IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Expositions des populations liées à la consommation des denrées alimentaires produites dans l'environnement des installations nucléaires

Méthode d'estimation des doses dues au tritium et au carbone 14 basées sur des résultats de mesures

Philippe Renaud

Direction de l'environnement

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

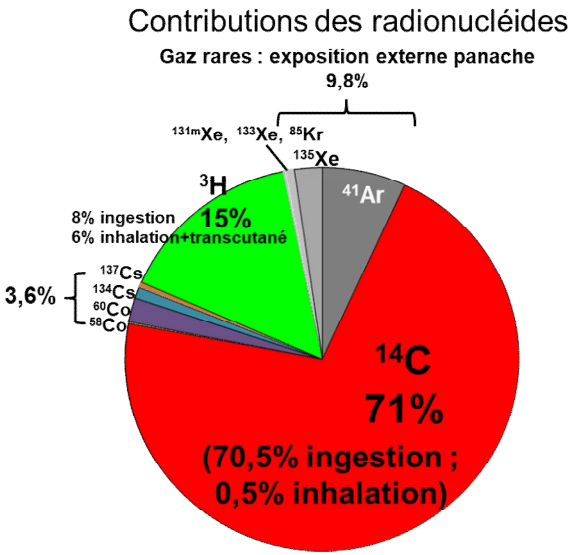
Place du tritium et du carbone 14 dans les doses aux populations estimées par calculs (modèles) à partir des rejets réels

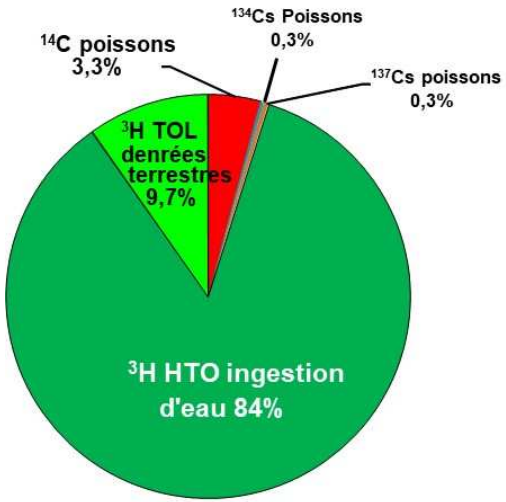
Hormis les installations de l'amont du cycle et le site de La Hague, le tritium et le carbone 14 sont (de loin) les deux principaux contributeurs aux doses reçues par les populations

Le tritium est à l'origine de l'essentiel des doses liées aux rejets des sites de Valduc et de Grenoble-ILL

Jusqu'à ces dernière années c'était également le cas pour les sites de Marcoule, Bruyères-le-Châtel, Creys-Malville…

Dans le cas de La Hague, le carbone 14 est, suivant le mode de vie, le premier ou le second contributeur aux doses (derrière le ^{85}Kr)





Cas des CNPE :
sur la base des rejets gazeux de Cruas (à gauche) et liquide de Cattenom (à droite)

Les éléments qui sont à la base des méthodologies d'estimation des doses

^{3}H et ^{14}C développées pour les Bilans Radiologiques RNM

- **Les résultats de mesure exprimés en Bq/kg frais ne permettent pas de distinguer du bruit de fond les très faibles influences des rejets des installations nucléaires (exceptés pour Valduc)**

- **L'estimer les doses liées à l'ingestion de denrées se heurte à la l'impossibilité de disposer de résultats de mesure pour toutes les composantes de la ration alimentaire**

- **Les connaissances théoriques et expérimentales des mécanismes de transfert de ^{3}H et ^{14}C ont été confortées et leurs conséquences en termes d'activités dans l'environnement ont pu être observées grâce aux nombreuses mesures effectuées au cours des 20 dernières années par (*liste non exhaustive*) :**

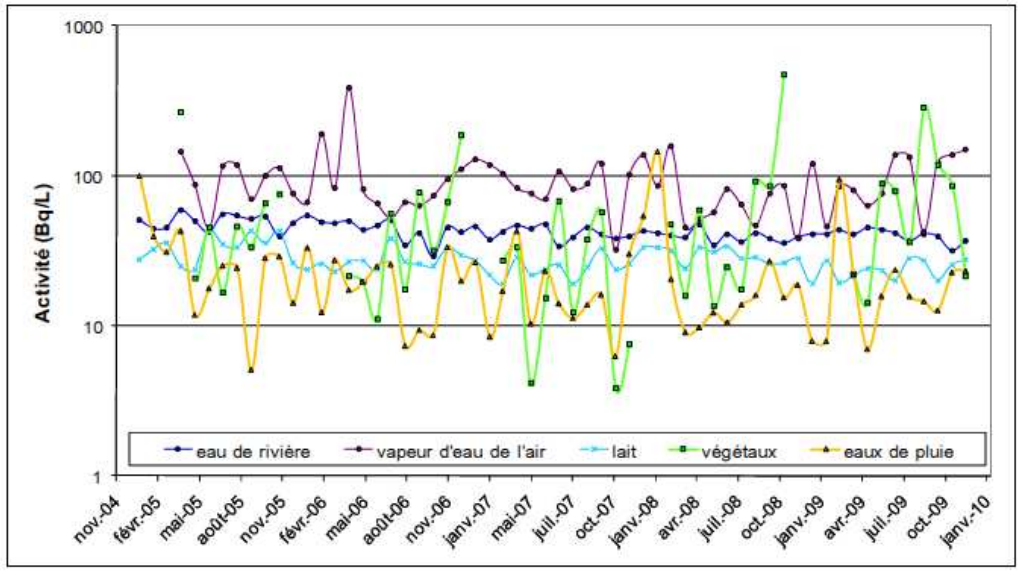
  - **l'IRSN dans le cadre de la surveillance (surveillance de routine et constats radiologiques régionaux…) et d'études menées à des fins de recherche (autour de La Hague, dans les cours d'eau, l'ERS Saint-Albans…**

  - **EDF dans le cadre du suivi radioécologique autour des CNPE (surveillance complémentaire à la surveillance règlementaire confiée à l'IRSN et à Subatech)**

