais de screening?
 - Hatch et al (2010): Etude de 11850 individus examinés 12-14 ans après l'exposition: Pas de relation à la dose.
 - Skryabin et al (2010): Etude de 45 000 enfants examinés entre 1991 et 1996: pas de lien entre taille de la thyroïde et exposition.
- Thyroïdites auto-immunes:
 - Nombreuses description d'augmentation des anticorps anti-thyroïde
 - Mais pas de confirmation dans les études de cohorte (Eheman et al., 2003)
 - La détection d'Ac n'est pas suffisante pour définir une thyroïdite

Les pathologies thyroïdiennes: conclusions

1. Excès de risque lié à l'exposition aux iodes radioactifs clairement démontré.
2. ERR varie selon des études entre 1.9 et 5.6, relation linéaire avec la dose.
3. L'excès de risque due à la contamination interne par les iodes radioactifs n'est pas significativement différent de l'excès de risque du à une irradiation interne
4. Risque plus élevé chez les enfants de moins de 5 ans à l'exposition, chez les femmes et chez les personnes carencées en iode.
5. Le risque persiste à l'âge adulte, mais avec un changement de la nature des tumeurs (folliculaires chez les adultes).
6. Pas d'apparition de pathologie non-cancéreuse démontrée par les études de cohorte
7. Facteurs confondants?

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Les autres pathologies cancéreuses

Les leucémies

- L'une des pathologies cancéreuses dont la relation à la dose d'irradiation est la mieux connue:
 - Hiroshima-Nagasaki: Preston et al, 2003
 - Radiologistes: Yoshinaga et al, 2004
 - Radiothérapie: Ron, 2003
- Cependant, les doses équivalentes à la moelle osseuse estimées sont faibles, en général inférieures à 10 mSv pour la population générale.
- Essentiellement des études analytiques.

Etudes analytiques

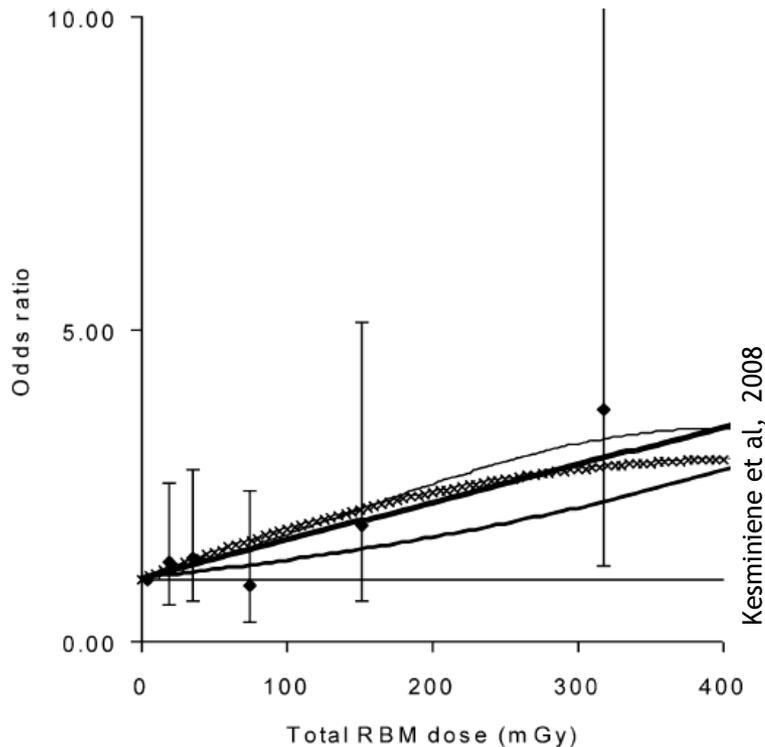
- Enfants nés en 1986 et 1987 (exposition in utero): Pas d'évidence d'excès de leucémies, mais faible nombre de cas (UNSCEAR, 2008)
- Etudes de registre sur les enfants de moins de 15 ans à l'exposition (notamment en Europe): non démonstratives (Parkin et col., 1996)
- Deux études montrent une association significative entre risque de leucémies et dose équivalente à la moelle osseuse supérieure à 10 mSv en Ukraine (Noshchenko et col., 2002, 2010). Cependant, critiques sur la méthodologie utilisée.
- Une étude couvrant les trois pays montre la même association, mais suggère un biais possible dans l'estimation de l'exposition (Davis, et coll, 2006).

