

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# Contamination interne en situation post-accidentelle: Une multi- pollution à prendre en compte?

**Jean-Marc BERTHO, Stefania MUSILLI  
et Karine TACK**

IRSN / PRP-HOM / SRBE /  
Laboratoire de radiotoxicologie expérimentale  
Fontenay aux roses



*SFRP 2017, Lille*

# L'exposition post-accidentelle et les conséquences sanitaires

- Rejets massifs d'une grande variété de radionucléides dans l'environnement à la suite des accidents nucléaires majeurs.
- A long terme, seuls une partie d'entre eux est significatif pour la radioprotection des populations:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  et  $^{90}\text{Sr}$  pour l'essentiel.
- L'étude des effets sanitaires des expositions à long terme en situation post-accidentelle reste un enjeu sociétal fort...
- ... Et l'objet de nombreux débats et controverses.
- Nombreuses études d'épidémiologie, d'impact sur la biologie des systèmes ou sur les effets psychosomatiques

# Les études chez l'homme

- Etudes épidémiologiques post-Tchernobyl:
  - Cancers de la thyroïde (Kazakov, 1992, Stsjazhko et al., 1995), leucémies chez les liquidateurs (Kesminiene, 2008) et parmi la population (Davis et col., 2006)
  - Pathologies cardiovasculaires chez les liquidateurs (Ivanov et al., 2006), cataractes chez les liquidateurs et dans la population (Day et al, 1995, Worgul et al, 2007)
- Nombreuses études descriptives de pathologies somatiques variées sur des populations de taille limitée:
  - Modifications du système immunitaire (Titov, 1995, McMahon, 2014)
  - Pathologies thyroïdiennes (Eheman, 2003)
  - Effets congénitaux (Wertelecki, 2010, Sperling, 1994)
- Mais: nombreuses incertitudes sur les expositions.

# Evolution temporelle de l'exposition

- Etude dans la région de Briansk
- La dose annuelle effective diminue avec le temps
- L'importance relative de l'exposition interne augmente avec le temps
- La nature et le niveau d'exposition sont fortement dépendants de facteurs sociaux et environnementaux

