



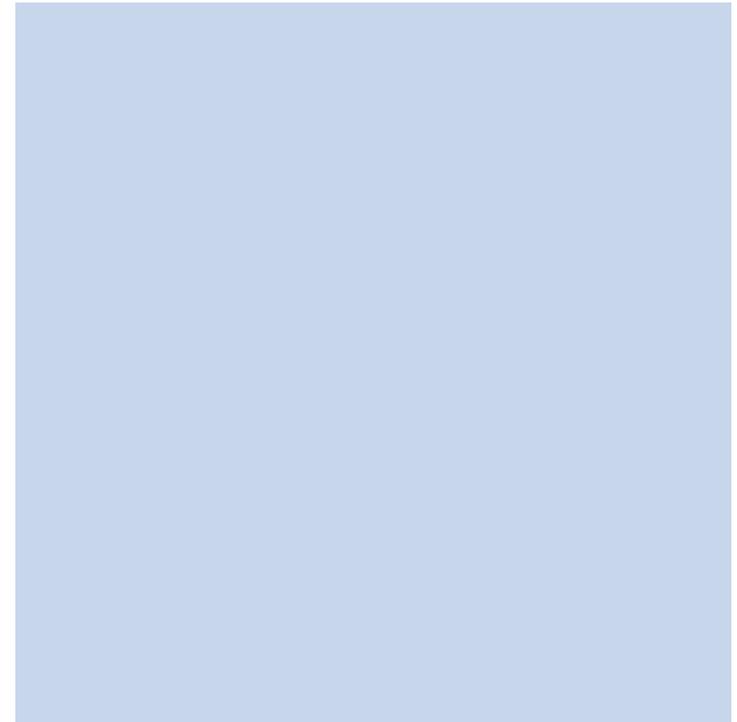
IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Constat radiologique *Vallée du Rhône*

Présentation à l'ANCLI
Valence 17 Novembre 2014



Introduction

Objectifs et caractéristiques du constat régional

Méthodologie

Principaux radionucléides mesurables dans l'environnement

Milieu terrestre

Stratégie et échantillons prélevés en milieu terrestre

Présentation de quelques résultats

Milieu aquatique

Stratégie et échantillons prélevés en milieu aquatique

Présentation de quelques résultats

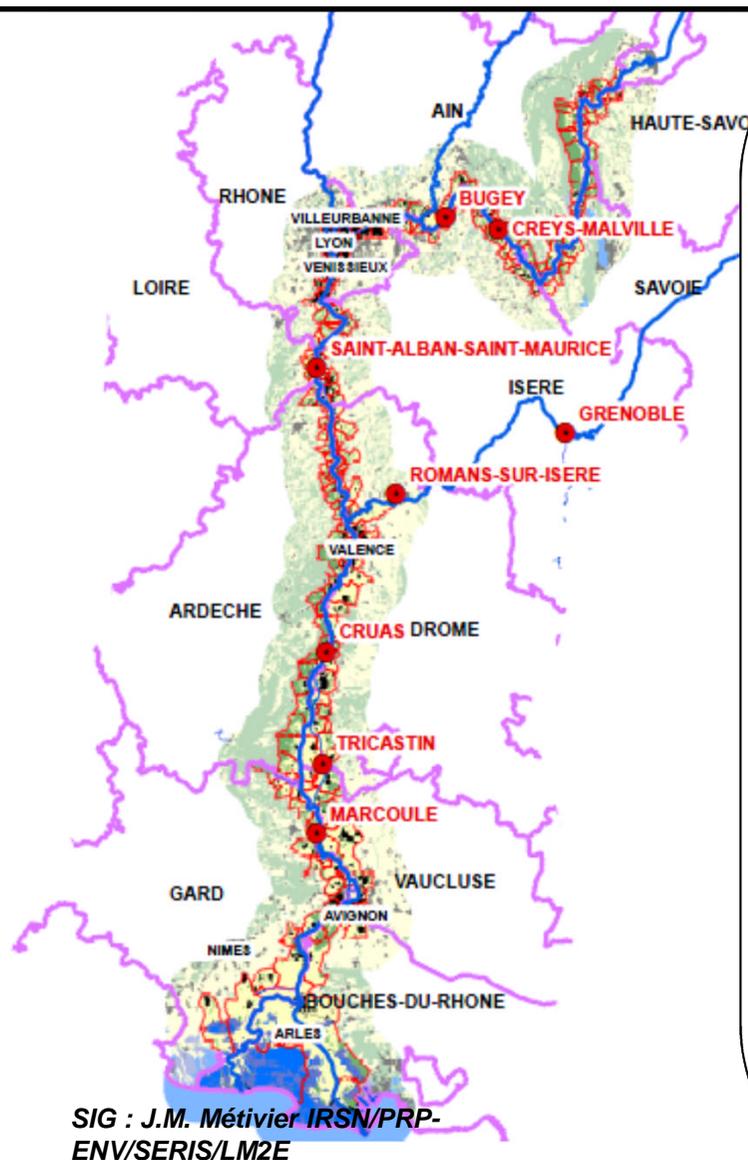
Conclusion

Introduction

Objectifs et caractéristiques du constat régional

- **Faire le bilan des concentrations des radionucléides dans les principaux compartiments de l'environnement terrestre et dulçaquicole, sur un territoire étendu (notamment à distance des installations : peu étudié en routine)**
- **Le constat s'appuie sur les études déjà réalisées et sur la connaissance des niveaux de radioactivité de l'environnement**
- **Ces données sont complétées/actualisées par des campagnes de prélèvements et de mesures**
- **Le choix des échantillons et analyses est ciblé, en fonction :**
 - **Des installations (radionucléides recherchés)**
 - **Du milieu récepteur (air/eau)**
 - **De l'importance en termes de radioécologie (bioindicateurs...)**
 - **Des productions agricoles dominantes ou emblématiques**

Emprise du constat *Vallée du Rhône*



Territoire : amont de Creys jusqu'à Arles

260 communes (*à moins de 10 km du fleuve*)

500 000 hectares dont **50 % de terres agricoles**

800 km de fleuve

32 aménagements hydrauliques

4,7 milliards de m³/an à Arles

4 centrales nucléaires (13,4 GWe)

1 centrale en démantèlement

2 complexes nucléaires (Pierrelatte, Marcoule)

Méthodologie générale

① Le territoire

Espace agricole : productions agricoles représentatives

Espace fluvial : hydrologie, affluents...

Installations nucléaires : radionucléides rejetés
actuellement ou « historiques »

**Localisation des zones potentiellement
impactées (ZI) ou non (ZNI) par les installations**

② Les données disponibles / à compléter

Connaissances acquises sur le voisinage de chaque
installation de la région étudiée