Convergence des trois études, mais doutes sur les résultats obtenus

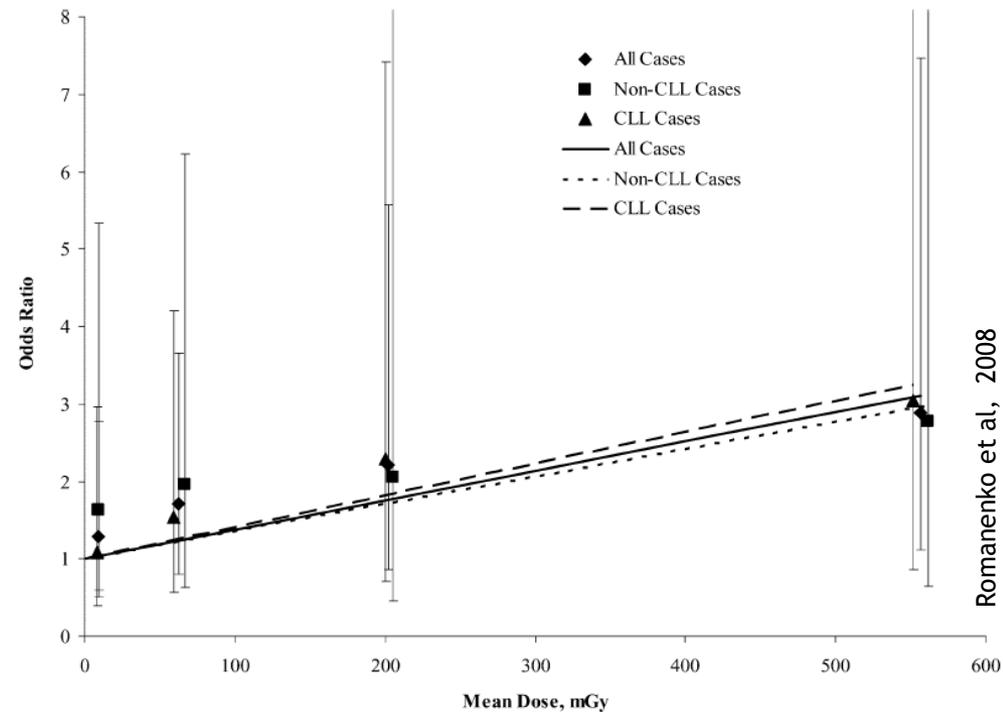
Leucémies chez les liquidateurs

- Population ayant reçu les doses les plus élevées
- Reconstruction dosimétrique RADRUE

Kesminiene et col, 2008:
ERR de 0,5/100mGy à la moelle osseuse
(CI: 0,38-5,7), hors CLL



Romanenko et col, 2008:
ERR de 3,44/Gy à la moelle osseuse (CI:
0,47-9,78), hors CLL



Leucémies chez les liquidateurs (2)

- Résultats concordants entre les différentes études, incidence des leucémies augmentée
- Résultats également concordants avec ceux du suivi de la cohorte Hiroshima-Nagasaki
- Mais...
 - Incertitudes sur la dosimétrie: conduit à l'utilisation de catégories de doses (RADRUE)
 - Faible nombre de cas.
- Temps de latence?
 - Hiroshima-Nagasaki: 2-5 ans.
 - Temps de latence plus long chez les liquidateurs (10 ans?)(Ivanov et col., 2003)
 - Rôle de l'âge à l'exposition? Débits de dose faibles?