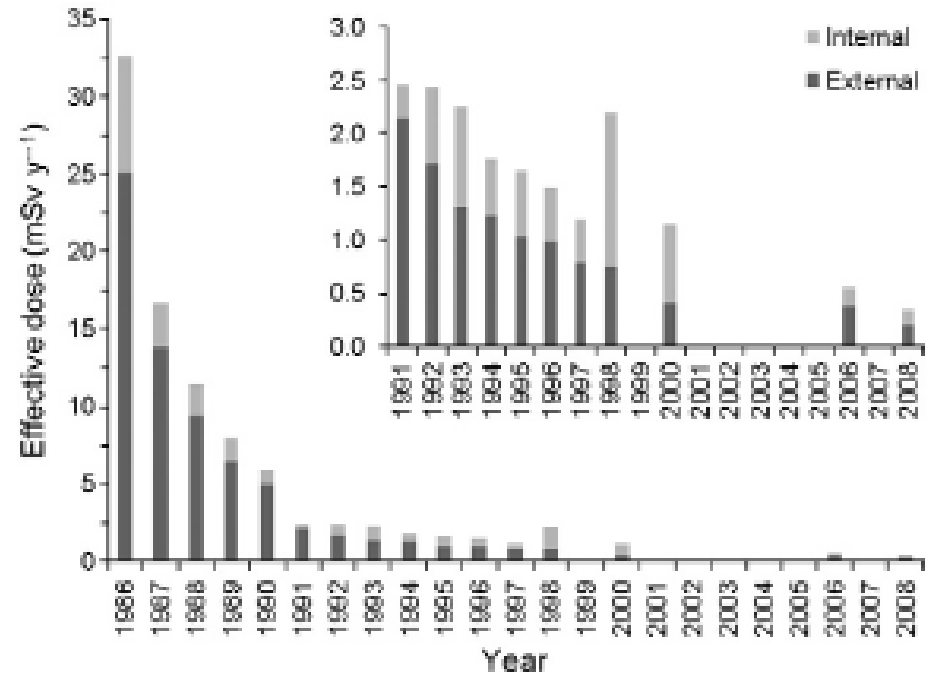
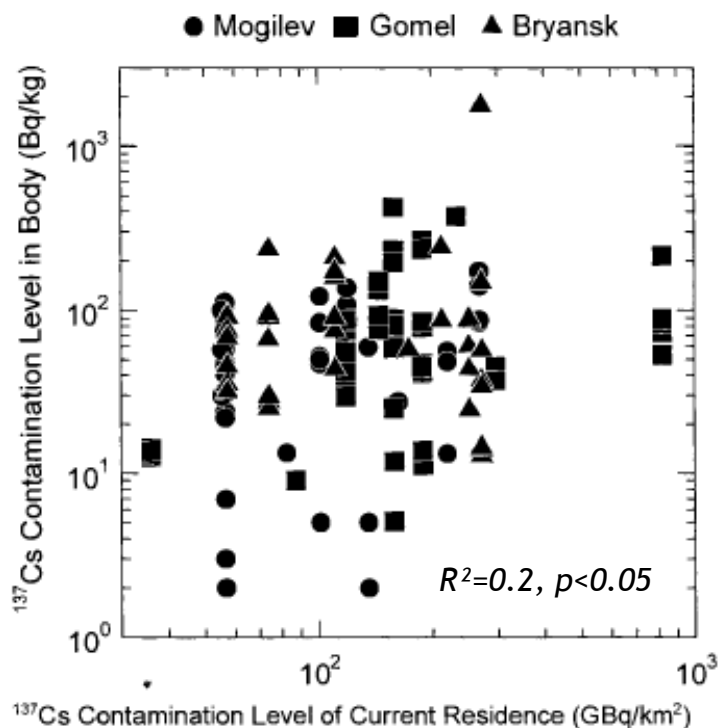


Fig. 2. Average annual effective dose from external and internal exposure in villages in the Bryansk region from 1986 to 2008. Inset: average annual effective dose from external and internal exposure in villages in the Bryansk region during the "late phase". N.B. the effective doses were averaged over all age groups in all villages visited within a given year.