Connaissances acquises sur le bruit de fond naturel et
rémanent dans la région

Données manquantes ou obsolètes

③ Stratégie d'échantillonnage

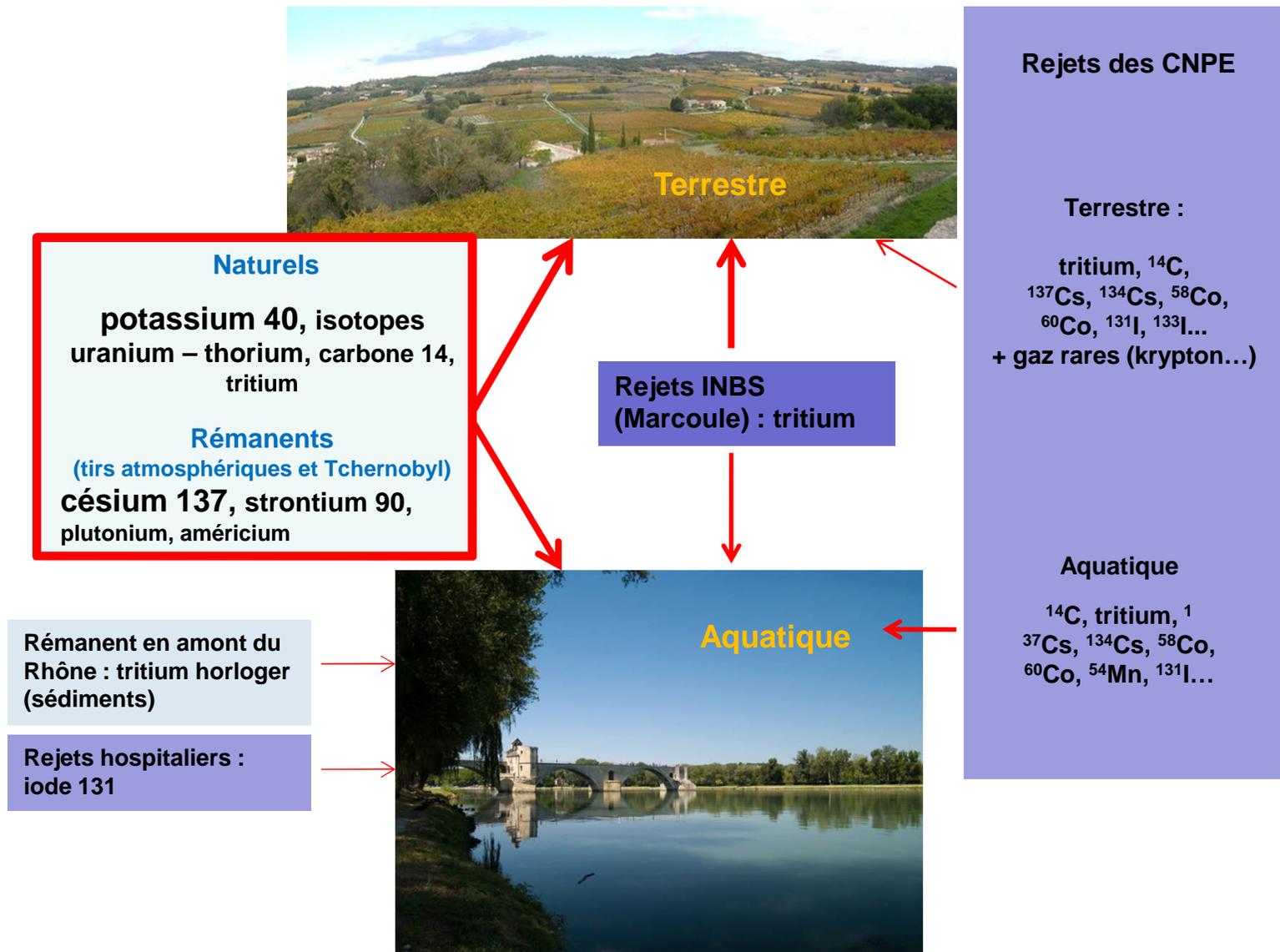
*Moyens alloués : nombre et
types d'analyses, délais...*

- Lieux de prélèvements prévus, types d'échantillons souhaités, radionucléides recherchés
- Planning et contacts locaux
- Ajustement de la stratégie
- Campagnes de prélèvements
- Traitements et mesures

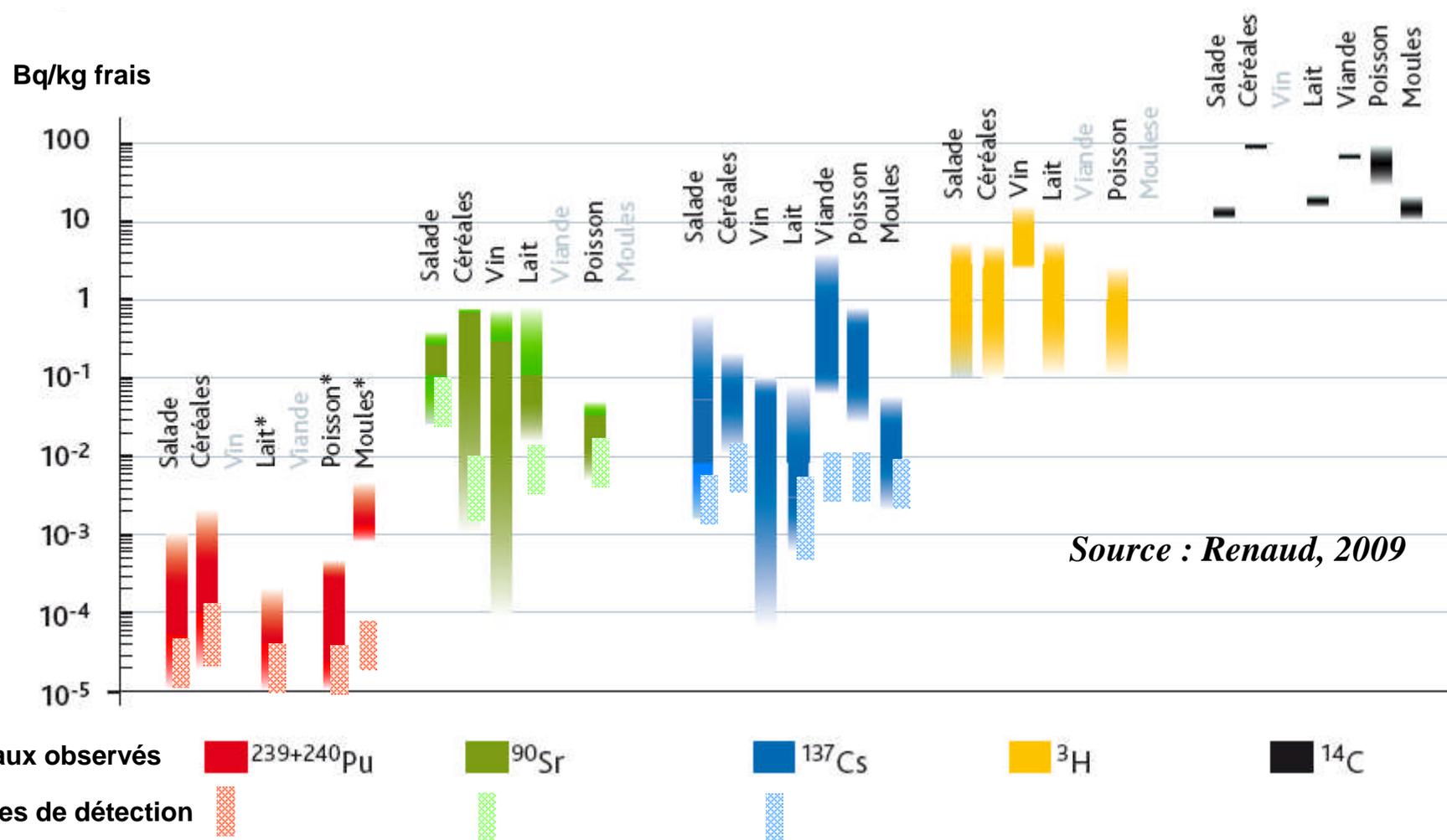
Schéma des zones potentiellement impactées (ZI) ou non impactées (ZNI)



Principaux radionucléides susceptibles d'être mesurés



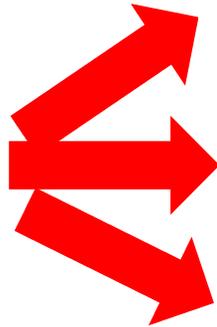
Ordre de grandeur des niveaux de radioactivité hors influence directe d'une installation nucléaire



Milieu terrestre



Stratégie d'échantillonnage



**Diversification des échantillons :
recherche de produits spécifiques
du territoire et/ou rarement
échantillonnés**

Prélèvements sur des zones habituellement peu étudiées (plus de 20 km des installations nucléaires)

Sélection d'indicateurs pour la mesure de radionucléides rarement recherchés : feuilles d'arbres pour mesurer le ^{14}C et le ^3H

Prélèvements d'échantillons « standards » pour permettre des comparaisons avec les données existantes (ex.: lait...)

Identification préliminaire des productions agricoles

① Sélection des grandes productions régionales :
en % de la valeur (€) de la production nationale

② Identification des
catégories de produits (par
département)

③ Importance par commune :
surfaces (ha) ou effectifs (cheptel)
Agreste + Statistique Agricole Annuelle