  - **Le CEA autour de Valduc et de Marcoule**

Exemple du tritium autour du site de Valduc

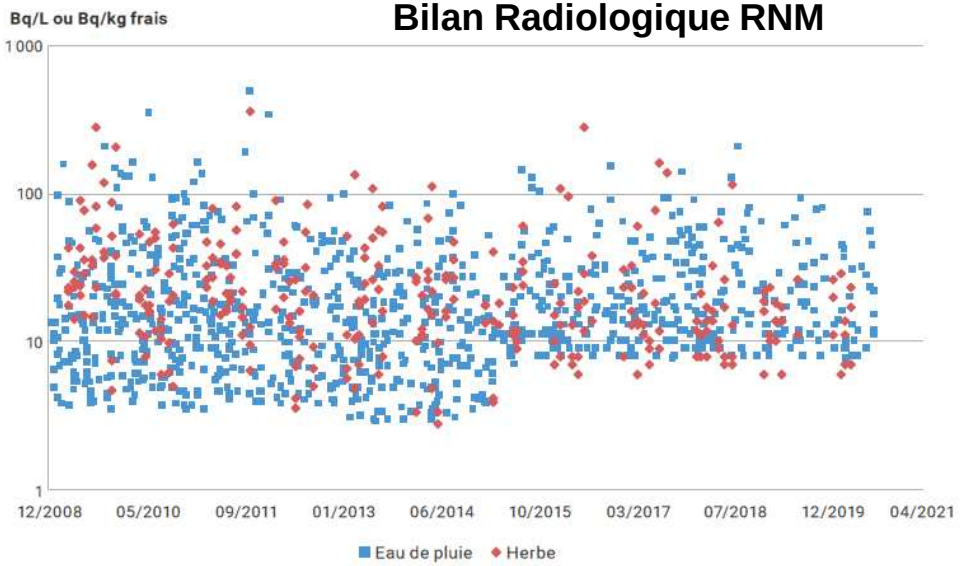
Présentation SFRP 2009 (Ph Guetat et al)

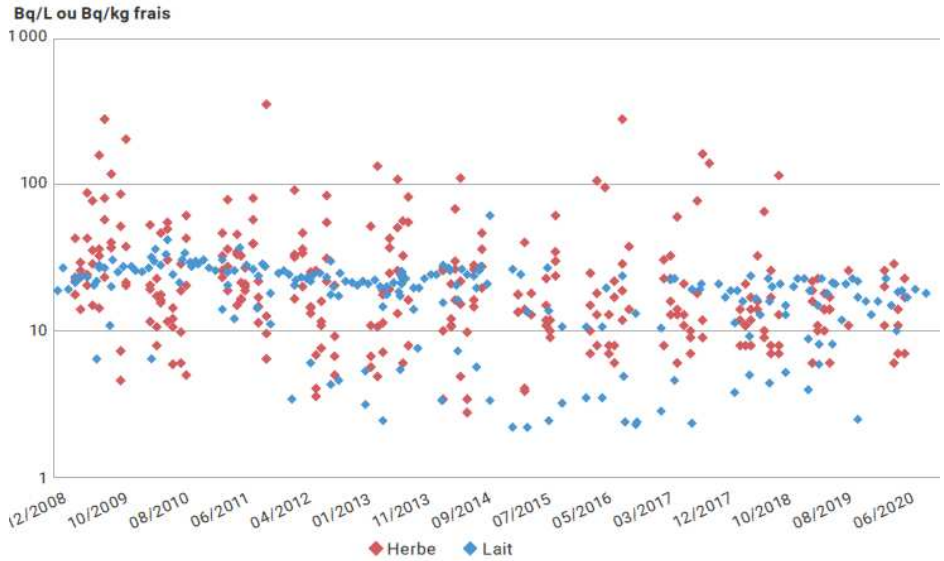


Un équilibre bien installé du tritium dans l'environnement

Avec quelques nuances…

Bilan Radiologique RNM



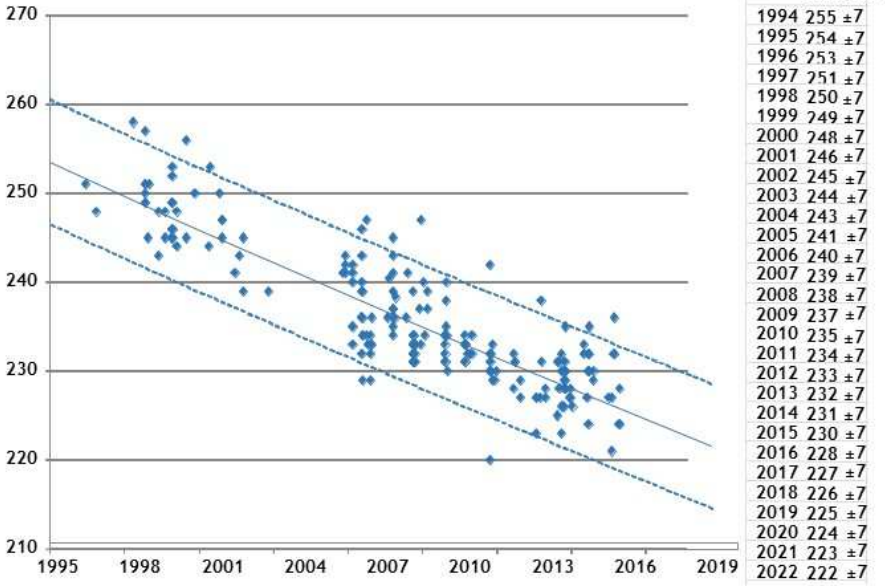


Des indicateurs des activités de ^{3}H et de ^{14}C dans l'environnement

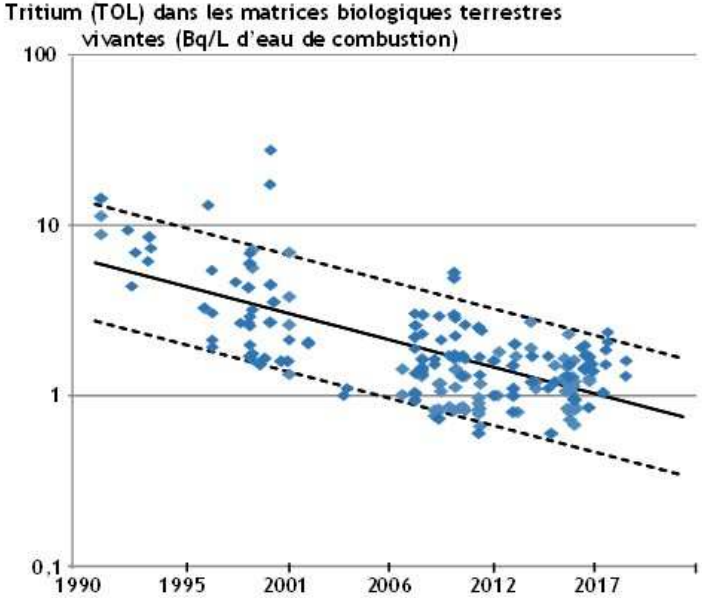
Plus précis que les « Bq/kg frais », pour caractériser le bruit de fond ^{3}H et ^{14}C et les très faibles influence des rejets des installations nucléaires :

- **l'activité de carbone 14 par unité de masse de carbone (Bq/kg de carbone)**
- **l'activité volumique de tritium exprimée en Bq/L d'eau (eau libre, de vapeur d'eau atmosphérique, de séchage ou de combustion de la matière organique)**

