



INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Le bruit de fond des radionucléides artificiels dans les denrées alimentaires produites en France métropolitaine : origines, évolution au cours des dernières décennies et exposition de la population

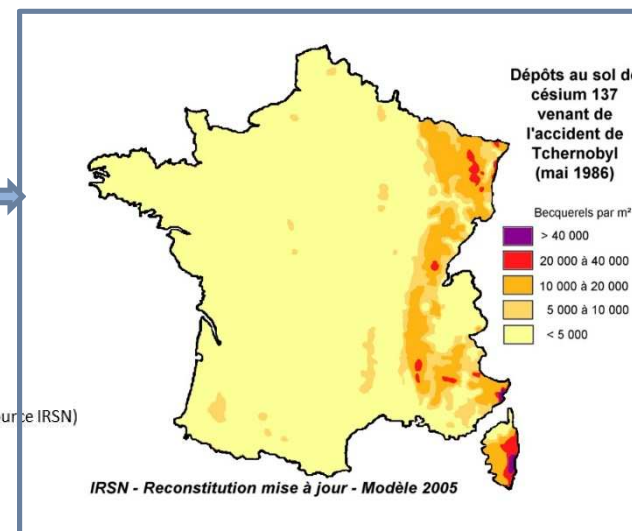
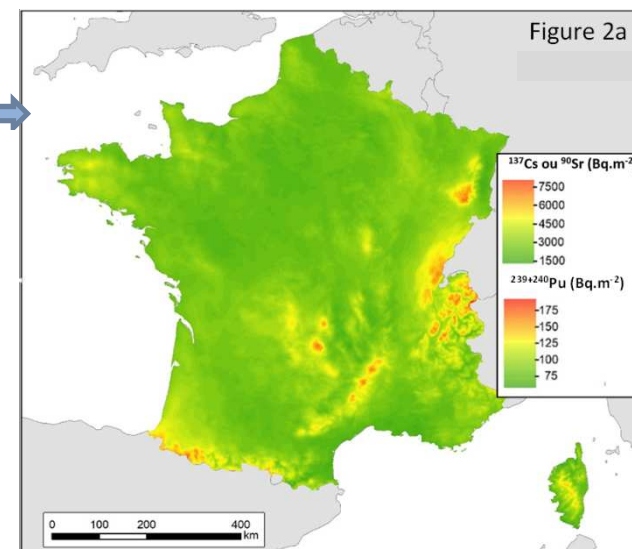
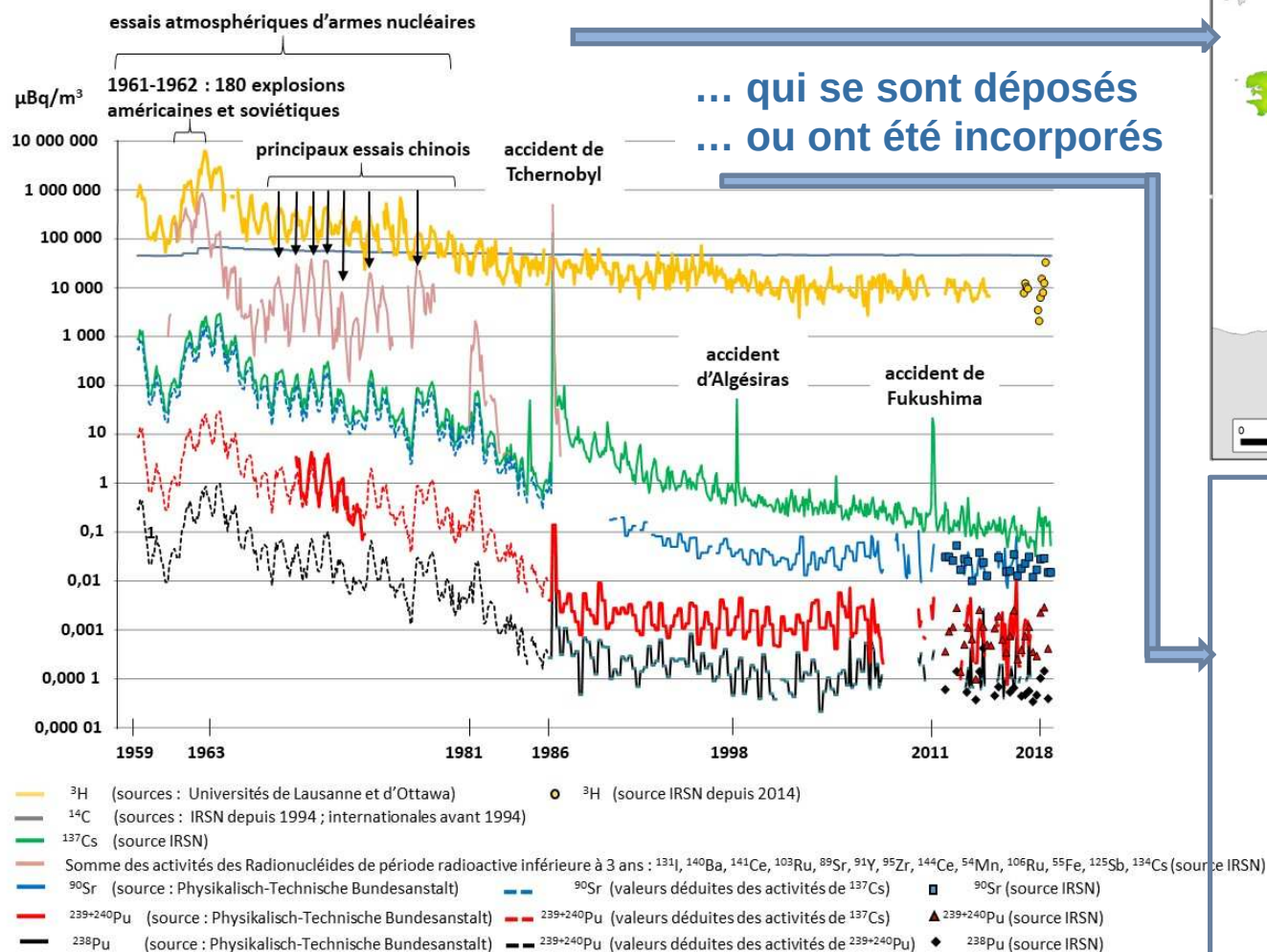
Philippe Renaud

Direction de l'environnement

**Journées « Faune, flore, denrées et radioactivité » de la SFRP ;
Paris 17-18 novembre 2021**

A l'origine du bruit de fond des radionucléides artificiels dans les denrées

Des radionucléides dans l'air...



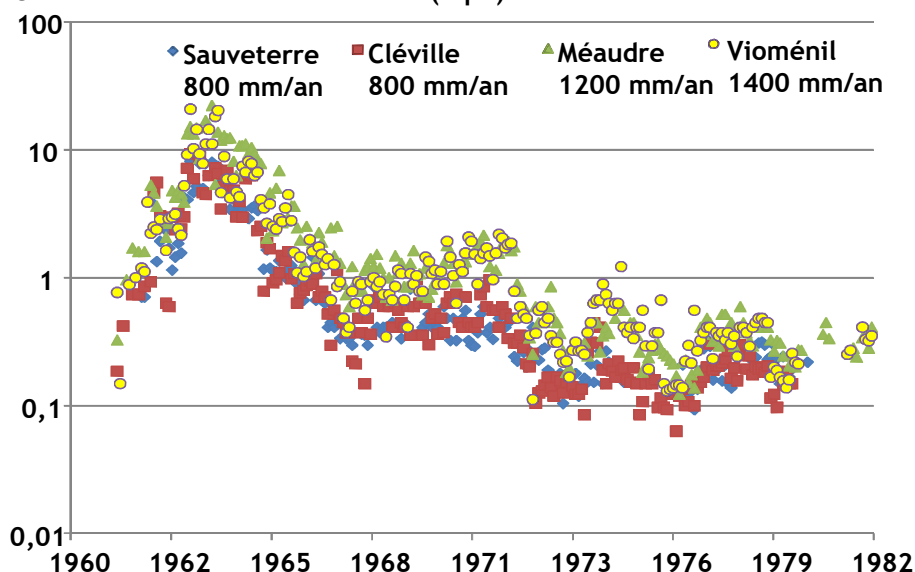
Les retombées au sol des essais nucléaires ont été corrélées aux précipitations moyennes annuelles

Celles de l'accident de Tchernobyl, aux précipitations entre le 1^{er} et le 5 mai 1986

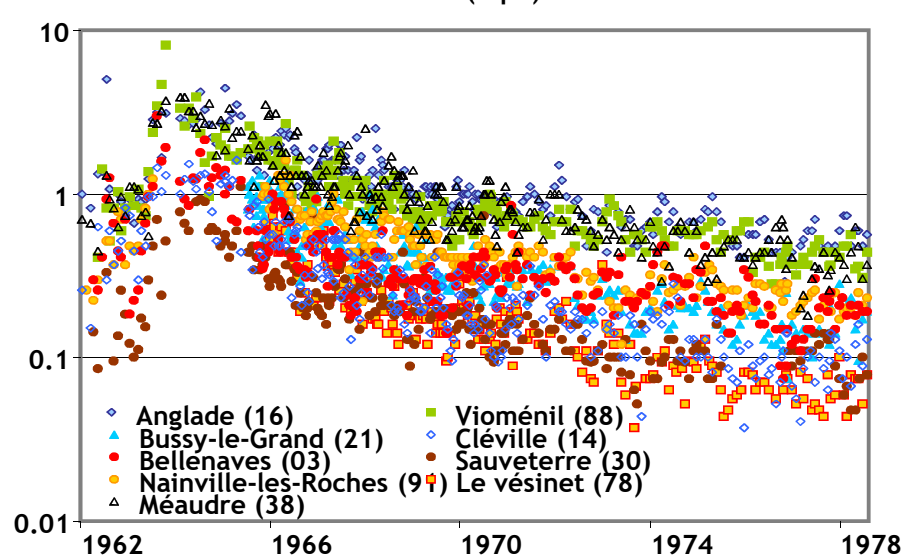
Evolutions temporelles et variabilité spatiale des activités des radionucléides dans les denrées durant les retombées des essais nucléaires