Il est nécessaire de poursuivre les études sur les cohortes de liquidateurs afin de confirmer ces résultats

Les autres cancers

- Revue des études russes par Yablokov et Nesterenko (2009): Très forte augmentation de l'incidence des tumeurs solides dans la population générale.
 - Affirmation basée uniquement sur une statistique simpliste à partir de registres, pas de prise en compte des facteurs confondants
 - Approche « idéologique » de l'analyse des données
- Ivanov et col., 2004: augmentation de l'incidence des tumeurs solides (toutes natures) par rapport à la population générale. Influence d'un biais de sélection?
- Pukkala et col., 2006: augmentation de l'incidence des tumeurs du sein. Mais pas de prise en compte de facteurs confondants (âge à la 1^{ère} grossesse, facteurs hormonaux et alimentaires, etc..). Nécessite confirmation
- Romanenko et col, 2003: analyse de biopsies rénales de personnes contaminées par ingestion de ^{137}Cs : lésions rénales précancéreuses

Nécessité de suivre les populations par des études coordonnées au niveau international (Williams et coll., 2010)

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Les pathologies non cancéreuses

- Mise en évidence récente de pathologies cardio-vasculaires radio-induites: Cohorte de Hiroshima-Nagasaki, études de patients de radiothérapie (Voir T3, F. Milliat et M. Benderitter).
- Augmentation de l'incidence des cataractes radio-induites parmi la cohorte de Hiroshima-Nagasaki.
- Il y a-t-il des pathologies non cancéreuses parmi les populations exposées à l'accident de Tchernobyl?
 - Pathologies cardio-vasculaires
 - Cataractes
 - Anomalies du système immunitaire

Les Pathologies cardio-vasculaires

- Terme regroupant de nombreuses pathologies: péricardites, hypertension, pathologies ischémiques, ...
- Revue des données par l'UNSCEAR (2006): risque de décès par pathologie cardio-vasculaire faible voire inexistant pour les doses d'irradiation globale inférieure à 1 Gy
- Recherche de ces pathologies parmi les populations les plus exposées, c'est-à-dire les liquidateurs.
 - Augmentation significative du risque de pathologie ischémique (ERR de 0,41/Gy), d'hypertension (ERR de 0,36/Gy), et de pathologie cérébro-vasculaire (ERR de 0,45/Gy)(Ivanov et col, 2006)
 - Pas d'augmentation du risque chez les liquidateurs estoniens (Rahu et col., 2006)
- Pathologies clairement associées aux dommages radio-induits aux cellules endothéliales (Voir Tutoriale de F. Milliat): Nécessité de prendre en compte les facteurs confondants (alcool, tabac, obésité)
- Rôle de la contamination interne par ^{137}Cs sur le métabolisme cardiovasculaire? (Gueguen et col., 2008)

Le système immunitaire

- Système particulièrement sensible aux effets déterministes (<0,5 Gy)
- Existence de déficits à long terme après radiothérapie ou irradiation chronique à faible dose.
- Quelques effets déterministes décrits chez les liquidateurs, mais normalisation dans l'année.
- Pas d'effets majeurs décrits, que ce soit parmi les liquidateurs, dans la population générale ou chez les enfants (WHO forum, 2006).
- Etudes ciblées sur des enfants contaminés par ^{137}Cs ou iodes radioactifs:
 - Baisse du taux d'Ig (Titov et col, 1995)
 - Altération des populations CD4 et CD8 (Vykhovanets et col, 2000)
 - Rôle de la contamination interne?

Les cataractes

- Etude d'une cohorte d'enfants âgés de 5-17 ans à l'exposition vivant dans la zone de contrôle strict (Day et col., 1995):
 - Excès significatif de CSP
 - Association avec la consommation de champignons: ^{137}Cs ?
 - Apparition à l'âge de 12-17 ans.
- Etude d'une cohorte de 8600 liquidateurs Ukrainiens: OR pour les cataractes de 1,70 (1,22-2,38) à 1 Gy (Worgul et col, 2007).
Seuil d'apparition entre 0,6 et 1 Gy?
- Résultats en accord avec d'autres études :
 - Radiothérapie pédiatrique (Hall et col., 1999)
 - Hiroshima-Nagasaki (Neriishi et col, 2007)