Présentation SFRP du 17 Nov. 2021 : le bruit de fond radiologique français



	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



Année	Valeur de référence
1991	6,0 (2,8 - 13)
1992	5,7 (2,6 - 12)
1993	5,3 (2,4 - 12)
1994	4,9 (2,2 - 11)
1995	4,6 (2,1 - 10)
1996	4,3 (2,0 - 10)
1997	4,0 (1,8 - 8,9)
1998	3,8 (1,7 - 8,3)
1999	3,5 (1,6 - 7,8)
2000	3,3 (1,5 - 7,3)
2001	3,1 (1,4 - 6,8)
2002	2,9 (1,3 - 6,4)
2003	2,7 (1,2 - 5,9)
2004	2,5 (1,2 - 5,6)
2005	2,4 (1,1 - 5,2)
2006	2,2 (1,0 - 4,9)
2007	2,1 (0,94 - 4,5)
2008	1,9 (0,88 - 4,2)
2009	1,8 (0,82 - 3,9)
2010	1,7 (0,77 - 3,7)
2011	1,6 (0,72 - 3,5)
2012	1,5 (0,67 - 3,2)
2013	1,4 (0,63 - 3,0)
2014	1,3 (0,59 - 2,8)
2015	1,2 (0,55 - 2,7)
2016	1,1 (0,51 - 2,5)
2017	1,1 (0,48 - 2,3)
2018	1,0 (0,45 - 2,2)
2019	0,9 (0,42 - 2,0)
2020	0,9 (0,39 - 1,9)
2021	0,8 (0,37 - 1,8)
2022	0,8 (0,34 - 1,7)

Il y a une correspondance directe entre les résultats exprimés dans ces deux indicateurs et les activités massiques ou volumiques exprimées en Bq/kg frais

Relations avec les unité exprimées en Bq/kg frais

Relation pour le carbone 14

Bq/kg frais = Bq/kg de C x kg de C/ kg frais

Relations pour le tritium

Bq/kg frais de ^{3}H total = Bq/kg frais de HTO + Bq/kg frais de TOL

mais on ne fait pas la somme pour calculer les doses

Bq/kg frais de HTO = Bq/L (eau de dessiccation) x L/kg frais (teneur en eau*)

*teneur en eau = 1/(1-(kg frais/kg sec))

Bq/kg frais de TOL = Bq/L (eau de combustion) x 0,6 L/kg sec** x kg sec/kg frais

**volume d'eau produit lors de la combustion de la matière organique

Bq/L mesuré de TOL = Bq/L de HTO

Car très bonne représentativité des mesures de TOL (et faible représentativité des mesures de HTO)

Valeurs des paramètres

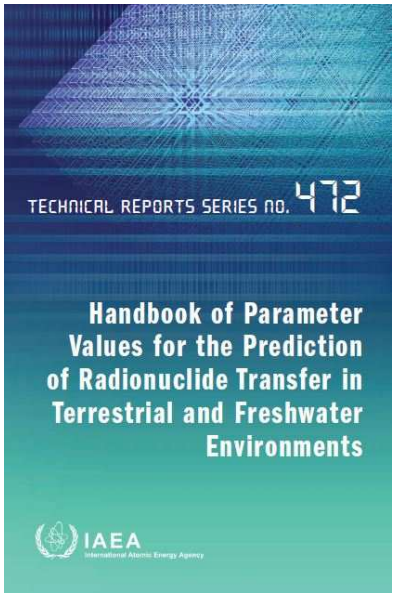
Teneur en carbone

	kg de C./kg frais
Lait (vache)	0,07
Yaourt et fromages blancs	0,07
Fromages	0,3
Beurre	0,3
Oeuf	0,16
Légumes racines	0,05
Legumes feuilles	0,03
Legumes à fruits	0,05
Miel	0,3
Fruits	0,09
Confitures	0,25
Poissons marins	0,12
Poissons eaux douces	0,11
Coquillages/mollusques	0,07
Viande (bœuf)	0,15
Ble (cereales)	0,4
Champignon	0,05
Sucre	0,42

CIPR : 0,3 kg de C./jour (les experts de la CIPR mangent beaucoup de sucreries…)

Teneurs en eau

	L/kg frais
Légumes feuilles	0,92
Légumes racines	0,87
Fruits	0,83
Lait	0,90
Poissons	0,78
Viandes	0,71
Céréales	0,12
Fromages	0,46
œufs	0,75
Bœuf/mouton	0,60
Poulet	0,70
Porc	0,56
Lapin	0,70
Dinde	0,60
Fruits	0,85
Autres légumes	0,85
Tomate	0,90
Champignons	0,95
Miel	0,18
Vin	0,90