- Durant les retombées des essais nucléaires (jusqu'à 1980), la contamination des denrées résultait principalement de l'interception foliaire des dépôts radioactifs ;
- Les activités étaient corrélées aux précipitations moyennes annuelles
- toutefois la variabilité des pratiques agricoles et d'alimentation des animaux atténuait la variabilité spatiale liée aux précipitations

Césium 137 dans le lait de vache (Bq/L)



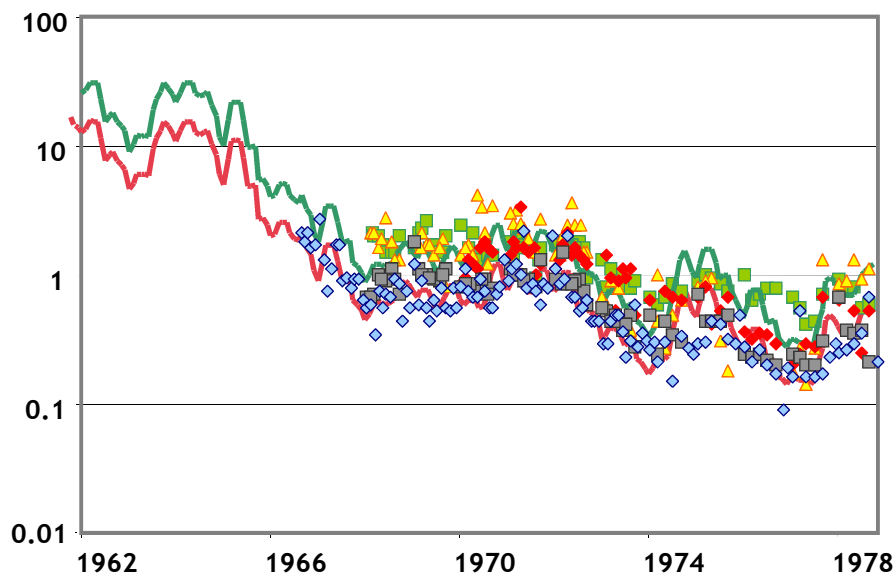
Strontium 90 dans le lait de vache (Bq/L)



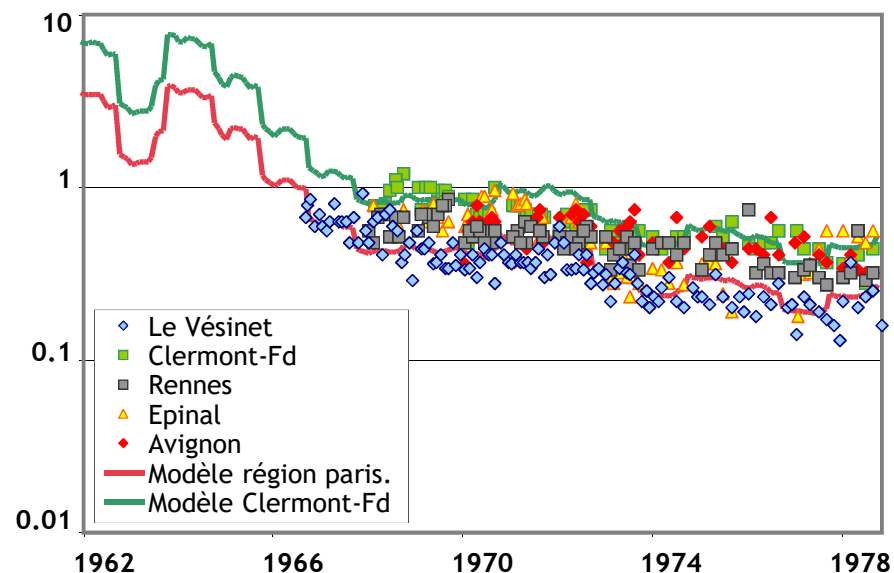
Evolutions temporelles et variabilité spatiale des activités incorporées durant les retombées des essais nucléaires

- Il en résulte que les activités incorporées quotidiennement par les personnes, estimées à partir des mesures faites sur les plateaux repas des établissements scolaires, étaient liées aux précipitations moyennes, mais de manière atténuée par rapport aux dépôts
- Les enfants d'Epinal (1200 mm/an) ont ainsi incorporés quotidiennement, durant cette période, 2,5 fois plus de césium 137 que ceux du Vésinet (650 mm/an)

Activités de césium 137 incorporées quotidiennement (Bq/j)



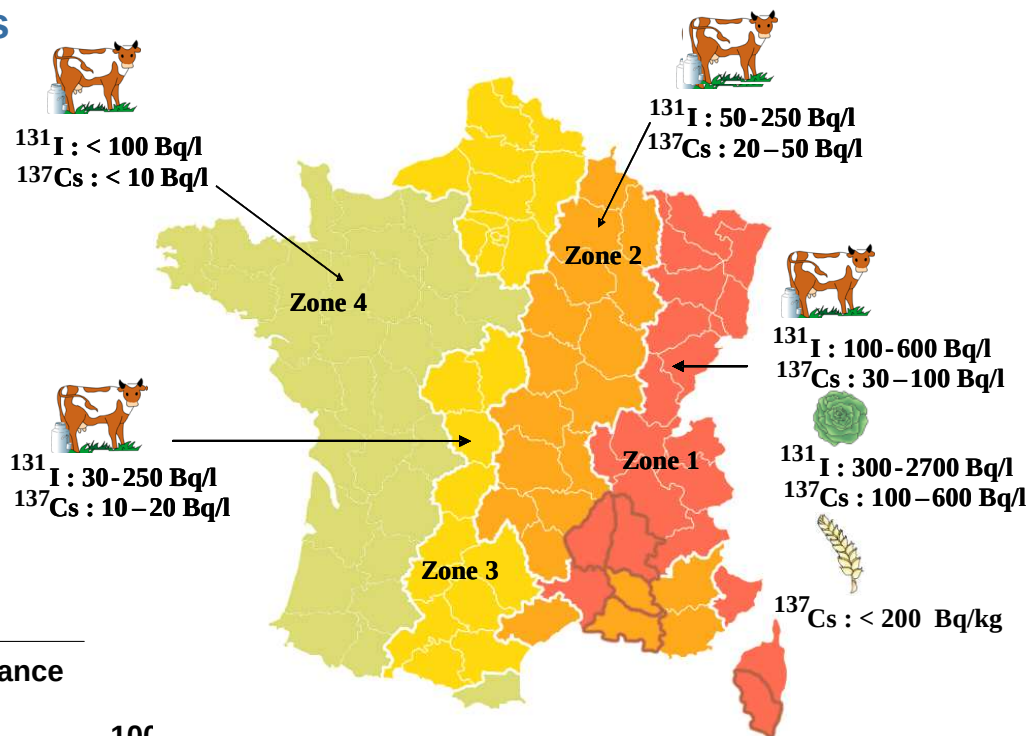
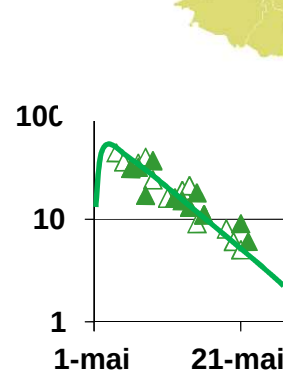
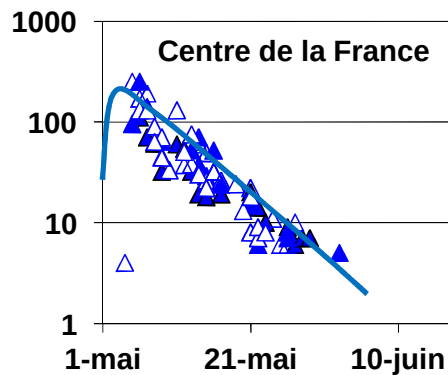
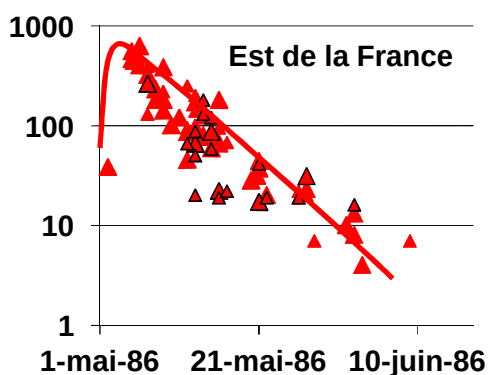
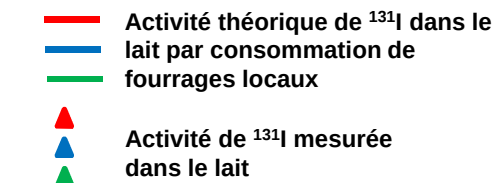
Activités de strontium 90 incorporées quotidiennement (Bq/j)



Evolution temporelle et variabilité spatiale des activités des radionucléides dans les denrées en 1986 (accident de Tchernobyl)