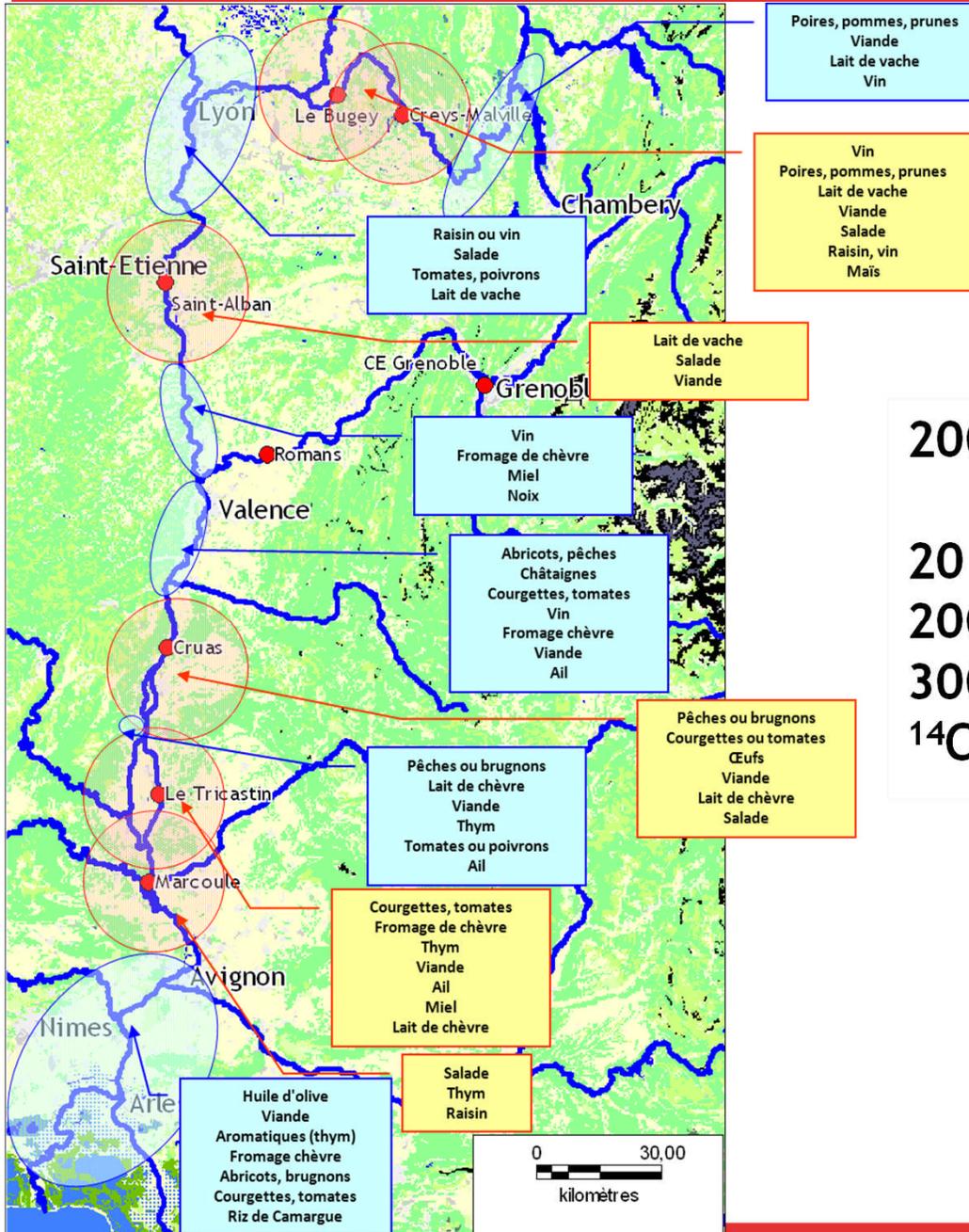
④ Identification des communes *théoriquement* les plus productrices

⑤ Cartographie et base de données

⑥ Contacts locaux
Recherche « in situ »

⑦ **Types d'échantillons
et lieux de prélèvement prévus**

Échantillons prélevés en milieu terrestre



2009 à 2011 :

20 campagnes de prélèvements
 200 échantillons
 3000 résultats (gamma, tritium,
 ^{14}C , alpha, ^{90}Sr , U isotopique...)

Radionucléides artificiels recherchés en spectrométrie gamma

Le seul radionucléide artificiel, mesuré en spectrométrie gamma au dessus des limites de détection est le **^{137}Cs rémanent** provenant des retombées de l'accident de Tchernobyl et des essais atmosphériques d'armes nucléaires,

à l'exception d'une valeur, faible en ^{134}Cs dans un échantillon de viande, imputable aux dépôts sur l'herbe pâturée des retombées de l'accident de Fukushima en avril 2011

Les autres radionucléides artificiels recherchés en spectrométrie gamma, $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{241}Am , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{154}Eu , ^{54}Mn , ^{124}Sb , ^{125}Sb et ^{106}Rh , présentent des résultats inférieurs aux limites de détection.

En effet, les rejets des installations sont trop faibles pour marquer de manière détectable l'environnement terrestre