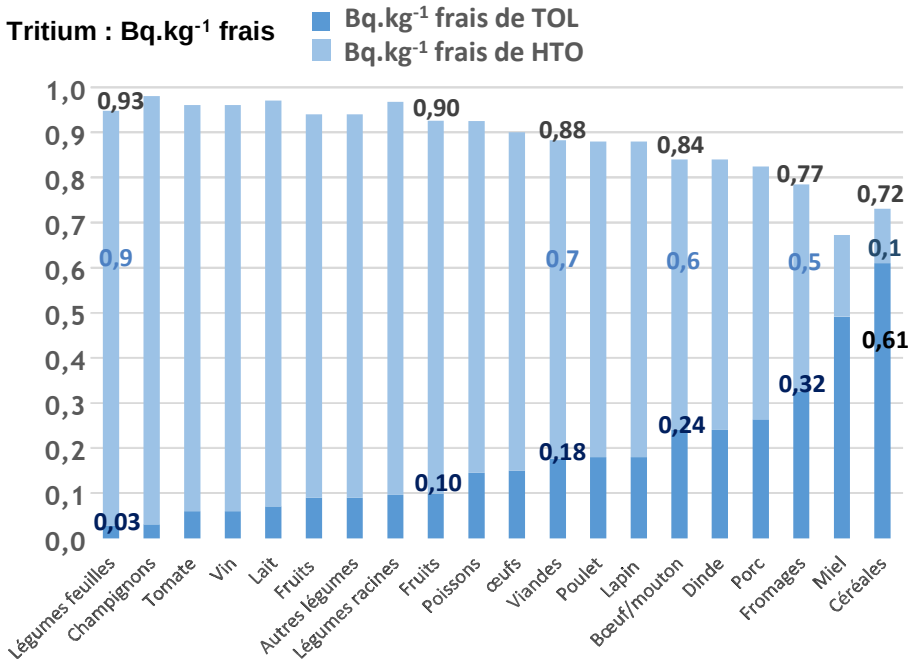
\+

Bases de données de l'IRSN

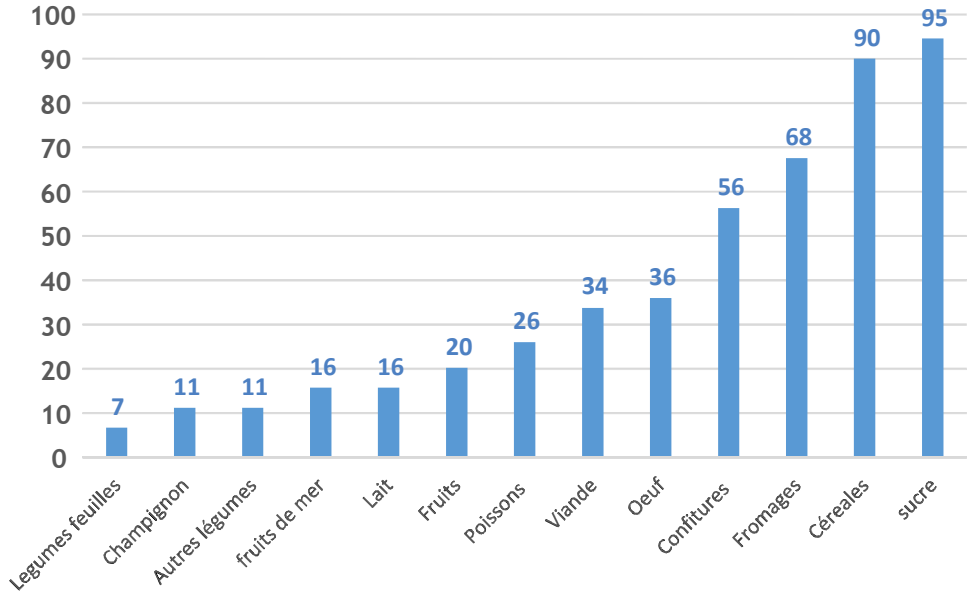
Volume d'eau obtenu lors de la combustion de 1 kg de MO sèche : 0,6 L/kg sec

Activités massiques et volumiques dans les denrées correspondant au bruit de fond du tritium (1 Bq/L) et du carbone 14 (225 Bq/kg de C.) sur la période 2018-2020