Nécessite la poursuite des études sur les cataractes radio-induites, en particulier pour confirmer l'existence d'un seuil

IRSN

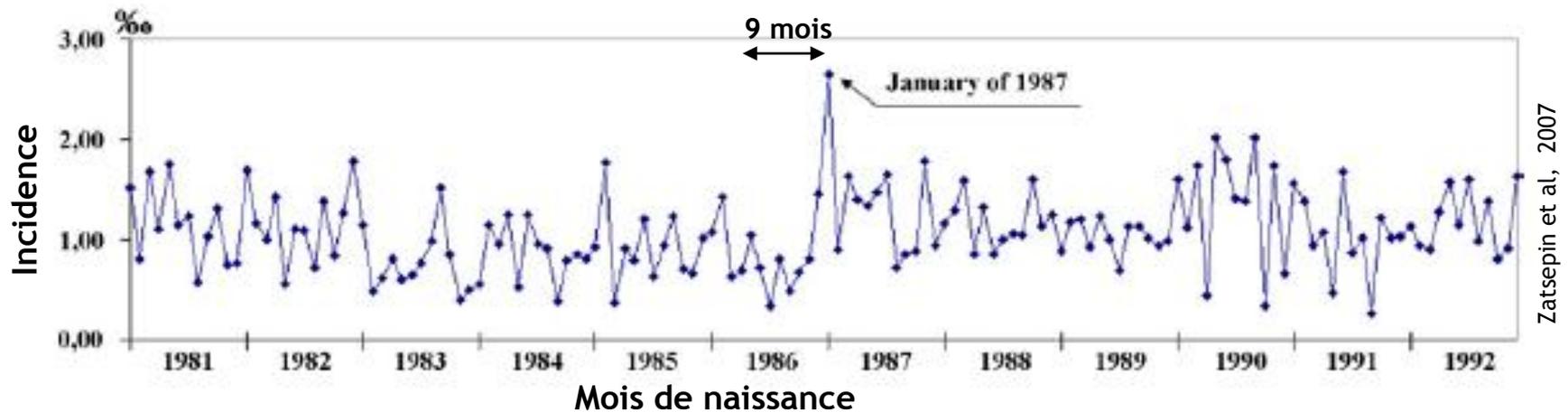
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Les effets congénitaux

- Préoccupation majeure du public
- Difficulté à mettre en évidence ce type d'atteintes du fait de la fréquence très faible dans les populations non exposées
- Très peu d'études ont mis en évidence des effets congénitaux directement attribuables aux retombées de l'accident
 - Trisomies 21 en bielorussie (Zatsepin *et al.*, 2007) et à Berlin (Sperling *et al.*, 1994)
 - Malformations du tube neural dans une région particulièrement contaminée du nord de l'Ukraine (Wertelecki, 2010)

Les trisomies 21

- Etude portant sur les registres de naissances de 4 des 6 oblasts Biélorusses, de 1981 à 1992.
- Représente 1484 cas de trisomie 21
- Pic d'incidence 9 mois après l'accident.



Zatsepin et al., 2007

- Serait associé à une période de radiosensibilité particulière de l'oocyte juste avant l'ovulation
- Cependant, pas de mesure directe de l'exposition des mères.

Les malformations congénitales

- Etude d'un oblast (Rivne) dont la partie nord a été fortement contaminée ($37\text{-}185\text{KBq.m}^{-2}$)
- 96 438 naissances de 2000 à 2006, dont 43 392 dans la partie nord et 53 046 dans la partie sud
- Recherche des malformations du tube neural, anomalies des jumeaux, tératomes, microcéphalies et microphthalmies
- Comparaison des fréquences entre nord et sud de l'oblast
- Comparaison avec les fréquences de différentes régions européennes



Werterlecki, 2010

Risques relatifs entre nord et sud

- Le risque de malformation congénitale est significativement plus élevé dans le nord que dans le sud de l'oblast
- Comparaison avec les fréquences en Europe dans 50 registres: fréquences les plus élevées