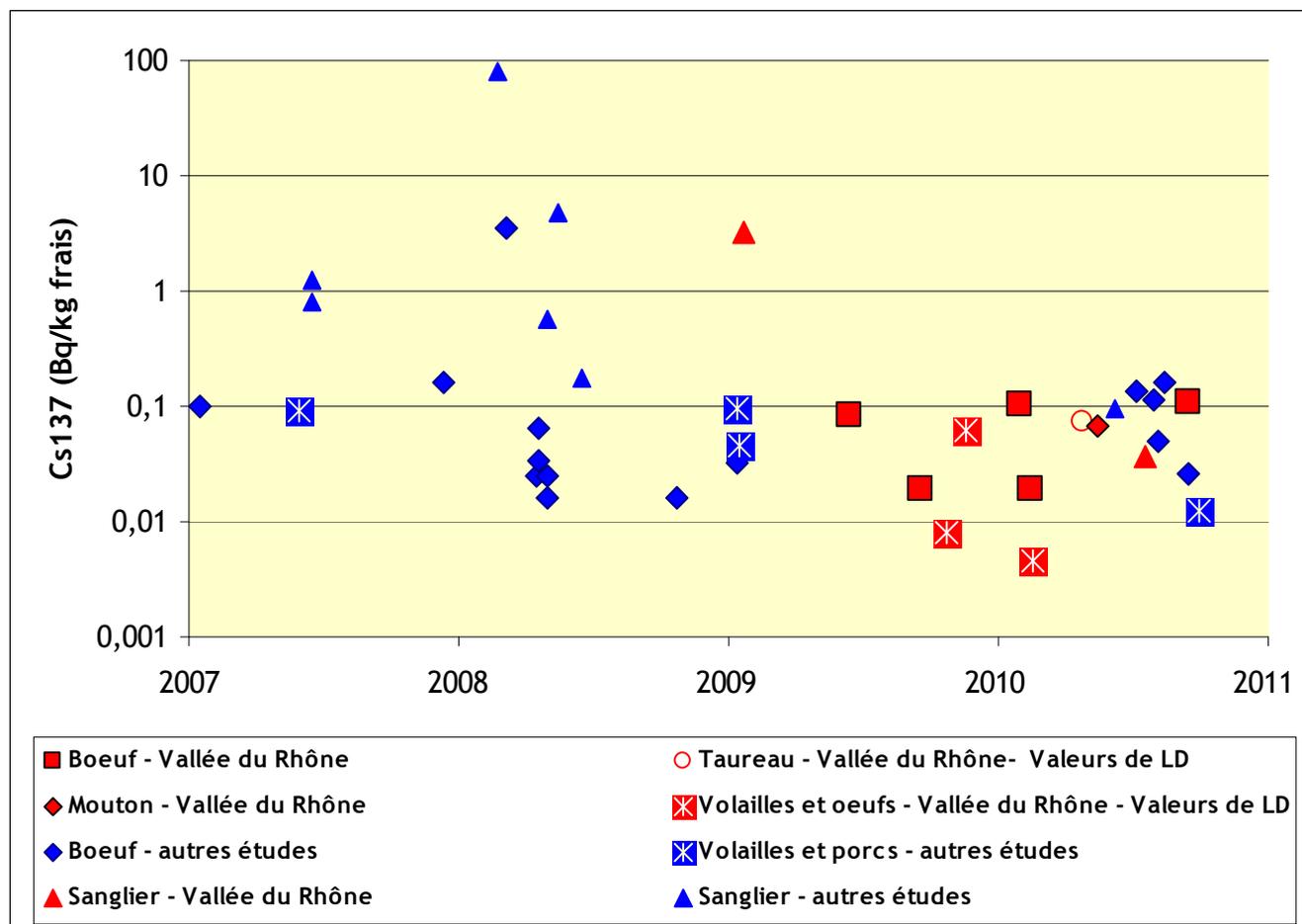
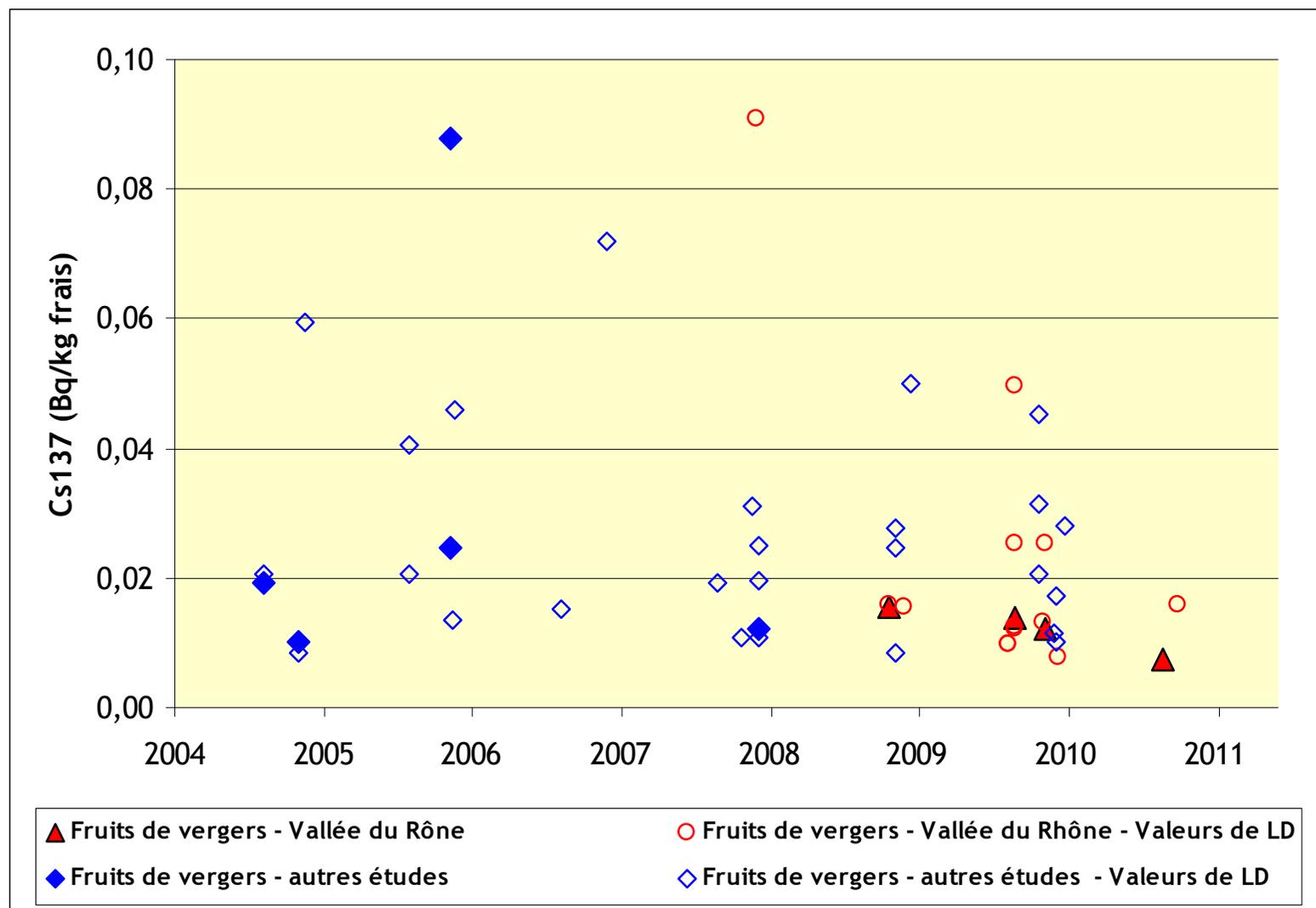
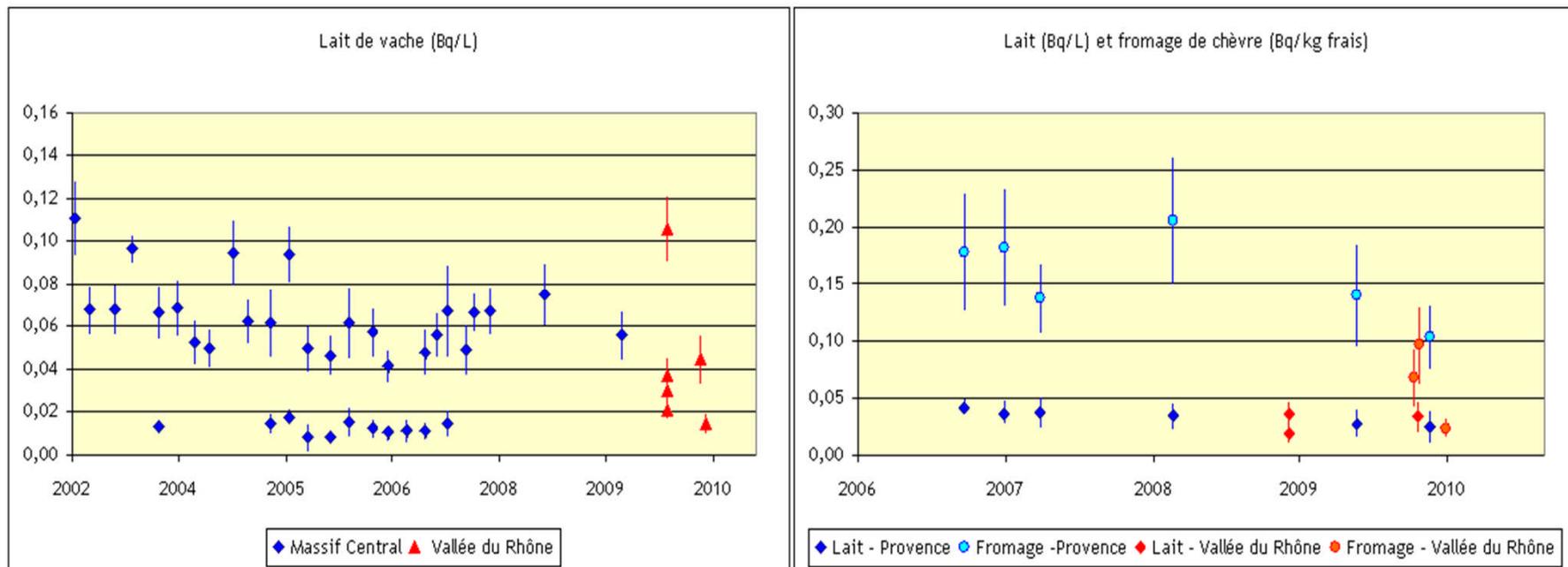
Illustration des résultats de spectrométrie γ : césium 137 dans les viandes

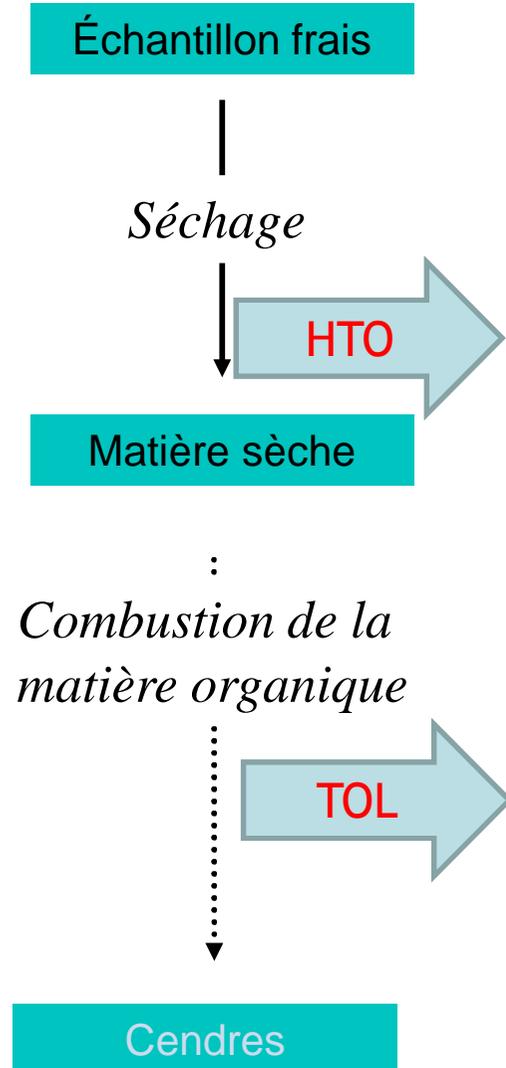
Illustration des résultats de spectrométrie γ : césium 137 dans les fruits