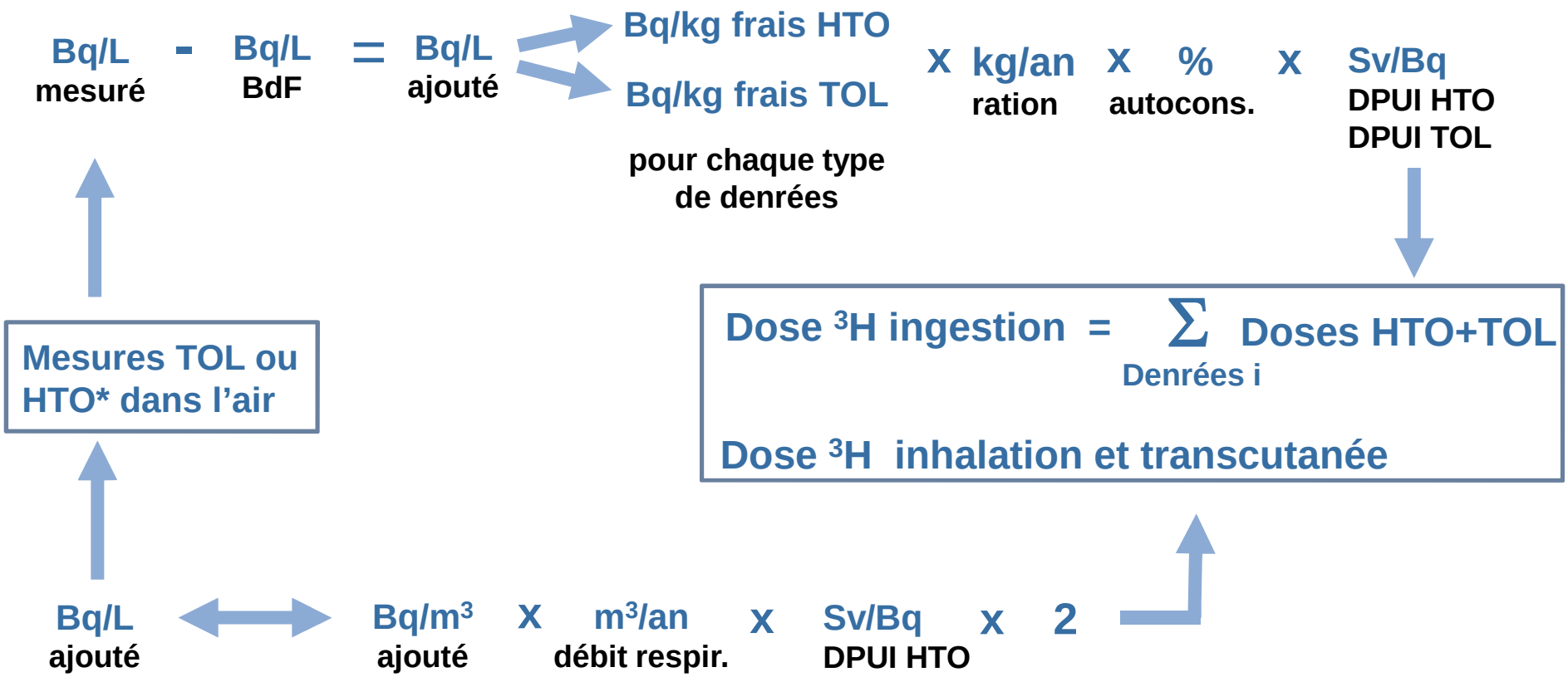
Tritium : Bq.kg^{-1} frais



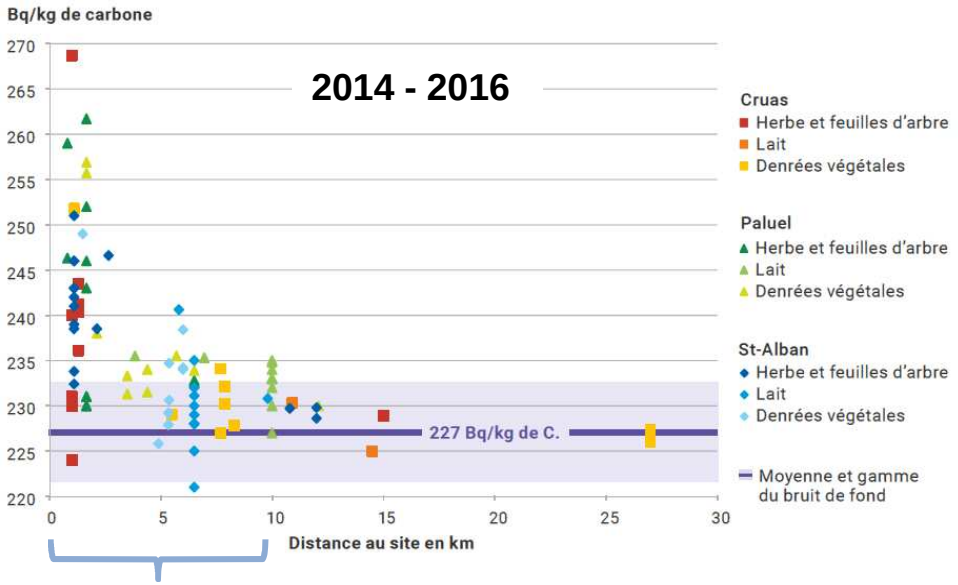
Carbone 14 : Bq.kg^{-1} frais



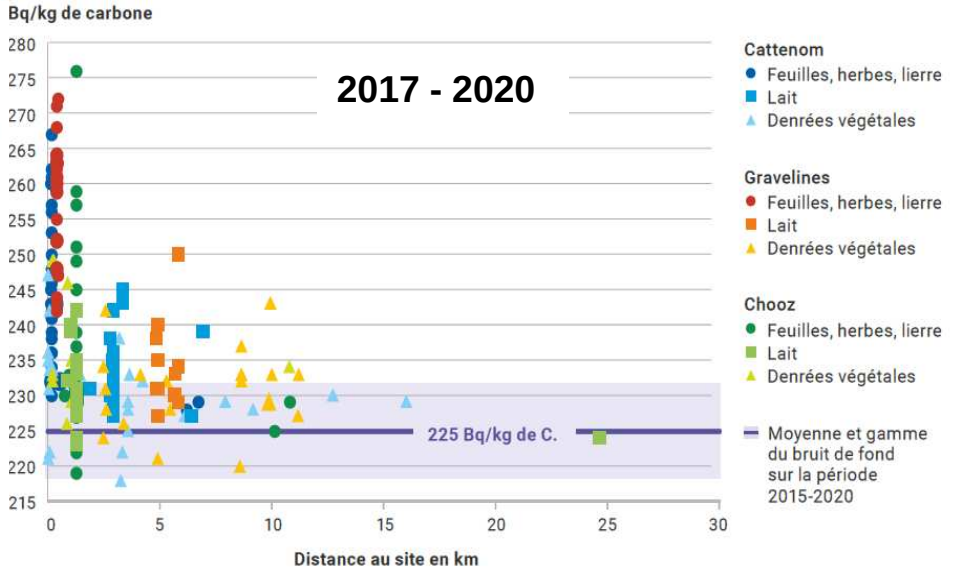
Estimation des doses ajoutées par les installations nucléaires
Cas du tritium

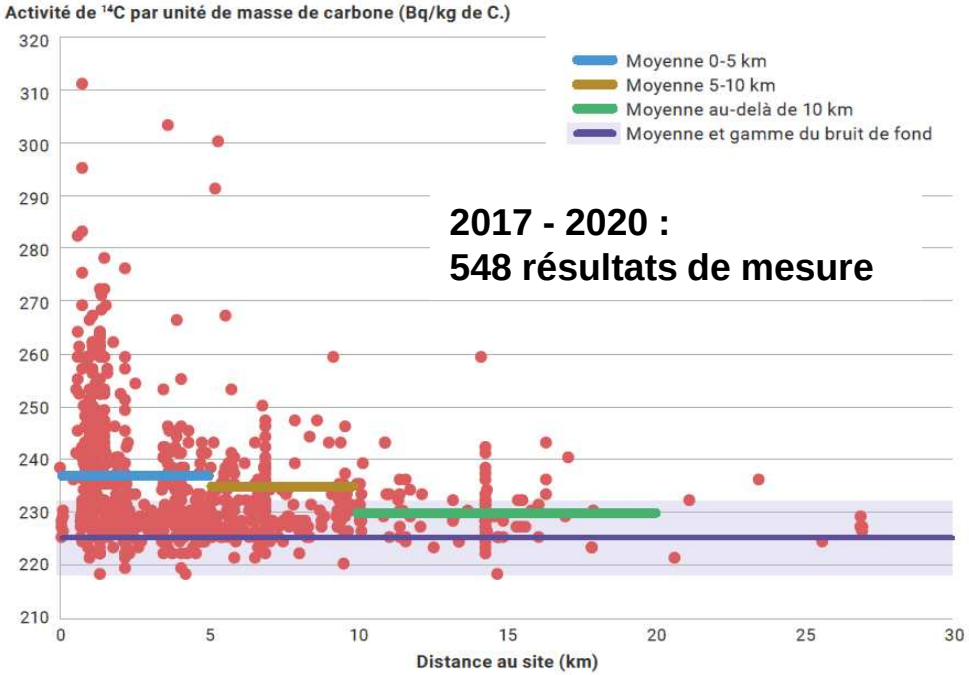


^{14}C autour des CNPE : activités ajoutées et estimations de dose correspondantes



Variabilité liée à l'azimut





Dans les 5 km : BdF + 12 Bq/kg de C (BdF + 5%) soit :

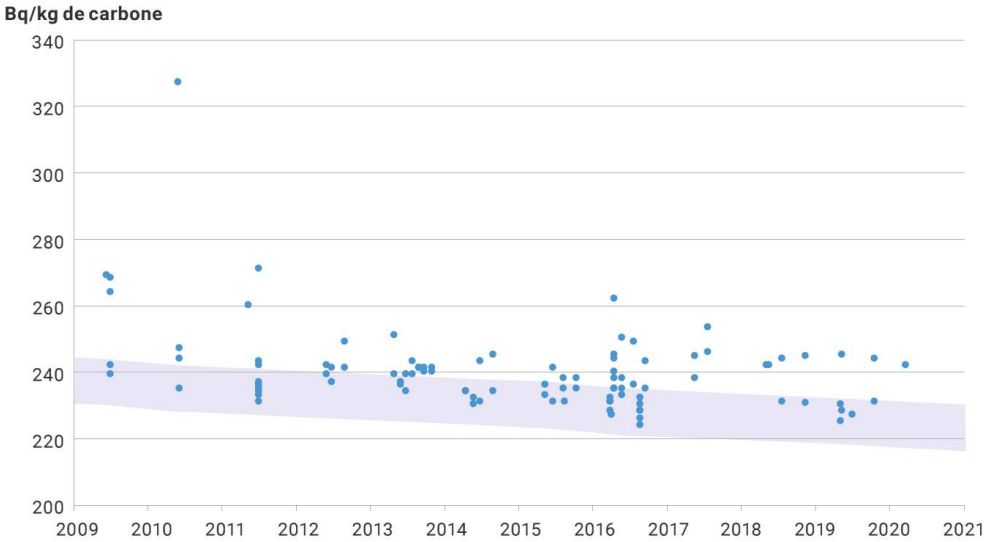
+0,35 Bq/kg frais pour une salade
+ 0,75 Bq/kg frais pour un fruit ou du lait
+2,4 Bq/kg frais pour de ma viande
+ 4,8 Bq/kg frais pour des céréales

(Des activités ajoutées non discernables par des mesures exprimées en Bq/kg frais)

Doses efficaces estimées pour l'adulte :
2014-2016 : 0,07 µSv/an
2017-2020 : 0,09 µSv/an
Estimations EDF rejets 2016 Cruas : 0,03 µSv/an

Activités de ^{14}C ajouté et estimation de doses efficaces correspondantes pour l'adulte (période 2018-2020)