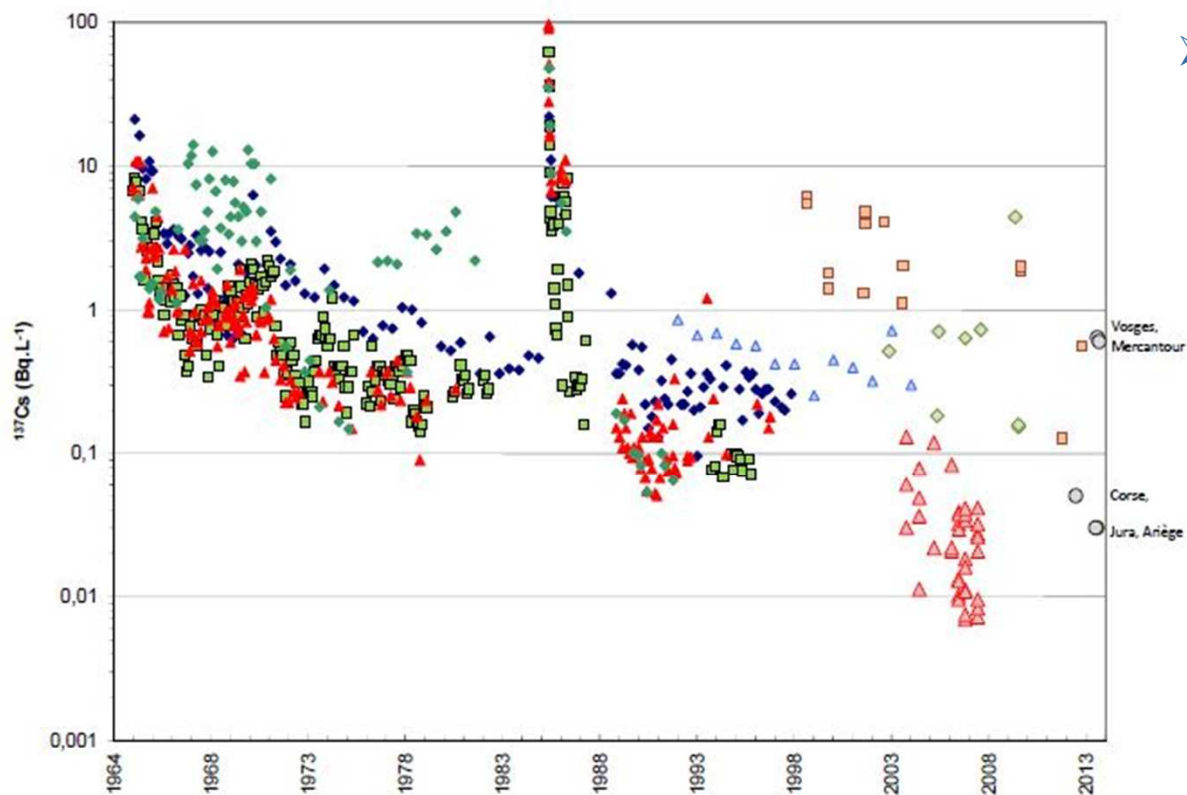
- Les activités de césium 134, 137 et d'iode 131 dans les denrées étaient corrélées aux dépôts et aux précipitations du 1^{er} au 5 mai 1986 ; mais pas proportionnellement (« saturation » de l'interception foliaire) , déterminant 4 grandes zones assez homogènes
- Une diminution de la contamination des légumes et du lait d'un facteur 100 à 1 000 en 1 mois (iode 131) à 2 mois (césium 137)
- Une contamination des autres denrées limitée par la date de l'accident

¹³¹I dans le lait en France en 1986 (Bq/L)



Evolutions temporelles et variabilité spatiale des activités des radionucléides dans les denrées depuis 1987

- Les caractéristiques des sols induisent des capacités de rétention variables des radionucléides
- De plus, les pratiques agricoles (notamment l'utilisation d'engrais) et d'alimentation des animaux (nature et origine des aliments), induisent une variabilité de l'intensité des transferts des radionucléides aux denrées



- Il en résulte que la variabilité régionale résultant des dépôts initiaux tend à s'estomper au fil des années

← Activités volumiques de césium 137 dans le lait produit dans des zones parmi les plus touchées par les retombées anciennes

Données SCPRI-OPRI :

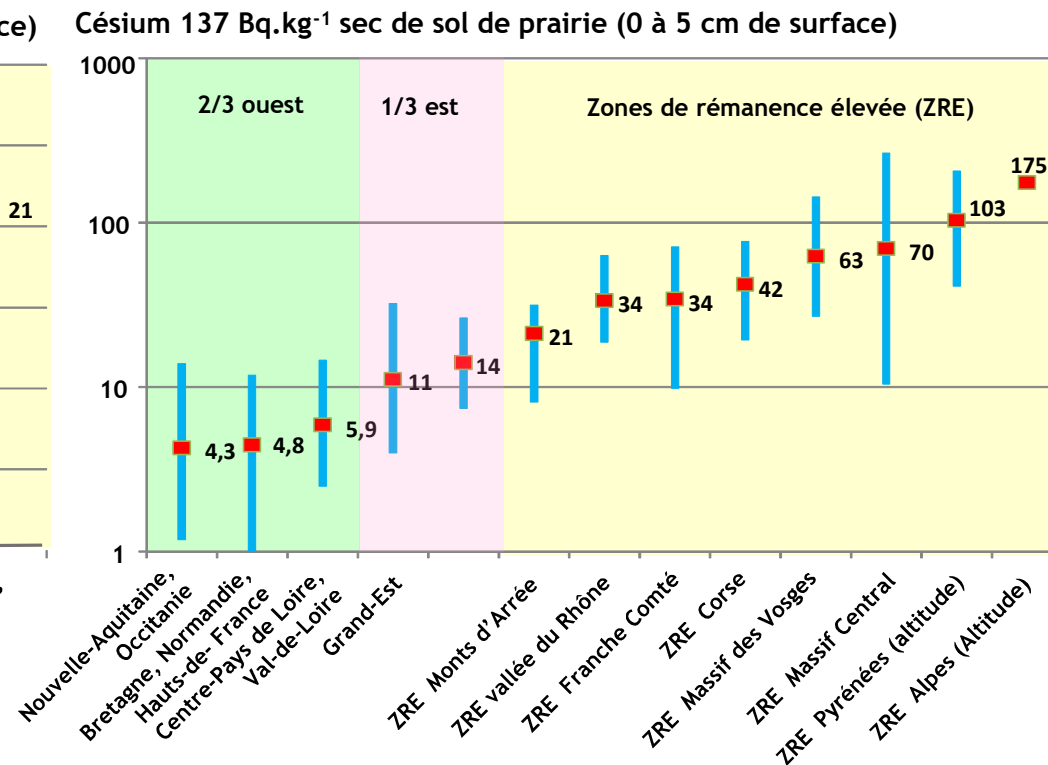
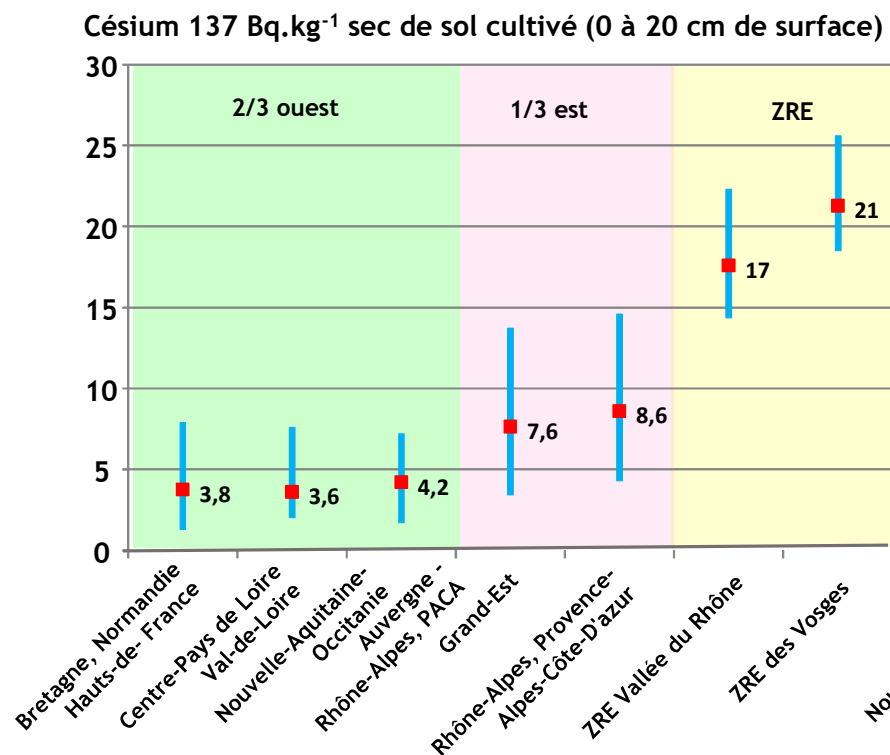
▲ Doubs et Jura ◆ Puy de Dôme ◆ Vosges ■ Viomenil (88)

Données IRSN :

▲ Doubs et Jura ▲ Beaune-le-Froid (63) ◆ Vosges ■ Isola2000 (06) ○ Constat Rémanence