Résultats d'analyses du strontium 90

Le ^{90}Sr provient de la rémanence des dépôts des tirs atmosphériques

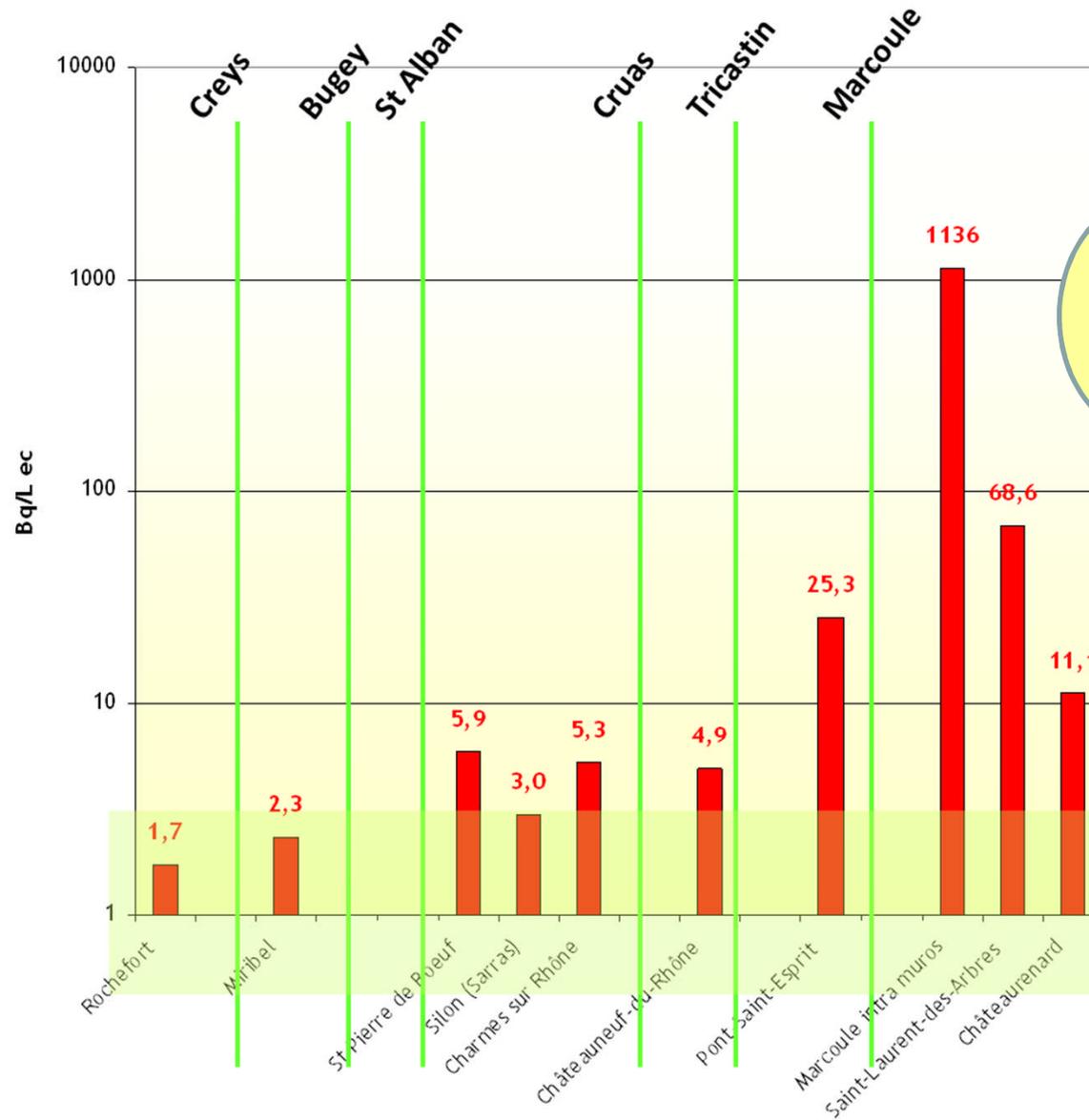
(il peut être « identifié » comme tel grâce à aux rapports connus des isotopes entre eux (signature isotopique), par exemple césium 137/strontium 90 = 1,7 en 2010)



Rappel sur le tritium ^3H ou T

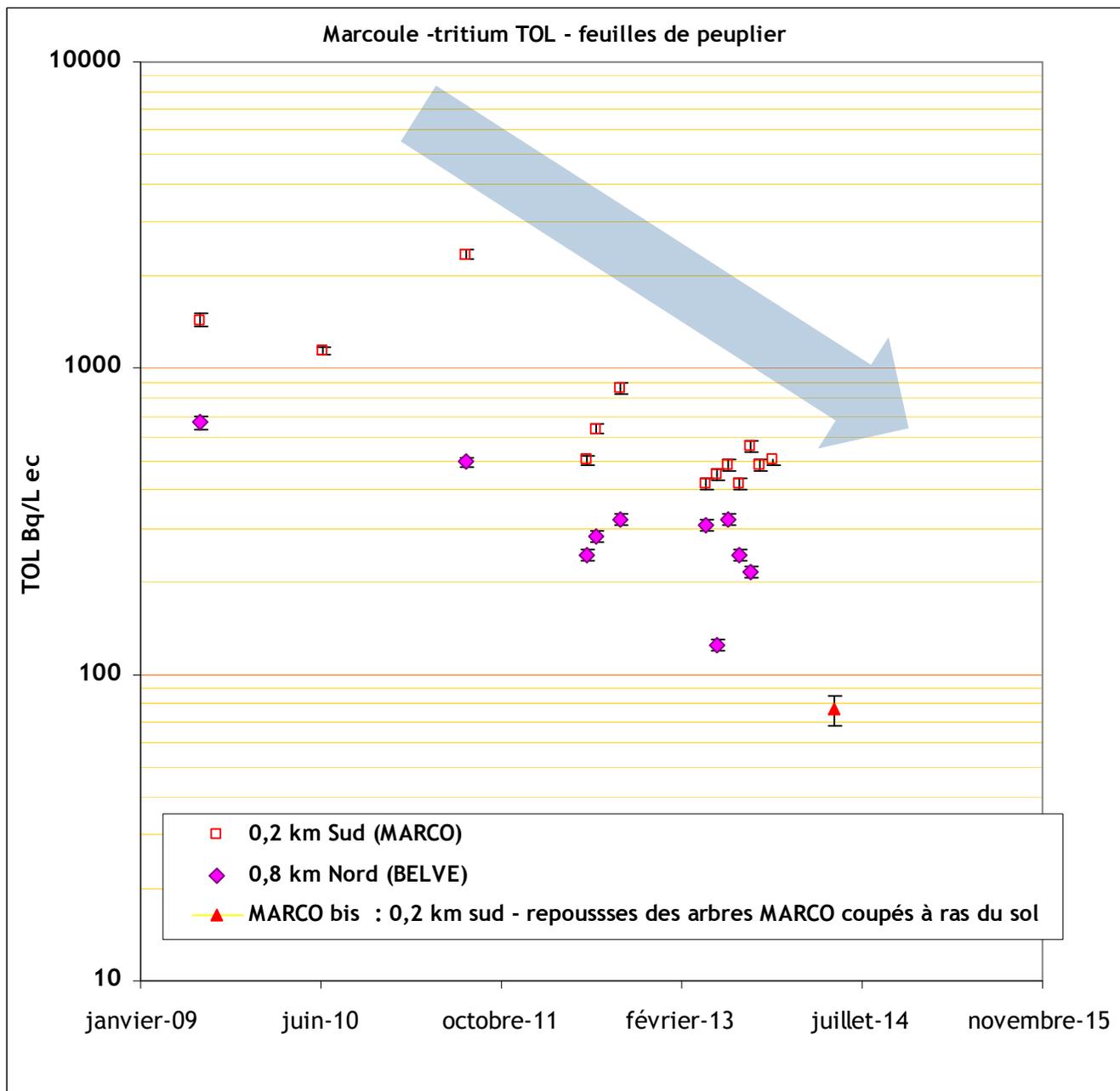
- isotope radioactif de l'hydrogène, apte à s'échanger avec l'hydrogène stable
- origines : naturelle + tirs des années 60-80 (bruit de fond : 1 à 3 Bq/L)
- se trouve notamment sous forme d'eau **HTO** (liquide ou vapeur) qui s'exprime en Bq/L d'eau de dessiccation
- constituant de la matière organique tritium organiquement lié : **TOL** qui s'exprime en Bq/L d'eau de combustion

Tritium TOL dans des feuilles de peupliers en 2010



Tritium en forte diminution
au voisinage de Marcoule
En 2013 : < 100 Bq/L

Bruit de fond
< LD à 3 Bq/L



Estimation pour l'adulte des doses liées au tritium
valeurs majorantes (Marcoule 2010)



Pour $\approx 1 \text{ Bq/m}^3$
d'air

Externe : $0,1 \times 10^{-6} \text{ } \mu\text{Sv/an}$ (infime)

Inhalation : $0,4 \text{ } \mu\text{Sv/an}$ (négligeable)

consommation de
produits locaux
légumes (160 kg/an)
et fruits (56 kg/an)
concentrations en TOL
et HTO $\approx 100 \text{ Bq/L}$
(majorant)

Ingestion $0,5 \text{ } \mu\text{Sv/an}$
(négligeable)