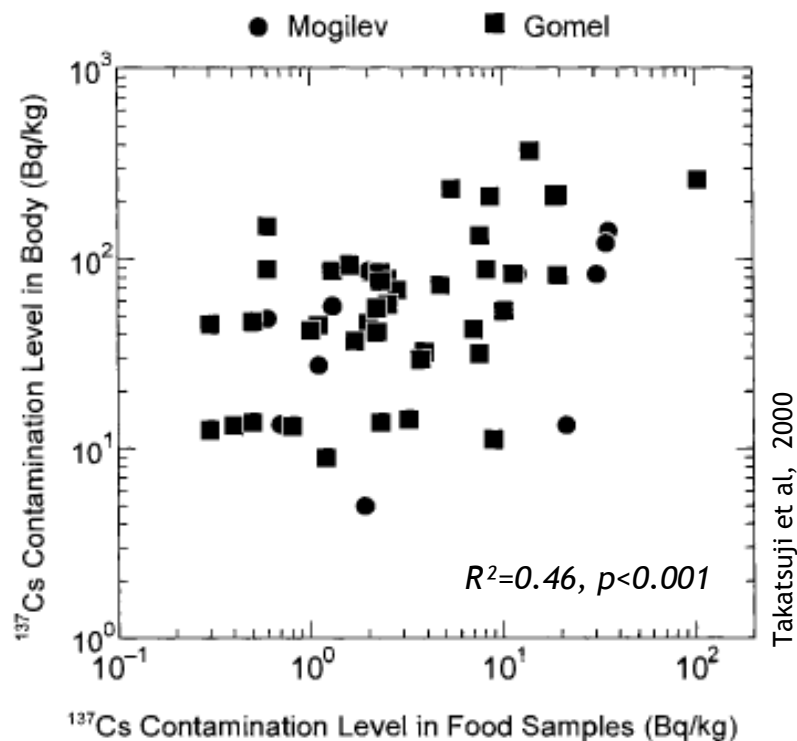
Bernhardsson et al, 2011

# Relation entre contamination des sols, ingestion de RN et mesures anthroporadiamétries

Contamination régionale en  $^{137}\text{Cs}$  et anthroporadiamétrie



Contamination de l'alimentation en  $^{137}\text{Cs}$  et anthroporadiamétrie

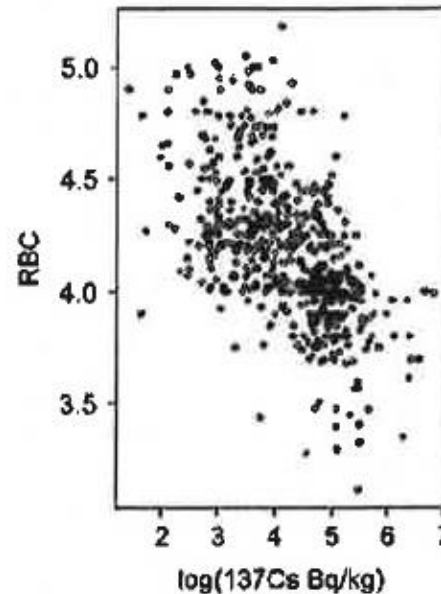


# Effets sur les cellules sanguines

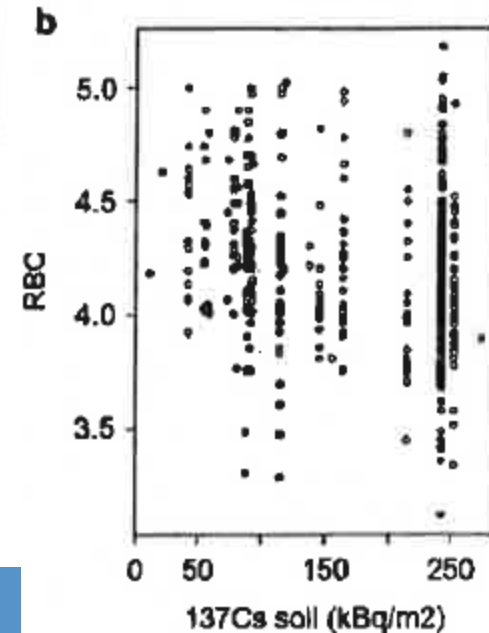
- Une étude récente d'intérêt:
- 590 enfants âgés de 0 à 18 ans, nés après l'accident.
- Numération des cellules sanguines, comptage corporel et comptage du sol
- Diminution du nombre de globules rouges, de plaquettes et de la concentration en hémoglobine
- Corrélation avec le comptage corps entier
- Corrélation beaucoup moins évidente avec la contamination des sols.

Suggère que c'est bien la contamination interne qui est responsable de l'effet observé.

Validité des études corrélant contamination des sols et effets sanitaires observés? ?