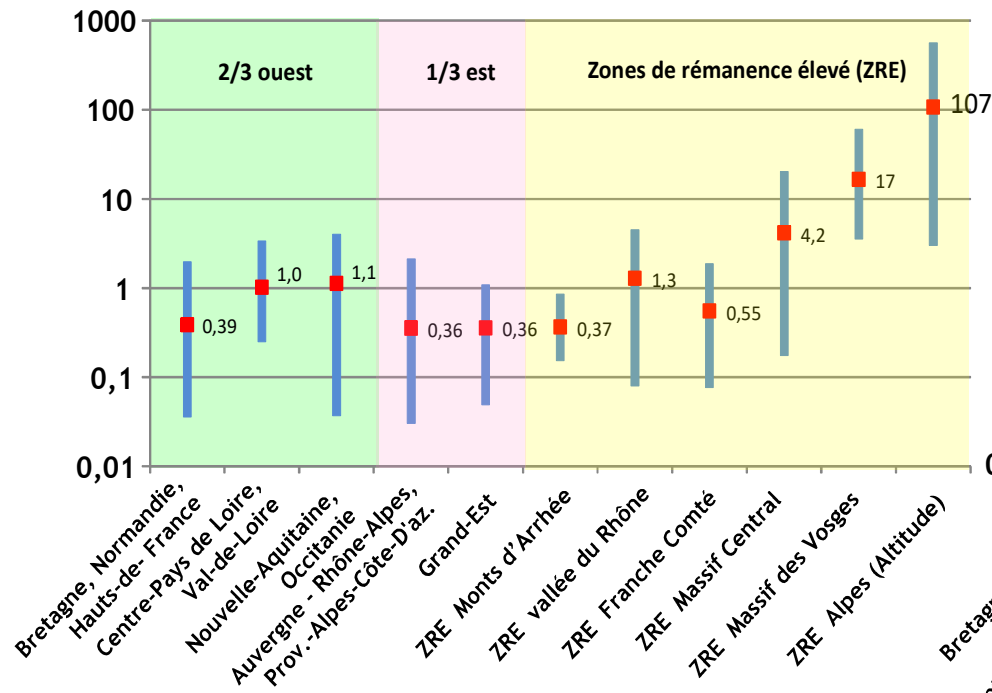
Variabilité spatiale des activités de césium 137 dans les sols mesurées sur la période 2008 -2019

- Malgré des capacités de rétention différentes, les activités de césium 137 mesurées dans les sols restent globalement cohérentes avec les cartes des dépôts initiaux (notamment la variabilité est-ouest des retombées de l'accident de Tchernobyl) ;
- Elles permettent aussi de distinguer des Zones de Rémanence Elevées (ZRE) des retombées anciennes

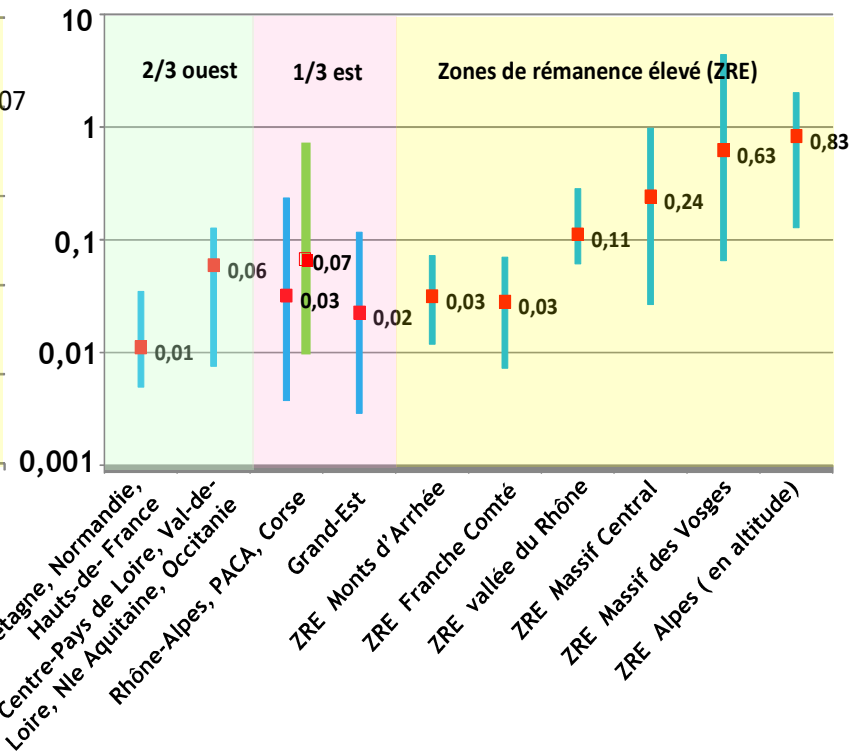


Variabilité spatiale des activités de césium 137 dans les herbages, le lait et les salades mesurées sur la période 2008 -2019

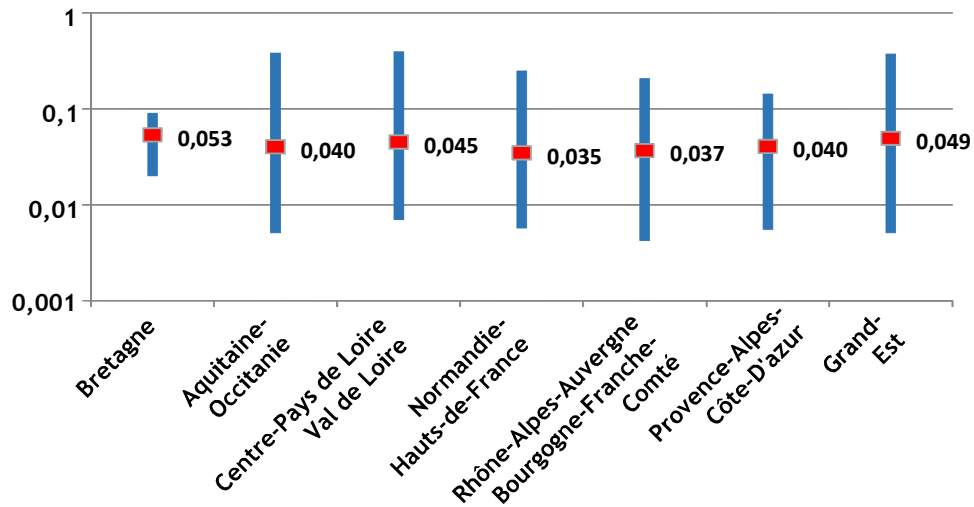
Césium 137 dans les herbages (moyenne, min et max en Bq/kg sec)



Césium 137 dans le lait (Bq/L)



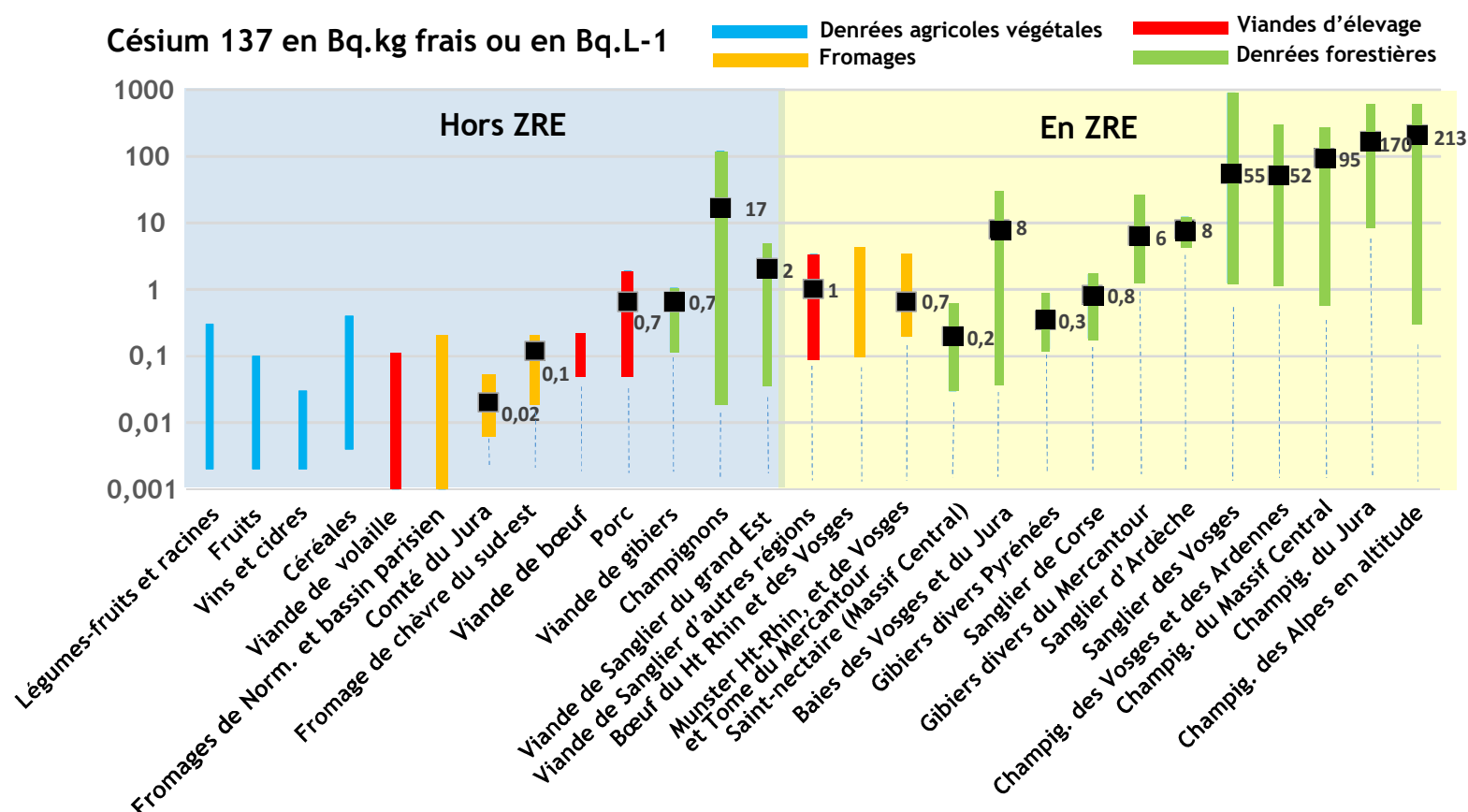
Césium 137 dans les salades (moyennes, min et max en Bq/kg frais)