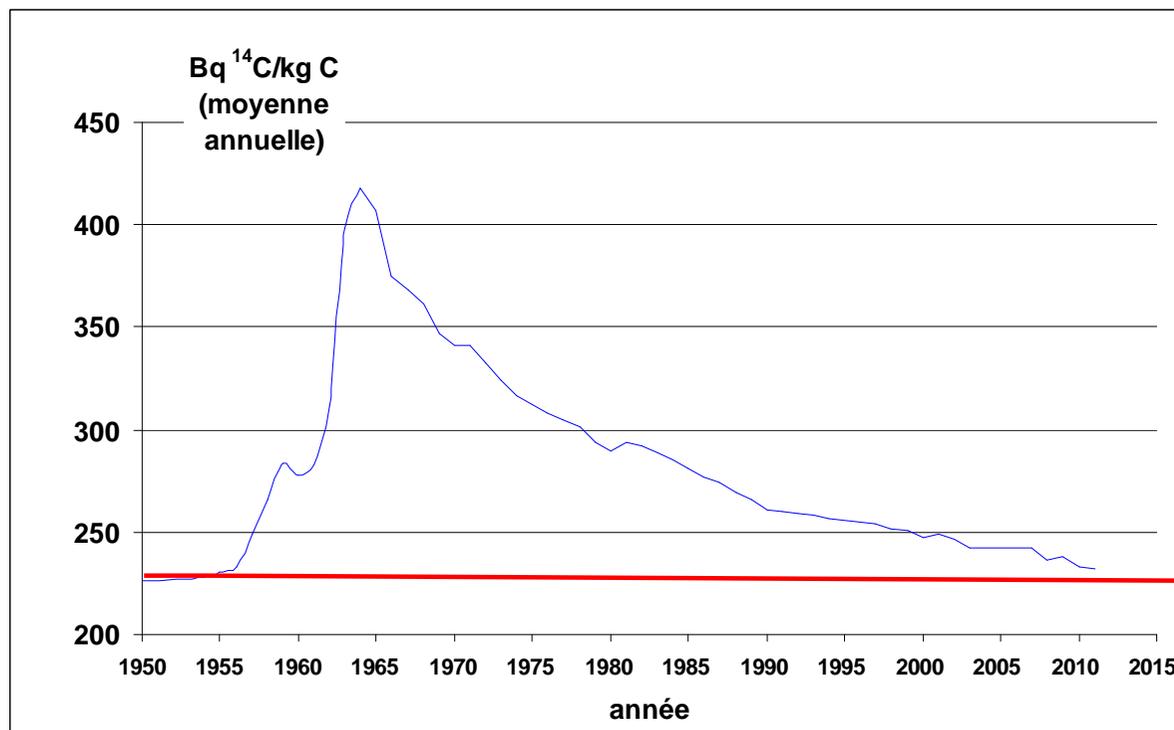
**À comparer à la limite de dose
annuelle pour le public :
 $1000 \text{ } \mu\text{Sv/an}$**

Rappel sur le carbone 14

Le carbone est l'un des constituants majeurs de la matière organique

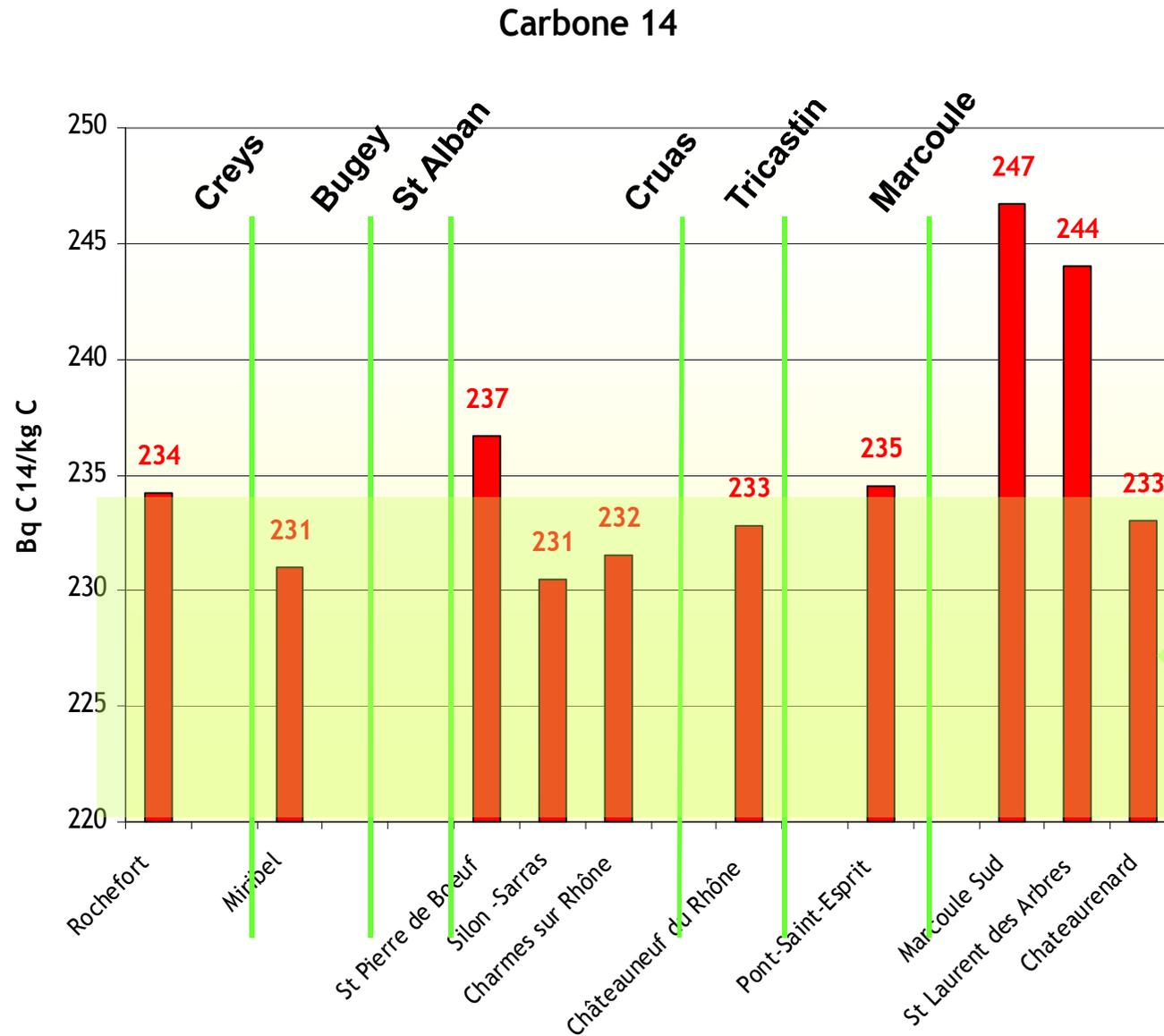
L'activité spécifique du carbone 14 ($\text{Bq } ^{14}\text{C}/\text{kg C}$) :

- est quasi-identique dans toutes les composantes du milieu terrestre
- diminue régulièrement depuis la fin des essais atmosphériques



**Bruit de fond naturel :
226 Bq/kg C**

Carbone 14 dans des feuilles de peupliers (2010)



Bruit de fond
(2010)
234 Bq/kg C

Estimation des doses liées au carbone 14 - incluant le bruit de fond

On déduit facilement les concentrations du ^{14}C dans les denrées à partir des mesures faites sur les feuilles, compte-tenu de la teneur en carbone des aliments

$\approx 250 \text{ Bq/kg C}$



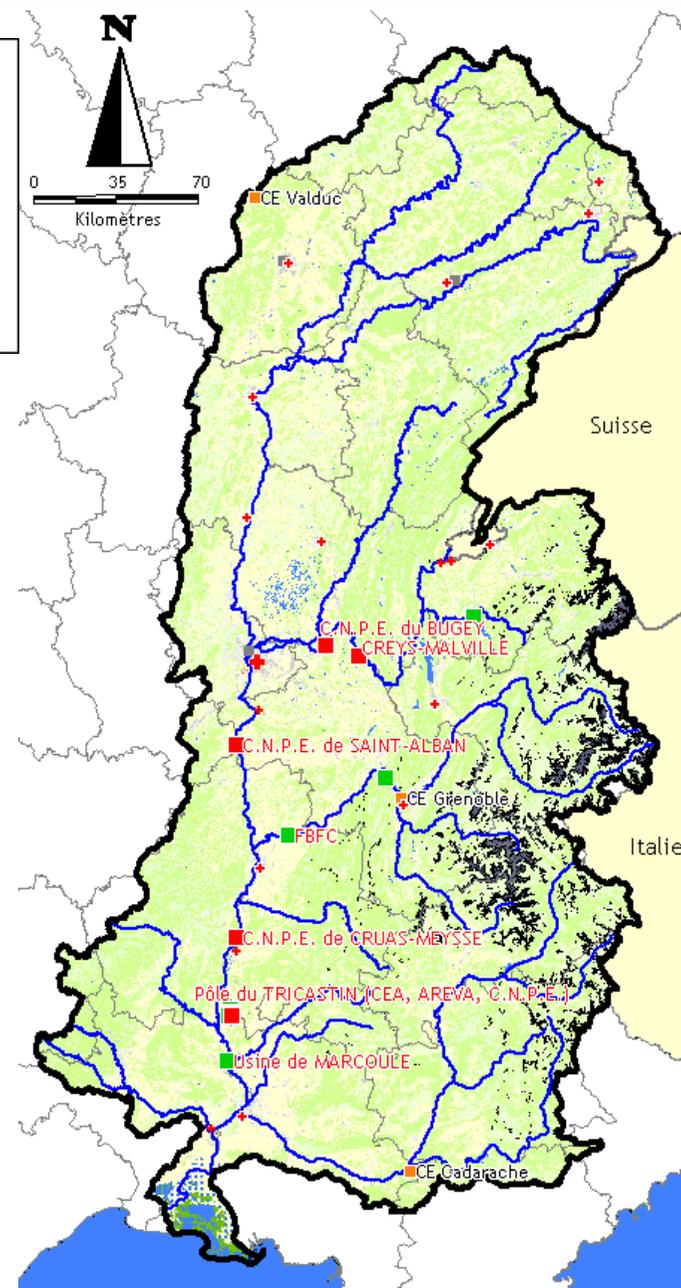
exemple :	Bq/kg frais
Légumes verts	12
Huile végétale...	180