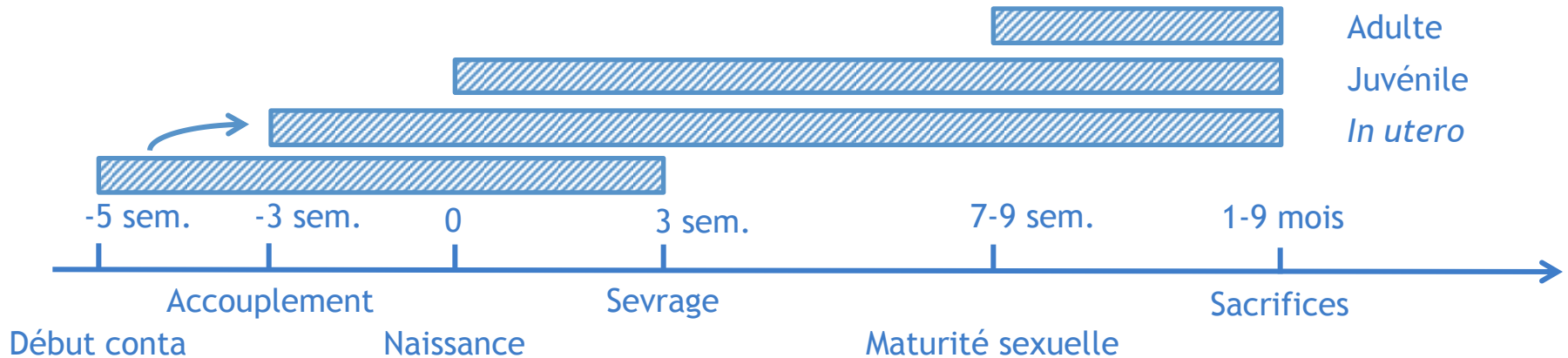


Lindgren et al, 2015



# Les études chez l'animal

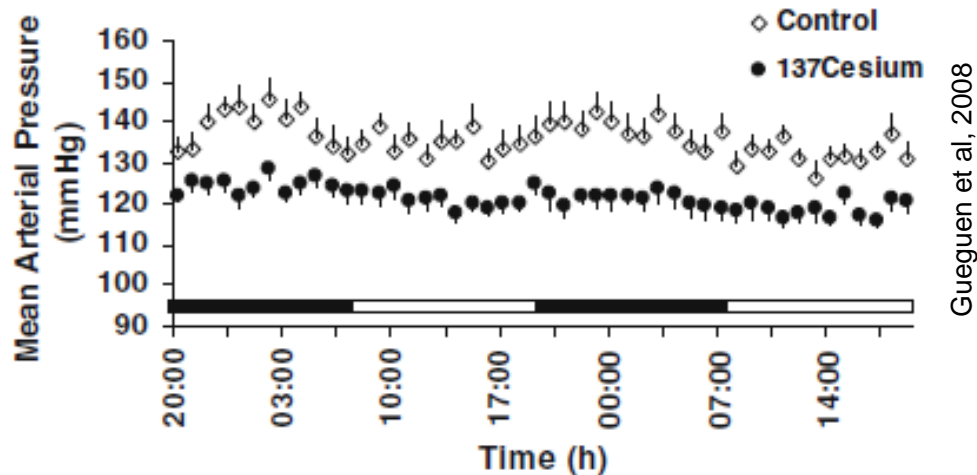
## Etudes de contamination chronique: les études chez le rongeur



- Mise en évidence de nombreux effets biologiques de faible amplitude sur le sommeil (Lestaevel et col., 2006), le métabolisme des oxystérols (Souidi et col., 2006, Grignard et col., 2007)
- La plupart de ces effets biologiques ne conduisent pas à l'apparition de désordres significatifs ou de pathologies
- Pour d'autres systèmes physiologiques, peu ou pas d'effet: Jejunum (Dublineau et col., 2007); système immunitaire (Bertho et col., 2010); Système hématopoïétique (Bertho et col., 2010)

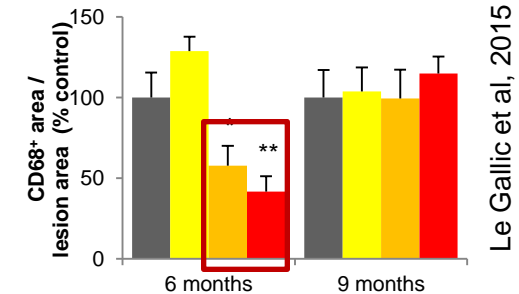
# Un effet cardio-vasculaire significatif?