- Les mesures révèlent des ZRE pour les herbages, le lait, les fromages et les viandes
- La variabilité des pratiques agricole écrase la variabilité spatiale pour les autres denrées

Activités de césium 137 dans les denrées terrestres sur la période 2008 -2019

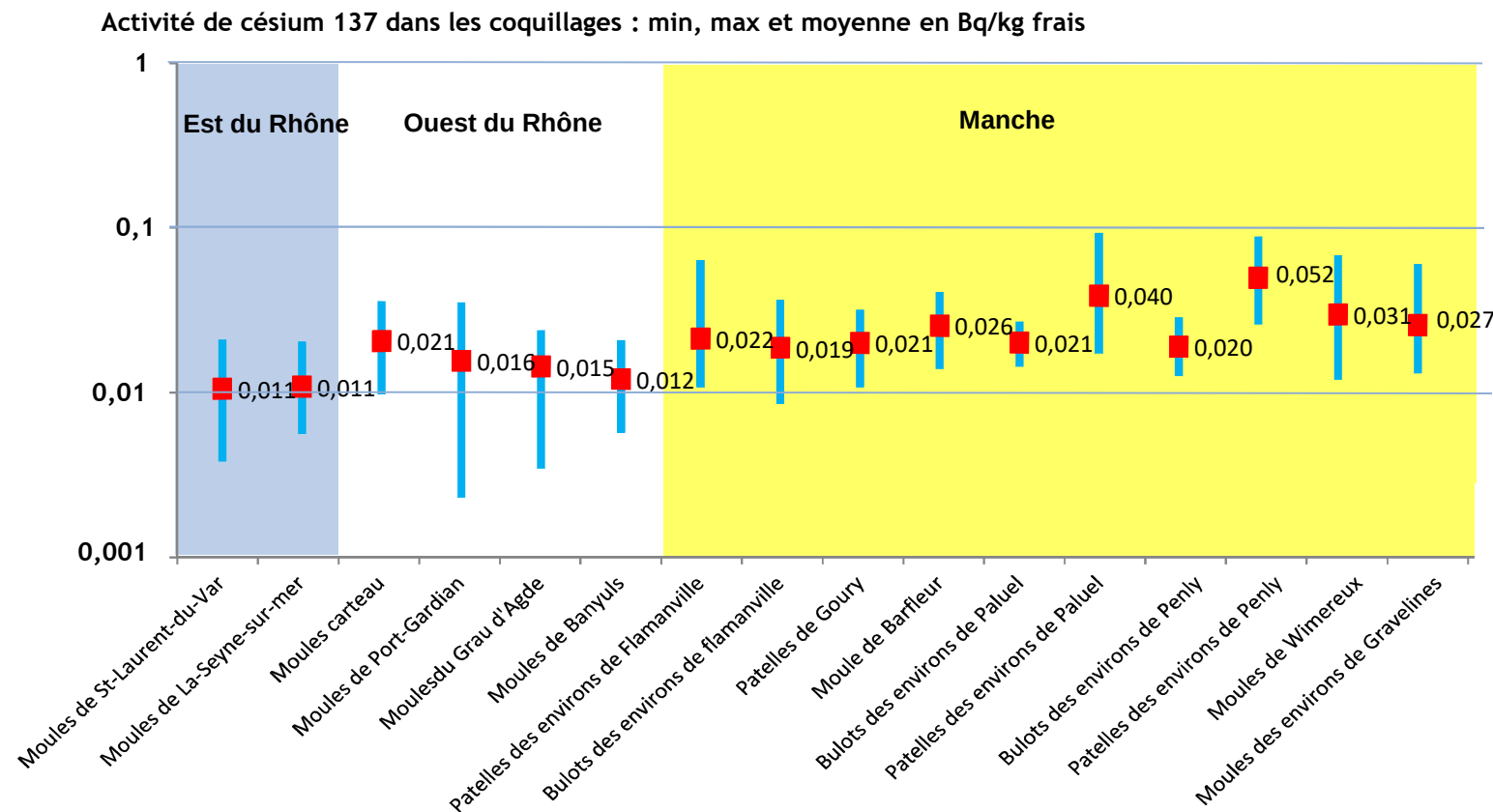
- Les activités dans les denrées naturelles (champignons, baies et gibiers) sont nettement plus élevées que celles des denrées agricoles que ce soit en ZRE ou hors ZRE ;
- Absence de variabilité spatiale observée des activités de césium 137 dans les denrées agricoles ou d'élevage à l'exception du lait, du fromage, de certaines viandes et des denrées forestières



Activités de césium 137 en milieu aquatique sur la période 2008 -2019

Les activités mesurées dans les plantes aquatiques d'eau douce permettent encore de distinguer les grands cours d'eau suivant la localisation le marquage de leur bassin versant ; ce n'est plus le cas des activités mesurées dans les poissons d'eau douce

Les activités dans les denrées marines qui relèvent du bruit de fond sont très homogènes et permettent de distinguer de faibles influences des rejets des installations nucléaires

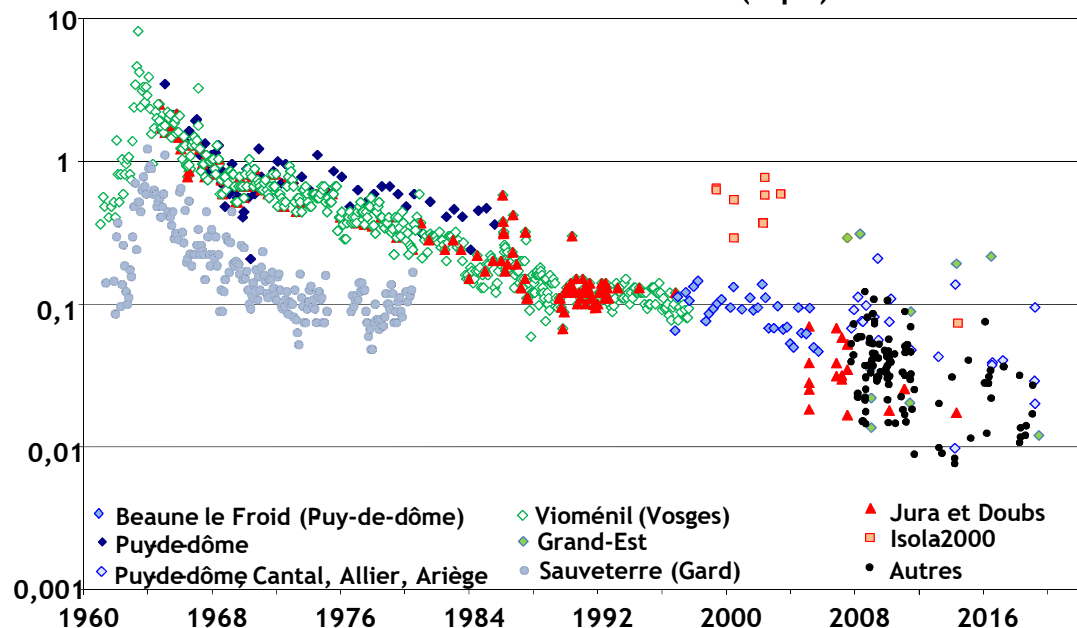


Le bruit de fond du strontium 90 dans les denrées

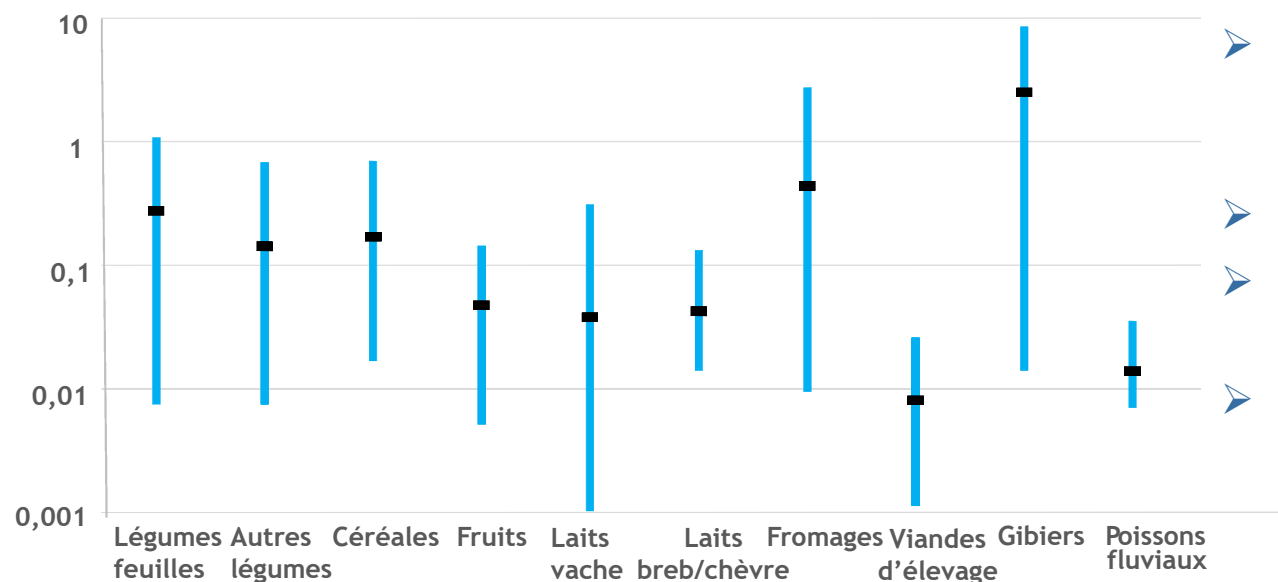
Le bruit de fond du strontium 90 dans les denrées est caractérisé par :