➢ **Marcoule :** +9 Bq/kg de C (milieu terrestre) ⇒ **0,06 µSv/an**



Moins de résultats que pour EdF ; moins de points de prélèvements

⇓

Plus faible représentativité spatiale (peu d'azimuts)

⇓

Probable surestimation pour Marcoule et Cadarache par rapport à EdF

➢ **La Hague :**

+175 Bq/kg de C en milieu terrestre
+475 Bq/kg de C en milieu marin

⇒ **0,7 à 3,6 µSv/an**

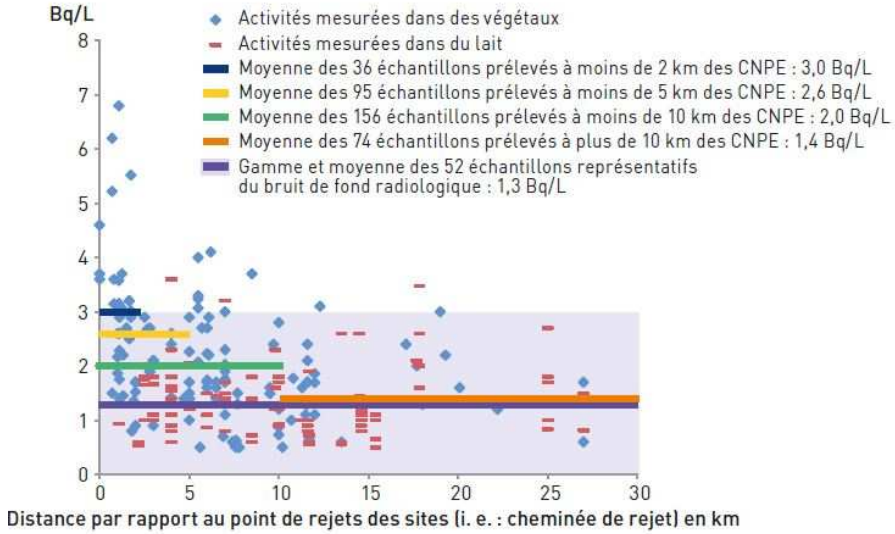
Dans la gamme des doses ^{14}C estimées par Orano

➢ **Cadarache :** +15 Bq/kg de C (milieu terrestre)

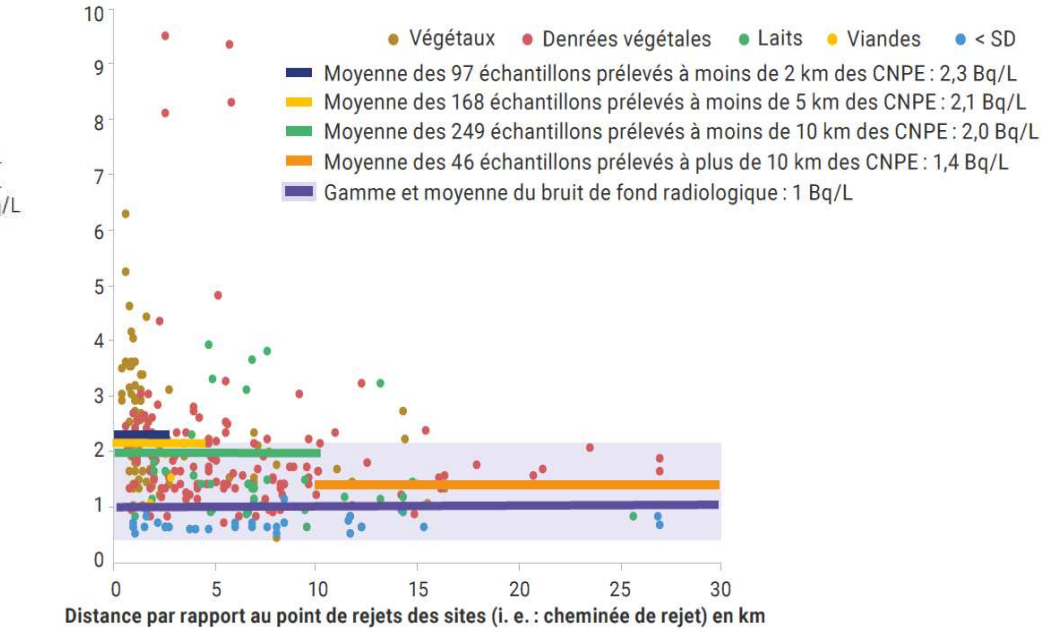
⇒ **0,05 µSv/an**

^{3}H autour des CNPE : activités ajoutées et estimations de dose correspondantes

2014-2016 (Bq/L)



2017-2020 : 295 résultats de mesure (Bq/L)



Activité volumique ajoutée dans les 5 km autour des 19 CNPE :

période 2014-2016 : +1,3 Bq/L **période 2017-2020 : +1,1 Bq/L**

soit ≈ +100% du BdF

Variabilité importante à proximité du site ⇒ Effet de l'azimut

(voir présentation SFRP 17/11/2021 Etude Saint-Albans)

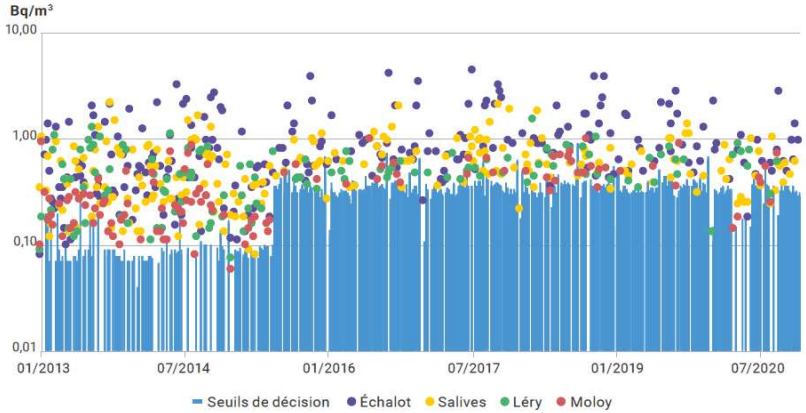
Estimation dose efficace pour un adulte : 0,002 µSv/an

HTO dans l'air (Bq/L*) autour des sites de Valduc et Grenoble (ILL) et estimations des doses efficaces pour un adulte correspondantes

Valduc :

	2011-2014	2015-2017	2018-2020
Echalot	70	70	70
Salives	50	50	30 (IRSN)
Moloy	20	-	-
Lamargelle	30	-	-