Avec ces concentrations, pour atteindre la limite de dose annuelle de 1 mSv/an, il faudrait consommer chaque jour 400 kg de légumes ou 25 litres d'huile... La dose est négligeable

Milieu aquatique



- Bassin versant de 96 500 km²;
- Longueur 800 km ;
- Débit de 250 m³/s à Genève à 1700m³/s à son embouchure.



Radionucléides susceptibles d'être présents

- ☞ Radionucléides naturels (apports bassin versant)
- ☞ Retombées globales suite aux tirs atmosphériques (rémanence de ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr et actinides transuraniens)
- ☞ Dépôts consécutifs à l'accident de Tchernobyl (rémanence du ¹³⁷Cs)
- ☞ Anciens rejets de l'industrie horlogère
- ☞ Rejets liquides des installations : 4 CNPE d'EDF; Creys-Malville (en démantèlement); Centre AREVA Tricastin; Centre de Marcoule; *Rejets Hospitaliers; Apports des principaux affluents, notamment Isère (FBFC Romans/Isère) et Durance (Centre de Cadarache).*

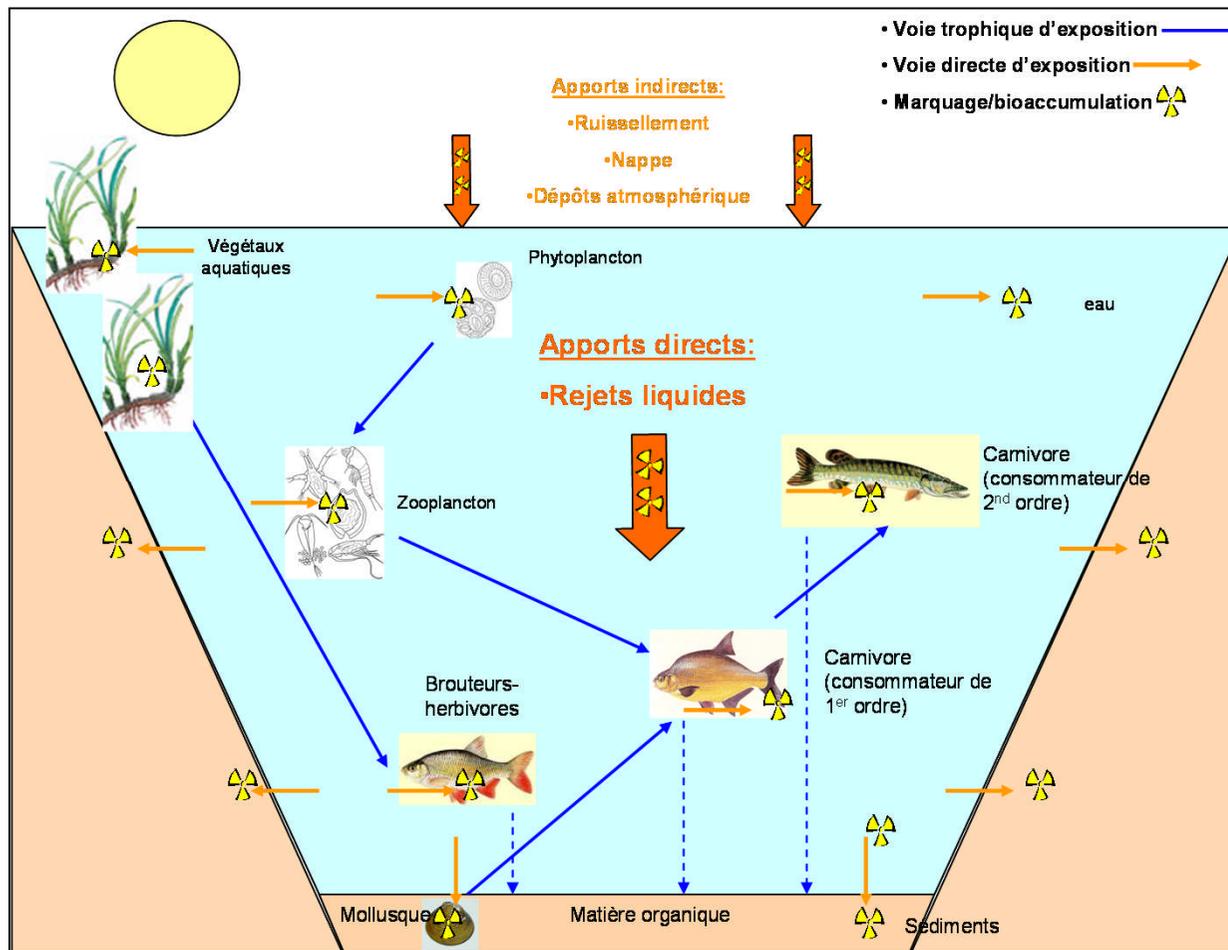
Trois grands secteurs se distinguent:

- 1) L'amont de Creys-Malville, principalement soumis aux retombées des tirs atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl en 1986 et au tritium de l'industrie horlogère.
 - 2) La zone de Creys-Malville à Marcoule, qui est, en plus, soumise aux rejets des sites nucléaires.
 - 3) L'aval du site de Marcoule
- ☞ *S'ajoute ponctuellement l'impact des grandes agglomérations avec les rejets de la médecine nucléaire.*

Deux grandes catégories de radionucléides en milieu aquatique:

- 1) Affinité importante avec les supports solides (matières en suspension) et les sédiments (ex: ^{137}Cs , Pu)
 - 2) Peu d'affinité avec les supports solides : ils suivent la dynamique de l'eau et sont plus facilement bio-assimilables (ex: ^3H)
- ☞ Le ^{14}C est intégré dans le cycle du carbone des hydrosystèmes continentaux (transferts : végétaux/photosynthèse et animaux/ingestion).

- ☞ Eaux et matières en suspension (MES)
- ☞ Végétaux aquatiques (Phanérogames immergées ou semi-aquatiques; bryophytes)
- ☞ Animaux (Poissons, Corbicules)
- ☞ Sédiments



> Illustration des voies d'entrée et de transfert des radionucléides dans une chaîne trophique d'eau douce (simplifiée).

- ☞ Synthèse des études historiques (1979-1989),
- ☞ Un bilan des travaux contemporains préexistants (2000 - 2011)
- ☞ Compléments spécifiques à l'étude: Analyses complémentaires, échantillons spécifiques (~50) prélevés d'avril 2010 à mai 2012