- une diminution des activités liée à celle des sols (solubilité)
- une relative homogénéité spatiale actuelle (2008-2019) des activités massiques et volumiques

Activité de strontium 90 dans le lait de vache (Bq/L)



Strontium 90 (Bq/kg ou Bq/l)



- Des activités relativement élevées dans les végétaux (fort transfert racinaire)
- modérées dans le lait
- faibles dans les viandes et les poissons fluviaux
- non mesurables dans la chair des denrées marines

Le bruit de fond des actinides dans les denrées

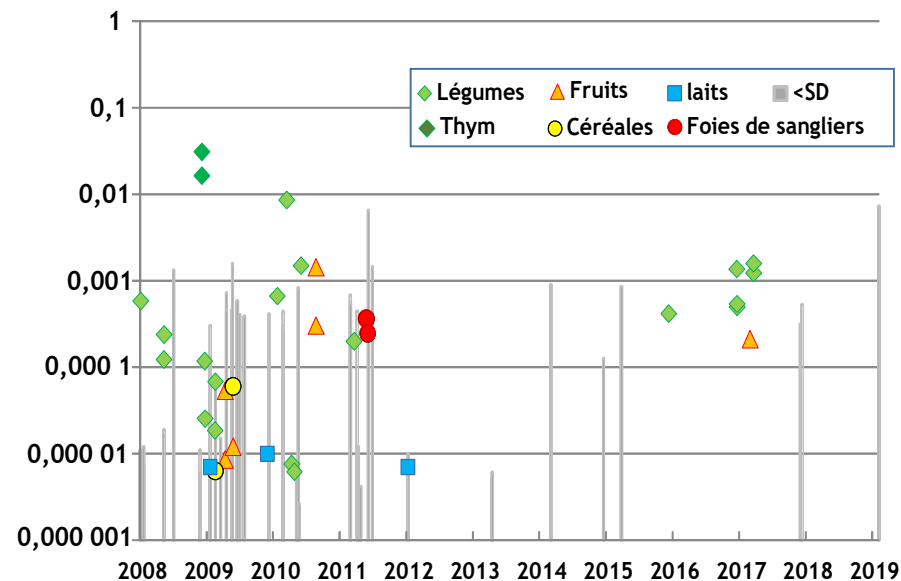
Le bruit de fond des actinides dans les denrées est caractérisé par :

- Des niveaux d'activités extrêmement faibles : (de moins de 10^{-5} à 10^{-3} Bq/kg frais) et souvent non mesurables même au moyen des meilleures techniques disponibles
- Un nombre très restreint de résultats de mesures
- Trop restreint pour rendre compte d'une éventuelle variabilité spatiale pourtant encore perceptible dans les sols (environs de Marcoule, certaines ZRE)
- La conservation des rapports d'activités isotopiques théoriques :
 $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu} : \approx 0,03^*$
 $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu} : \approx 0,4 \text{ à } 0,5$
 (malgré quelques anomalies dues aux incertitudes de mesure)

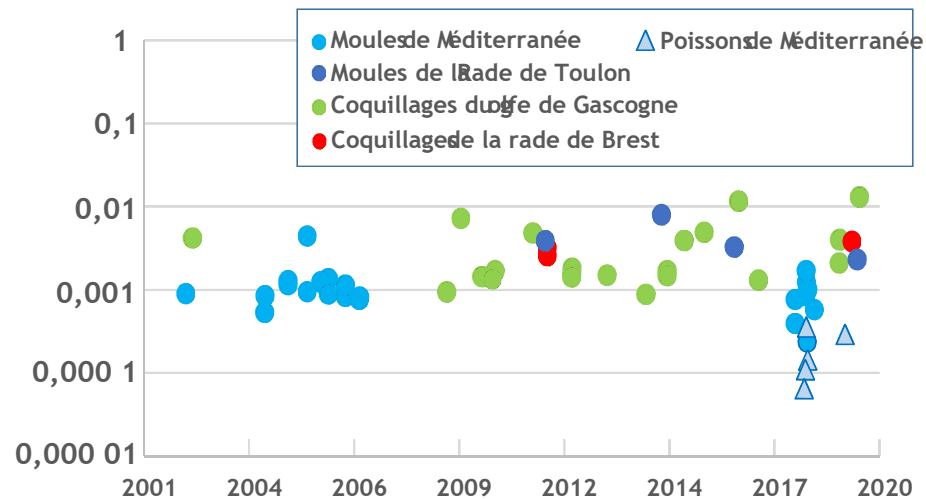
dans les composantes de l'environnement où ils ont pu être obtenus par la mesure

* ^{238}Pu provenant des essais nucléaires et des retombées liées à la chute du satellite SNAP4 en 1964

Activités de plutonium 239+240 dans des denrées (Bq/kg frais ou Bq/L)



Plutonium 239+240 dans les coquillages et les poissons (Bq/kg frais)



Le tritium et le carbone 14 dans les denrées

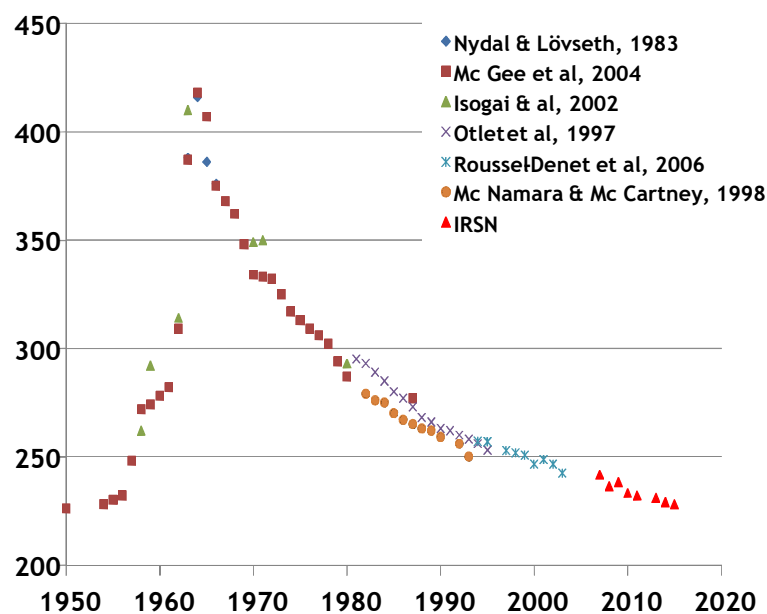
- Le réservoir du tritium et de carbone 14 est l'air (et non pas le sol comme pour les radionucléides précédents) ; il en résulte une grande homogénéité spatiale à l'échelle de l'hémisphère (moyennant quelques nuances) ;
- Une petite partie du carbone 14 présent dans l'air provient encore des essais nucléaires (6% aujourd'hui contre 50% en 1963) ; l'essentiel étant d'origine naturelle (cosmogénique)
- Une partie encore importante du tritium présent dans l'air provient des essais nucléaires (qq dizaines de %) ; l'autre partie étant d'origine naturelle (cosmogénique)
- Le tritium et le carbone 14 rentre dans la chaîne alimentaire en s'incorporant aux végétaux lors de la photosynthèse ;
- On dispose de 2 indicateurs, plus précis que les Bq/kg frais, pour caractériser le bruit de fond de ces deux radionucléides :
 - l'activité de carbone 14 par unité de masse de carbone (Bq/kg de carbone)
 - l'activité volumique exprimée en Bq/L d'eau (eau libre, de vapeur d'eau atmosphérique, de séchage, de combustion de la matière organique) pour le tritium

Ce qui est intéressant pour estimer l'influence du fonctionnement des installations nucléaires pour ces deux radionucléides qui sont souvent prépondérants dans les rejets (voir présentation du 18 novembre)

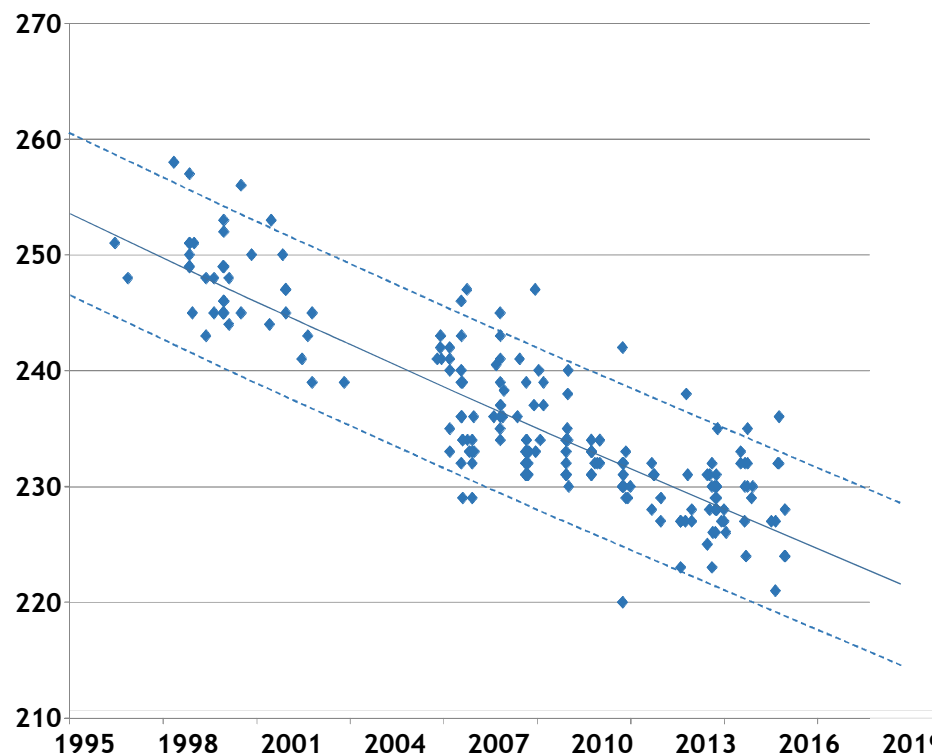
Le bruit de fond du carbone 14 en milieu terrestre

- Une baisse de l'activité par unité de masse de carbone depuis 1963 (piégeage océanique du ^{14}C et augmentation de la teneur de l'air en CO_2 d'origine fossile)
- Cette activité se situe d'ores-et-déjà en dessous du niveau naturel antérieur aux essais nucléaires (226 Bq/kg de C.)