⇒ ≈ 1 µSv/an

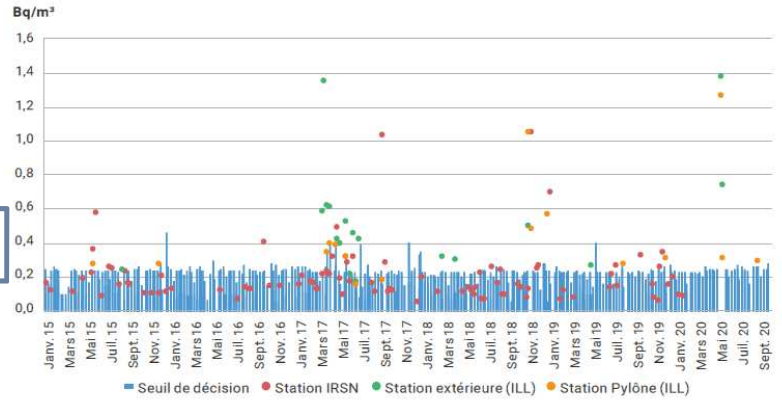


- 1 µSv/an = 0,2 (inhalation+ transcutané) + 0,2 (ingestion denrées solides) + 0,65 (ingestion d'eau)
- Estimation CEA sur la base des rejets de 2019 : 0,5 µSv/an

Grenoble (ILL) :

	2015-2017	2018-2020
Station ext.	18	14

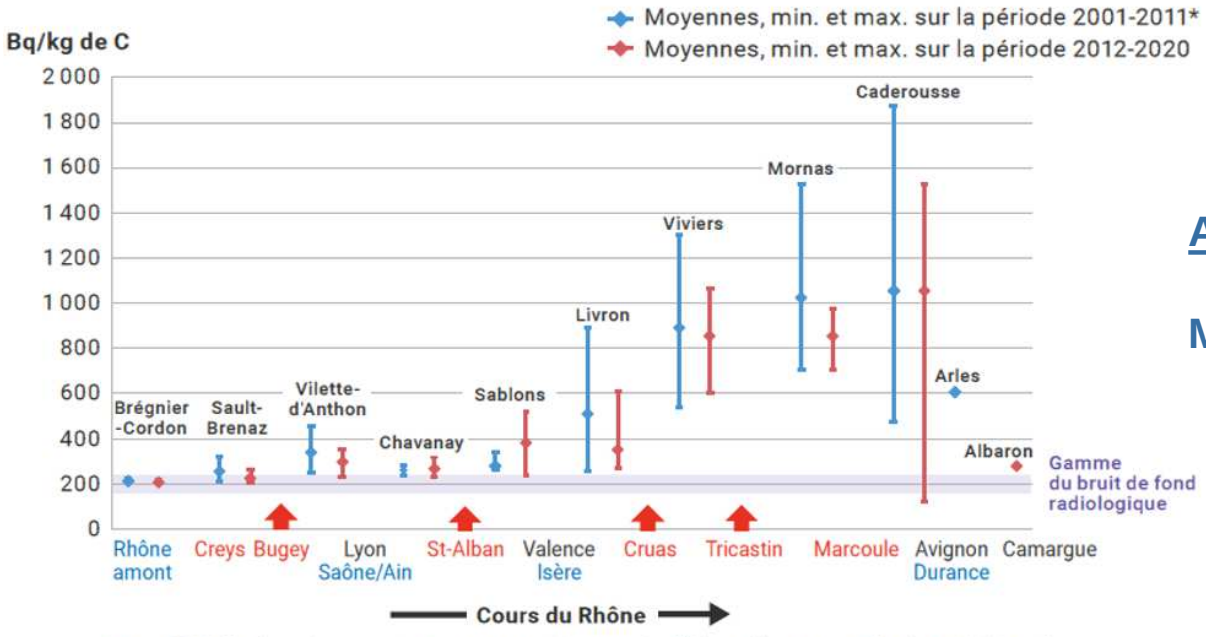
⇒ ≈ 0,07 µSv/an



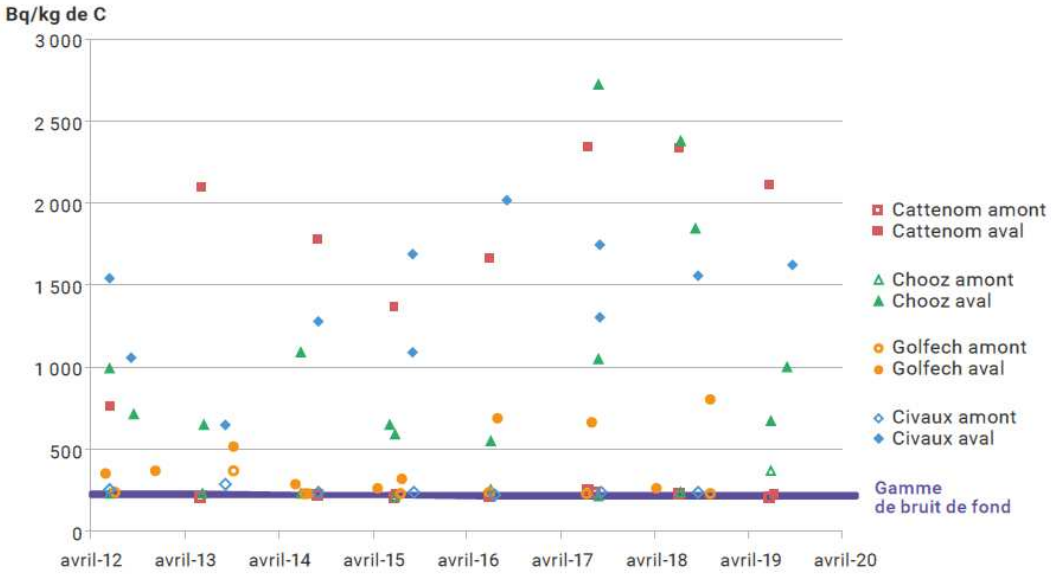
- 0,07 µSv/an = 0,04 (inhalation+ transcutané) + 0,3 (ingestion denrées solides) + 0 (ingestion d'eau)
- Estimation ILL sur la base des rejets de 2019 : 0,09 µSv/an

*0,01 Bq/m^3 d'air ≈ 1 Bq/L d'eau de la vapeur d'eau

^{14}C dans les poissons des cours d'eau
activités ajoutées et estimations de dose correspondantes



** Avant 2009, les données ne portent que sur certaines années (bilans décennaux et études spécifiques).*



Au fil du Rhône et de la Loire

Max = BdF + 860 Bq/kg de C

Aval vs amont des CNPE

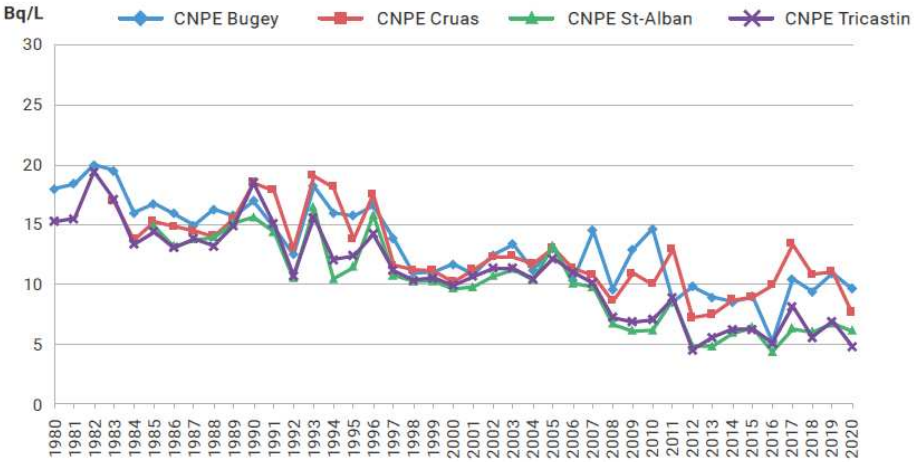
Max = +1550 Bq/kg de C
soit +169 Bq/kg frais