Fréquence des MTN pour 10⁴ naissances

Polissia	27.0
Rivne	18.3
Europe	9.4 (15.7)

	Polissia vs Non-Polissia		
	P ^a	OR ^b	CI ^c
All births (2000–2006)	NA	NA	NA
NTDs	0.003	1.46	1.13–1.93
Isolated	0.006	1.47	1.09–1.96
Omphalocele	0.28	0.61	0.21–1.62
Conjoined twins	0.59	0.82	0.07–7.12
Teratomas	0.15	3.06	0.50–32.1
Microcephaly	0.02	2.8	1.15–6.79
Microphthalmos	0.03	4.89	1.04–23.03
All	0.0003	1.52	1.20–1.91
Isolated	0.006	1.41	1.08–1.82
Not isolated	0.005	2.17	1.22–3.87

Werterlecki, 2010

- Associé au mode de vie: consommation de produits agricoles et forestiers contaminés dans la partie nord de l'oblast
- Mais pas de mesure directe de la contamination des individus

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Les conséquences psychologiques

- La peur de la contamination radioactive:
 - Danger invisible
 - Mesurable uniquement pas des spécialistes (combinaisons...)
 - Effets mal connus
- De nombreux aspects des conséquences de l'accident ont pu induire l'apparition de troubles psychologiques
 - Evacuation et relogement
 - Changement dans les habitudes alimentaires
 - Restriction des activités (agricoles, cueillette, ...)
- Ces troubles sont de nature très divers:
 - Augmentation du stress, de l'anxiété
 - Troubles du sommeil
 - Dépression, suicide
 - Désordres psychologiques sévères
- Troubles directement ou indirectement liés à l'exposition
- Aggravés par les changements socio-économiques liés à la disparition de l'ex URSS (1991)

Lien avec l'exposition réelle?

- Augmentation du stress et de l'anxiété parmi la population de plusieurs villages d'Ukraine et de Biélorussie. Aucun lien avec le niveau de contamination des territoires correspondants (Ginzburg et col, 1993)
- Etat de dépression et d'anxiété plus importants chez les populations évacuées (Havenaar et col, 1996) qu'en population générale
- Même résultat chez les mères d'enfants âgés de moins de 18 ans au moment de l'accident (Havenaar et col, 1997).
- Augmentation des désordres psychosomatiques chez les femmes des territoires exposés (Bromet et col, 2002).

Dans toutes ces études, aucun lien avec le niveau d'exposition de la population étudiée.

Les liquidateurs

- Cohorte Lithuanienne (1440 liquidateurs): Incidence élevée de symptômes de dépression, en lien direct avec la durée de séjour dans la zone des 30 Km et le lieu de travail (toit du réacteur, forêt, ...)
- Cohorte Estonienne (4700 Liquidateurs): Taux de suicide significativement supérieur à la population générale (SMR: 1,32; IC: 1,03-1,69)(Rahu et col, 2006)
- Groupe de liquidateurs Ukrainiens (295 personnes): taux élevé de syndrome post-traumatique (Loganovsky et col, 2008)

Les effets psychologiques

- Difficiles à cerner et à étudier
- Incidence très nettement augmentée dans toutes les populations étudiées
- Lien avec l'exposition difficile à mettre en évidence
- Facteurs confondants majeurs: changements socio-économiques dans les pays de l'ex-URSS
- Multiplicité des autres facteurs confondants