Activité de carbone 14 en Bq.kg^{-1} de Carbone
En milieu terrestre dans le monde et...



... en France dans les matrices végétales et animales terrestres

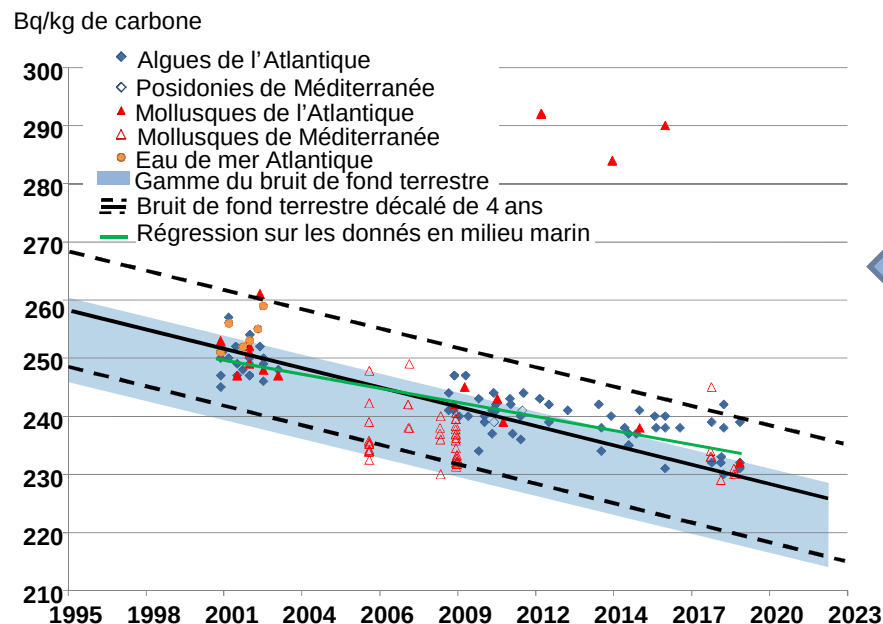
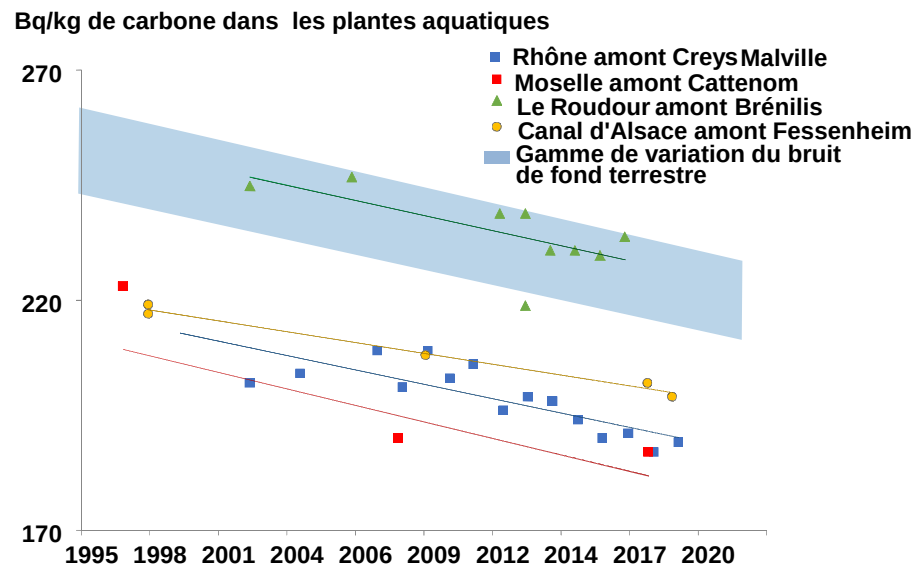
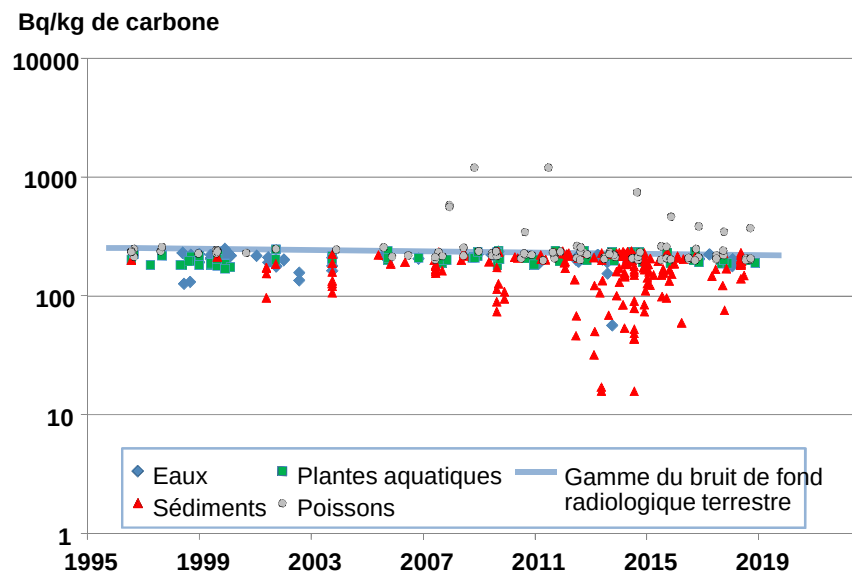


Valeur de référence

1994	255 ± 7
1995	254 ± 7
1996	253 ± 7
1997	251 ± 7
1998	250 ± 7
1999	249 ± 7
2000	248 ± 7
2001	246 ± 7
2002	245 ± 7
2003	244 ± 7
2004	243 ± 7
2005	241 ± 7
2006	240 ± 7
2007	239 ± 7
2008	238 ± 7
2009	237 ± 7
2010	235 ± 7
2011	234 ± 7
2012	233 ± 7
2013	232 ± 7
2014	231 ± 7
2015	230 ± 7
2016	228 ± 7
2017	227 ± 7
2018	226 ± 7
2019	225 ± 7
2020	224 ± 7
2021	223 ± 7
2022	222 ± 7

- 95% des activités mesurées dans différentes matrices végétales et animales, se trouvent dans une gamme de $\pm 7 \text{ Bq/kg de C.}$ autour de la valeur de référence annuelle (à 3% près)

Le carbone 14 en milieu aquatique



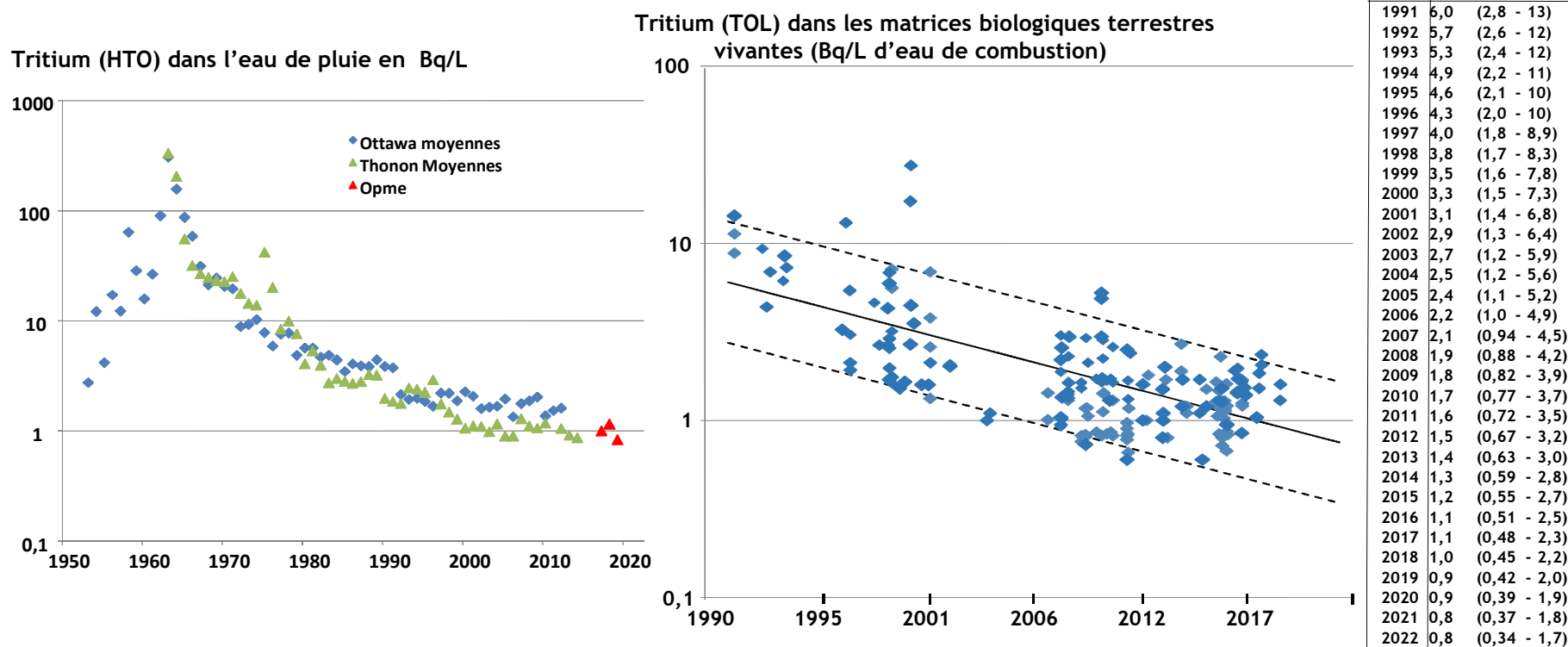
➤ Dans les eaux douces continentales, des activités plus faibles qu'en milieu terrestre en raison de la dilution du ^{14}C dans des carbonates anciens