- Mise en évidence d'un effet biologique significatif sur la fonction cardiaque (Gueguen et col., 2008) et sur la physiologie vasculaire (Le Gallic et col., 2015)



Gueguen et al, 2008

## CD68



Le Gallic et al, 2015

- En contradiction avec les observations faites par Y. Bandazhevsky (2003) chez des enfants vivant en Biélorussie: hypertension, anomalies du rythme cardiaque, etc...
- En contradiction également avec d'autres observations chez les liquidateurs (Ivanov et col., 2006)

*L'incertitude sur l'exposition peut-elle expliquer ces discordances?*



# Ingestion quotidienne de radionucléides, Bq.j<sup>-1</sup>

Produit	Quantité kg.j <sup>-1</sup>	De Ruig et al, 1992		Cooper et al, 1992		Hoshi et al, 1994		Handl et al, 2003	Shutov et al, 2002	
		<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
lait	1	15	4	80	7.9	44	6.5	54	7.8	1.8
P. de terre	0.5	1	0.25		-	-	-	4.5	0.28	0.55
légumes	0.3	0.3	0.15	30.6	2.7	-	-	0.2	0.8	0.9
Fruits	0.4	-	-	3.6	-	-	-	1.9	0.44	0.2
viande	0.2	-	-	1.2	-	-	-	4.0	2.1	0.1
poisson	0.05	-	-	17	-	-	-	0.6	11	3.95
œufs	0.014	-	-	-	-	-	-	0.04	0.05	0.025
Champignons	0.01	240	3.4	1310	1.65	61.1	1.18	2000		-
Baies sauvages	0.011	-	-	46.6	0.1	-	-	28	0.022	0.018
eau	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total <sub>1</sub> Bq.j <sup>-1</sup>		256.3	7.8	1489	12.35	105.1	7.68	2093	22.5	7.55

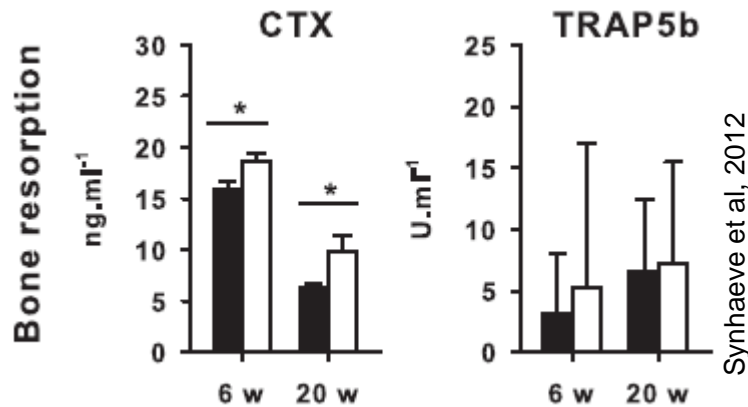
Ces données sont des moyennes... La variabilité est très élevée!!

# Le $^{90}\text{Sr}$ , un autre acteur potentiel

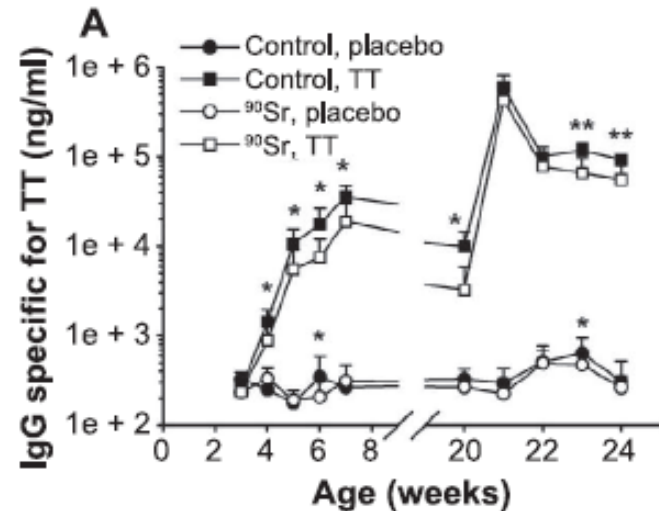
- Rémanent à long terme dans l'environnement
- Stockage dans l'os
- Mais:
  - Mesure difficile, nécessitant une préparation de l'échantillon
  - Prélèvement intrusif : os, dents.
- Etudes de la population vivant sur les bords de la rivière Techa
  - Augmentation du risque de tumeurs et de leucémies (Kossenko et col, 1996)
  - Accélération de la résorption osseuse, augmentation du risque d'ostéoporose (Tolstykh et col 2011)
  - Atteinte de l'hématopoïèse : diminution du nombre de globules blancs (Akleyev et col, 2010)