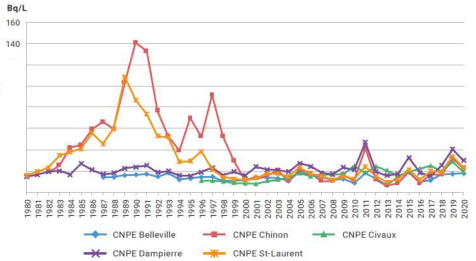
Doses efficaces adulte estimées :
0,002 à 0,5 µSv/an

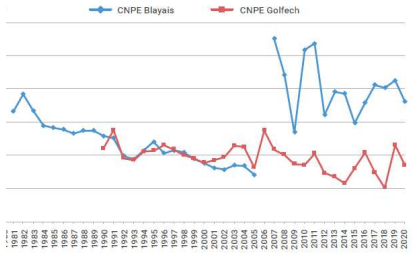
Estim. EDF Cattenom rejets 2016 :
0,2 µSv/an

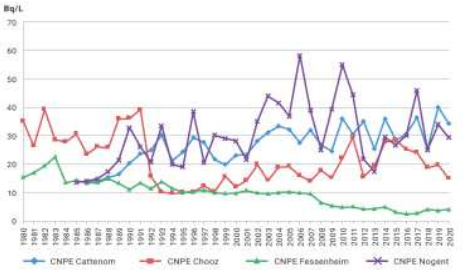
^{3}H dans l'eau des cours d'eau
et estimation des doses efficaces pour un adulte correspondantes

Tritium dans l'eau des fleuves et rivières



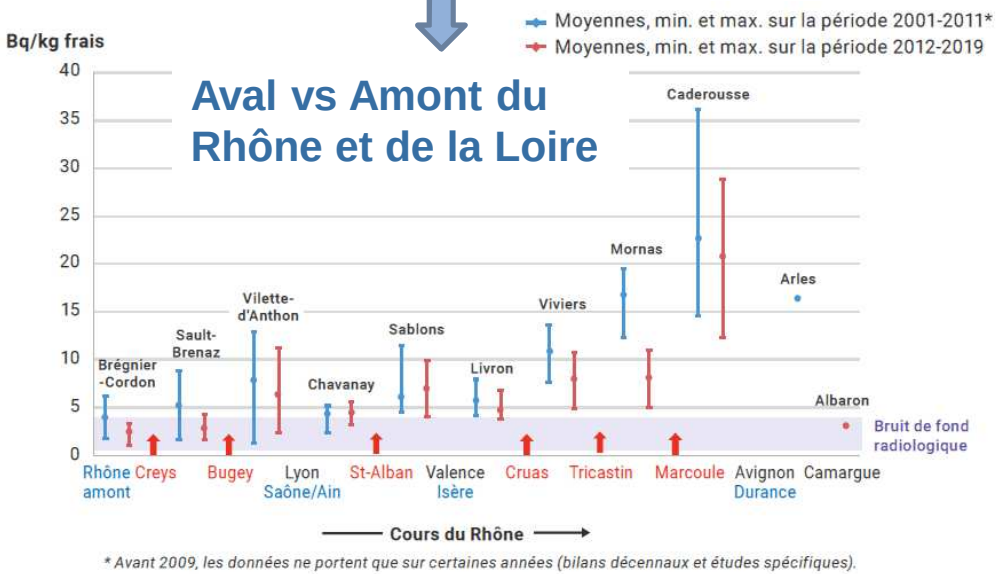


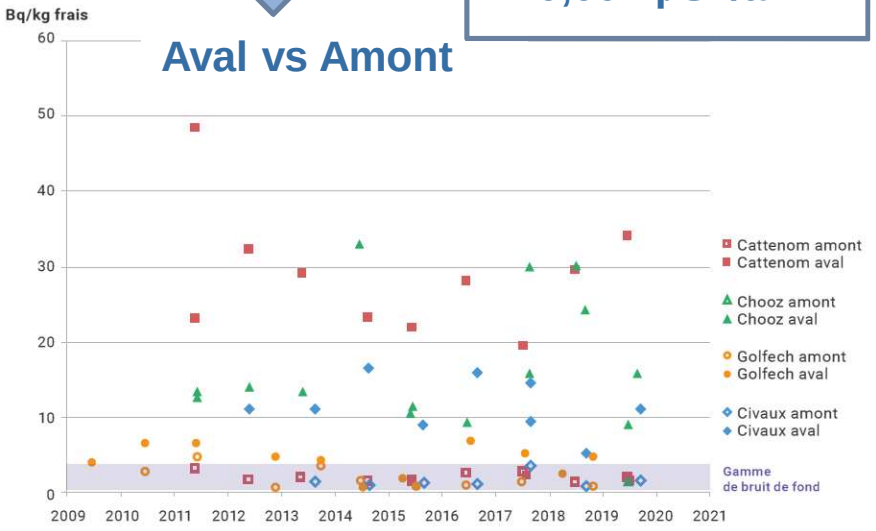




Doses estimées :
0,04 à 0,5 µSv/an

Tritium dans les poissons





Doses estimées :
< 0,001 µSv/an

conclusion

Une méthode permettant d'estimer, à partir d'un nombre restreint de résultats de mesures, les doses aux populations dues au tritium et au carbone 14 ajoutés à l'environnement du fait des rejets gazeux autorisés des installations nucléaires, a été développée dans le cadre des Bilans Radiologiques du RNM.

Cette méthodologie repose sur la mesure de deux indicateurs :

- l'activité de carbone 14 par unité de masse de carbone (Bq/kg de carbone)

- l'activité volumique de tritium exprimée en Bq/L d'eau de combustion (TOL)

dans des échantillons végétaux omniprésents dans l'environnement (feuilles d'arbres ou herbages)

Des mesures dans l'air prélevés par barbotteurs ou par piégeurs passifs peuvent aussi utilisés

De tels résultats de mesure permettent de considérer les principales voie d'expositions :

- **incorporation par ingestion de denrées en reconstituant les activités massiques et volumiques de toutes les composantes d'une ration alimentaire**
- **Inhalation et transfert transcutanée (pour le tritium)**

Dans le cas du tritium, la métrologie doit permettre d'atteindre le bruit de fond de 1 Bq/L

La qualité des estimations dosimétriques dépendra principalement de la représentativité spatiale et temporelle des prélèvements

Merci de votre attention