➤ En milieu marin, un « décalage » (retard) dans la baisse des activités en raison du dégazage de matière organique ancienne

(pas d'explication pour les 3 mesures d'huîtres d'Oléron)

Le bruit de fond du tritium en milieu terrestre

- Une baisse de l'activité volumique du tritium dans l'atmosphère qui se traduit par une baisse de cette activité en milieu terrestre avec un « retard apparent » de l'ordre de 10 ans du milieu terrestre par rapport au milieu atmosphérique
- Des mesures qui confirment que le niveau et sa diminution sont indépendants de la nature des échantillons (types de végétaux ou de produits animaux)

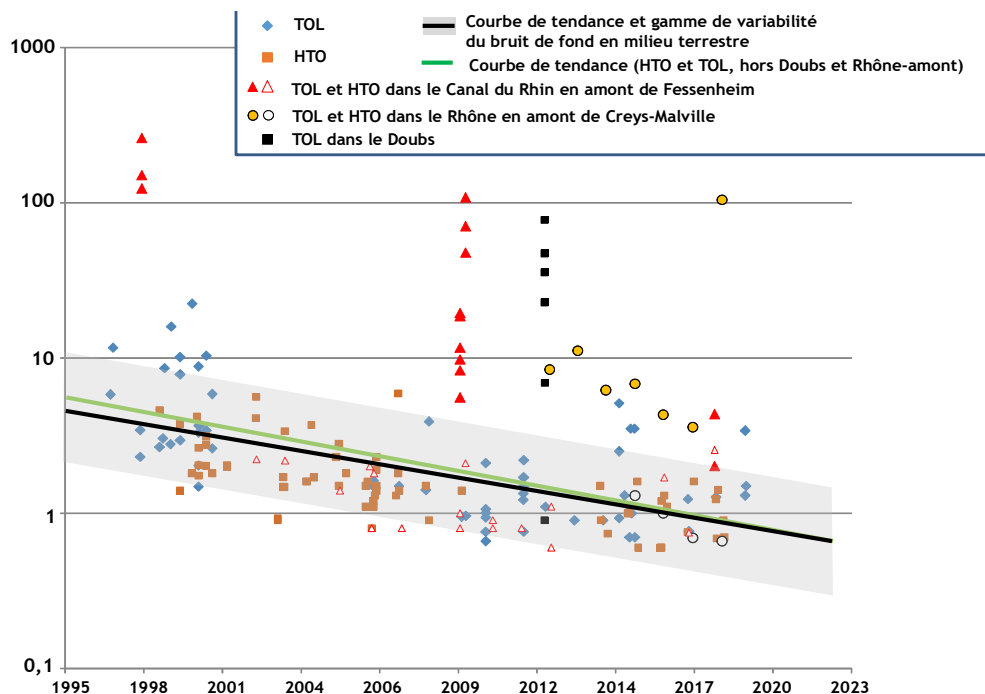


- 95% des activités mesurées dans différentes matrices végétales et animales, se trouvent dans une gamme de $\pm 2,2$ fois la valeur de référence annuelle
- Un rapport TOL/HTO moyen de 1,4

Le bruit de fond du tritium en milieu aquatique

- Dans les grands cours d'eau en amont des installations nucléaires, les activités de tritium dans la flore et la faune sont en équilibre avec celle du milieu atmosphérique (même si certains poissons promènent)
- Dans les petits cours d'eau, elles peuvent être plus faibles sous influence d'eau souterraines plus pauvres en tritium. Des mesures qui confirment que le niveau et sa diminution sont indépendants de la nature des échantillons (types de végétaux ou de produits animaux)
- Dans le Rhône en amont de Creys, dans le Doubs et le Canal d'Alsace en amont de Fessenheim, elles peuvent être nettement plus élevées en raison de la rémanence des rejets passés de l'industrie horlogère,

Activités de TOL et de HTO dans les plantes aquatiques (Bq/L)

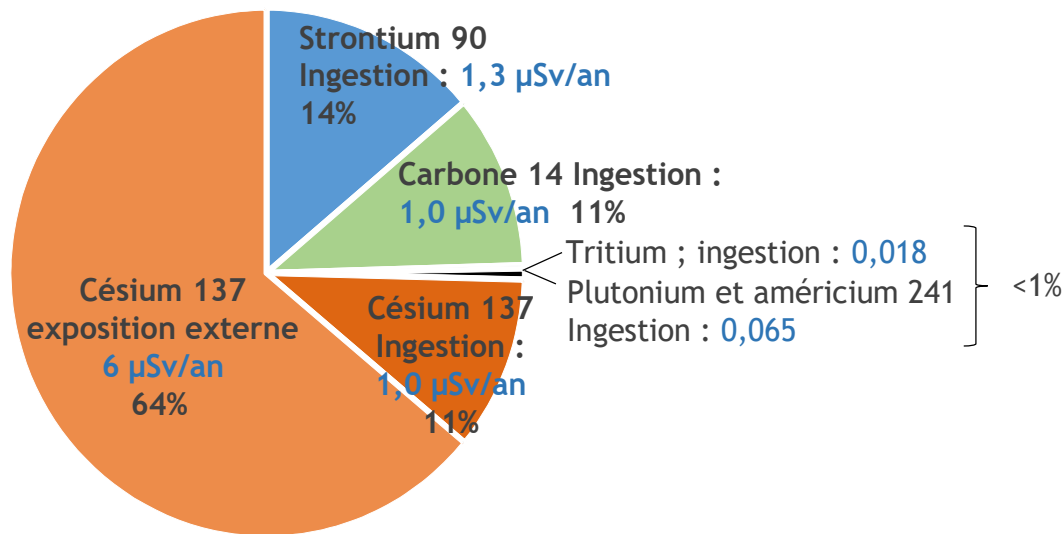


- Bien que dans les eaux marines les activités de tritium soient toujours au niveau cosmogénique (0,1-0,2 Bq/L), celles des organismes marins sont le plus souvent sous influence du milieu terrestre

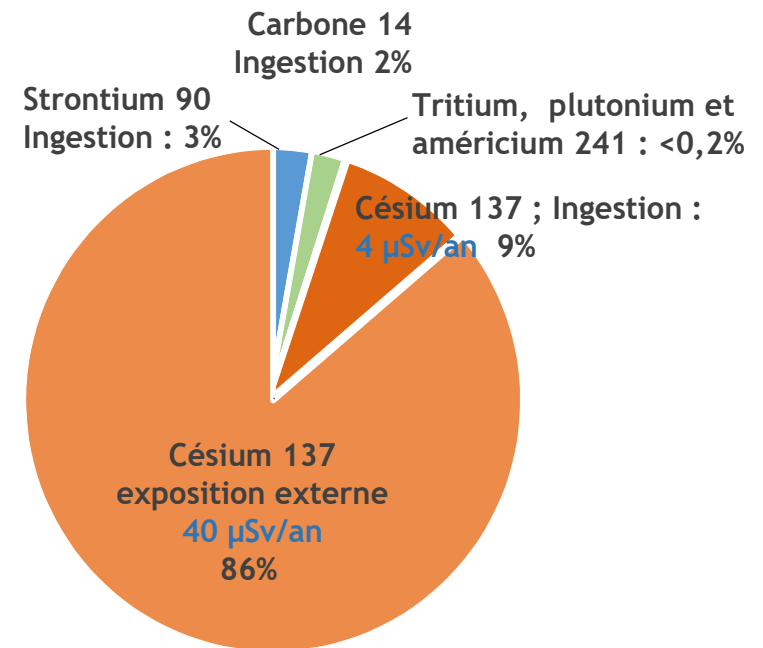
Estimation des doses efficaces aux adultes liées au bruit de fond des radionucléides artificiels dans l'environnement français métropolitain

- L'exposition externe due au rayonnement du césium 137 présent dans les sols est prépondérante ; notamment dans les zones de rémanence élevée (ZRE) ;
- Elle a été estimée selon 2 approches convergentes : des mesures directes du débit de dose et l'estimation des débits de doses sur la base des activités massiques dans les sols
- Les expositions liées à l'ingestion de denrées

Hors ZRE : 9,4 $\mu\text{Sv}/\text{an}$



En ZRE : 46 $\mu\text{Sv}/\text{an}$



Merci de votre attention