# Les études expérimentales

- Modèle de contamination chronique chez la souris
- Effets observés sur la physiologie osseuse (Synhaeve et col., 2012) et sur le système immunitaire (Synhaeve et col., 2016)



Synhaeve et al, 2012



Synhaeve et al, 2016

# Les effets d'une contamination multiple?

- Les effets observés avec le  $^{90}\text{Sr}$  ne permettent pas de tout expliquer...

*Hypothèse: La multiplicité de la contamination est le paramètre clé à prendre en compte*

- Une seule étude publiée d'étude des effets d'une co-contamination par  $^{90}\text{Sr}$  et  $^{137}\text{Cs}$ : Nishio, années 60

- Contamination chronique via l'eau de boisson
- Etude sur plusieurs générations
- Diminution de la capacité reproductive, déficits de croissance et diminution de l'espérance de vie.

- Mais pas de comparaison avec des groupes à exposition unique

- Donc pas de possibilité de définir l'existence d'effets supra-additifs.

- Or, la CIPR base ses recommandations sur l'additivité stricte des doses (i.e., des dépôts d'énergie)

## Dans la vraie vie ...

- Une contamination radiologique mais aussi chimique, avec une exposition complexe
- Les études de toxicité montrent très clairement des effets supra-additifs de mélanges de chimiques, même à très faibles concentrations
  - Etude Pericles: Mélanges de 2 à 6 pesticides retrouvés dans l'alimentation. Effets supra additifs démontrés *in vitro*
  - Projet RADAR: mélanges de 14 ou 19 polluants différents testés dans différents modèles *in vitro* et *in vivo*, au niveau du standard de qualité environnementale (EQS) : Nombreux effets biologiques significatifs démontrés
- Ces résultats questionnent très sérieusement le paradigme de protection de l'environnement par les EQS dès que des mélanges de polluants sont présents

# Les effets d'un mélange?

- L'extrapolation des données de toxicologie chimique à la contamination radiologique interne lève de sérieux doutes sur la validité de ce paradigme de l'additivité des doses
- De plus, le paradigme ne prend pas en compte d'autres facteurs:
  - Effets non linéaires des rayonnements ionisants à faible dose
  - Effets des tirs croisés
  - Effets chimiques des nucléides
- Encore moins d'études sur les effets d'un mélange de radionucléides et de polluants chimiques...
- ... ou l'effet du stress induit par la situation post accidentelle

*Il est impératif de tester l'effet de mélanges de radionucléides et de polluants chimiques à faibles concentrations sur les grandes fonctions physiologiques*

*Les résultats de telles études de multi pollution pourraient impacter significativement la vision actuelle de la radioprotection*

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

## Remerciements à ...

**N. Synhaeve**

**S. Musilli**

**K. Tack**

**F. Paquet**



*SFRP 2017, Lille*

# HEIR<sup>2018</sup>

12th International Conference on the  
Health Effects of Incorporated Radionuclides

October 8 - 11, 2018  
IRSN, Paris



**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Florence Ménétrier  
Jean-Marc Bertho*

DE LA RECHERCHE & L'INDUSTRIE  
**cea**