Voir: Bromet et col, Clin Oncol, 23(4):297, 2011

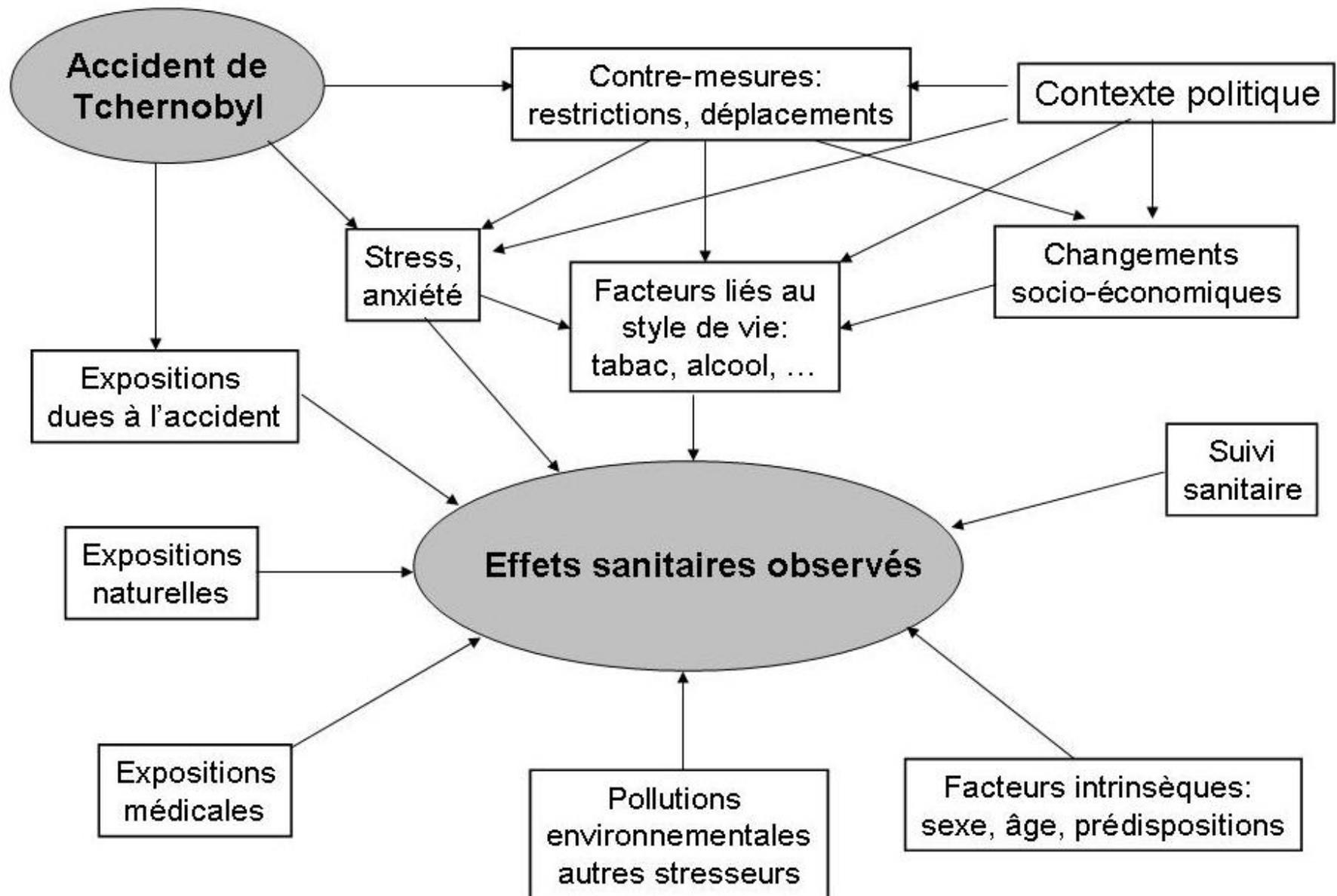
IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Tchernobyl, 25 ans après: que peut-on encore apprendre?

1. Nécessité de poursuivre les études, coordonnées au niveau international
2. Cancers de la thyroïde: risque lié à une contamination interne similaire à celui d'une exposition externe
3. Leucémies et cancers solides: incidences en augmentation, résultats à confirmer
4. Cataractes: seuil plus bas qu'attendu. Etudes à poursuivre
5. Influence de la contamination interne?
 - a. Effets congénitaux
 - b. Effets cardio-vasculaires
 - c. Effets rénaux

Les effets confondants



IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Remerciements chaleureux à ...

Margot Tirmarche

Isabelle Dublineau