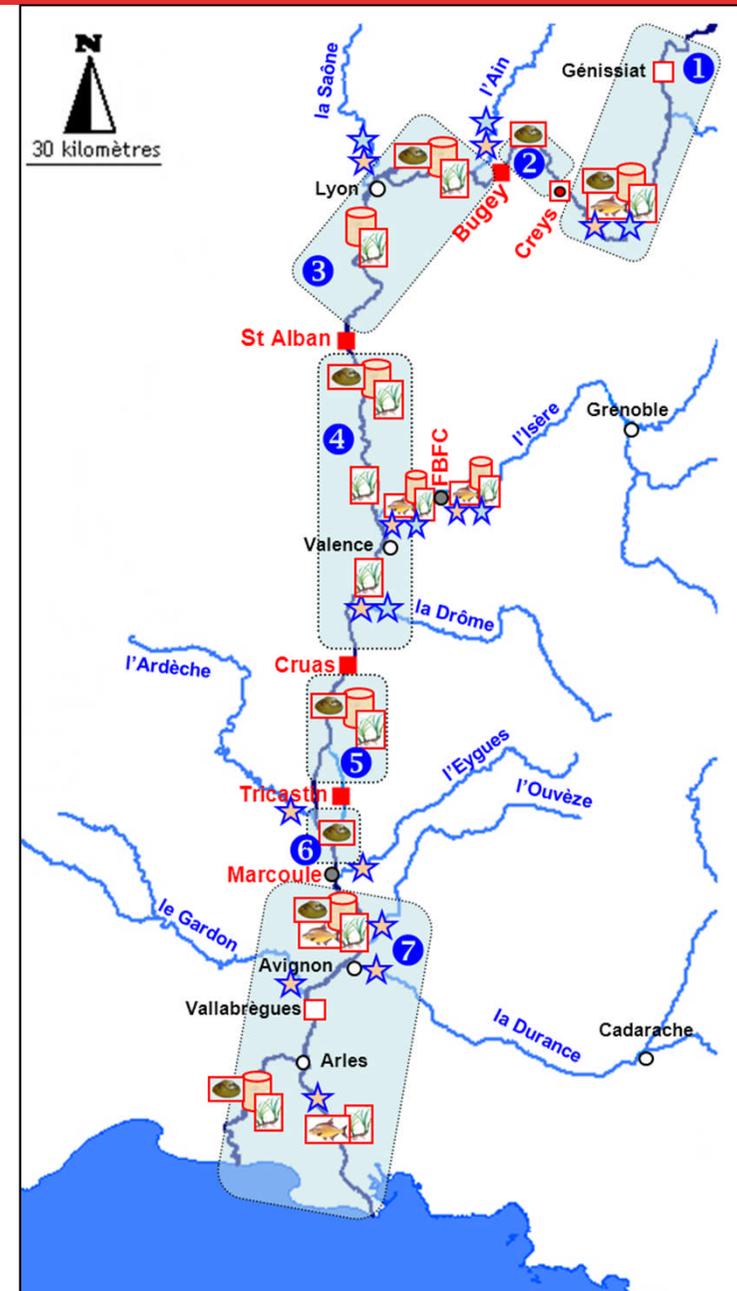
Prélèvements complémentaires

-  Mollusques
-  Poissons
-  Sédiments
-  Végétaux
-  Eau
-  Matières en suspension

 Zone d'étude

Données acquises

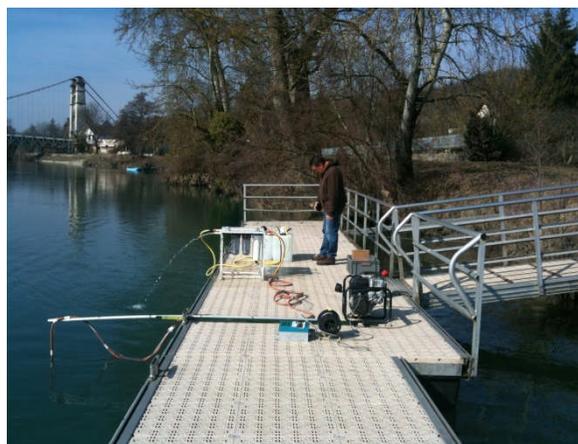
-  Suivi annuel et décennal amont aval et Hydrocollecteur (CNPE)
-  Suivi annuel amont-aval et Hydrocollecteur (Creys-Malville)
-  Hydrocollecteur



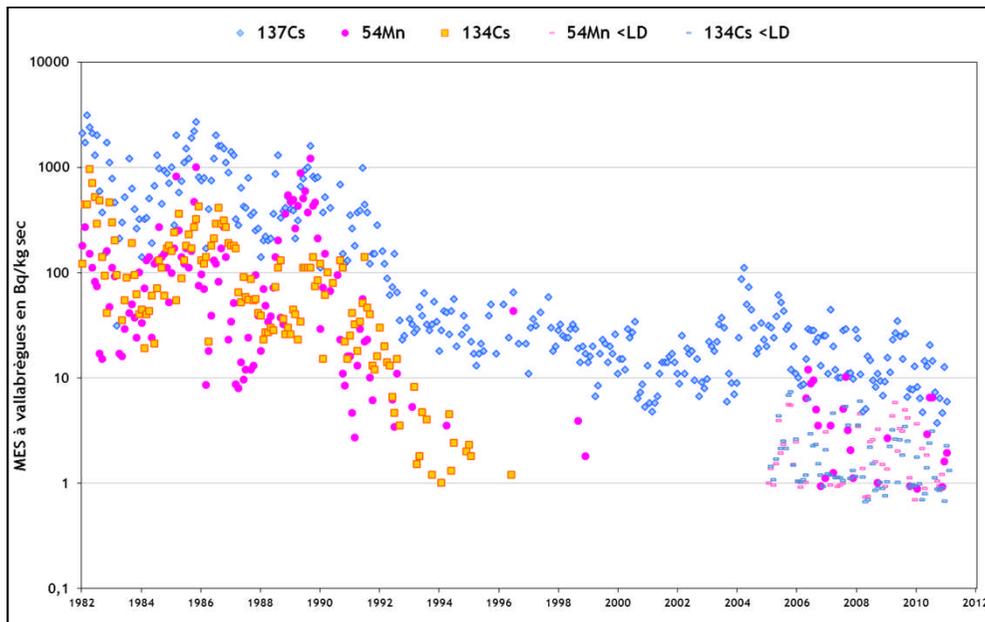
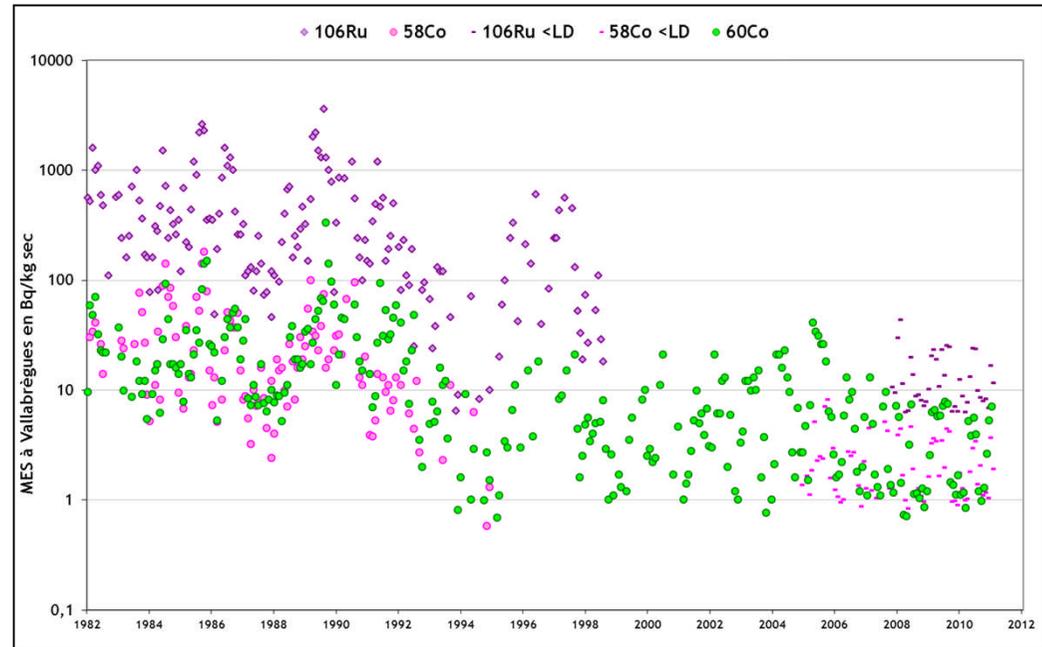
- ☞ Quelle que soit la matrice, les activités des radionucléides d'origine naturelle sont relativement constantes dans le temps et le long du linéaire rhodanien, le ^{40}K est le radionucléide prédominant quelle que soit la matrice analysée.

Eau et matières en suspension du Rhône

- ☞ Les concentrations et la variété des radionucléides artificiels ont diminué ces 30 dernières années.
- ☞ Dans l'eau filtrée, seul le ^{137}Cs , est mesuré à une concentration moyenne de 0,09 mBq/L en amont de Creys-Malville. En aval, sa concentration atteint 0,4 mBq/L à Arles. Il est régulièrement accompagnés de radionucléides provenant des rejets d'installations, mesurés à faible concentration (^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{54}Mn , ^{131}I , ^{106}Rh , ^{124}Sb , ^{125}Sb).



- ☞ Dans les MES, l'activité moyenne en ^{137}Cs en aval de Creys-Malville est de 5,8 Bq/kg sec. En aval du fleuve elle est d'environ 16 Bq/kg sec.
- ☞ Des radionucléides provenant des rejets des différentes installations sont également mesurés en aval du fleuve.

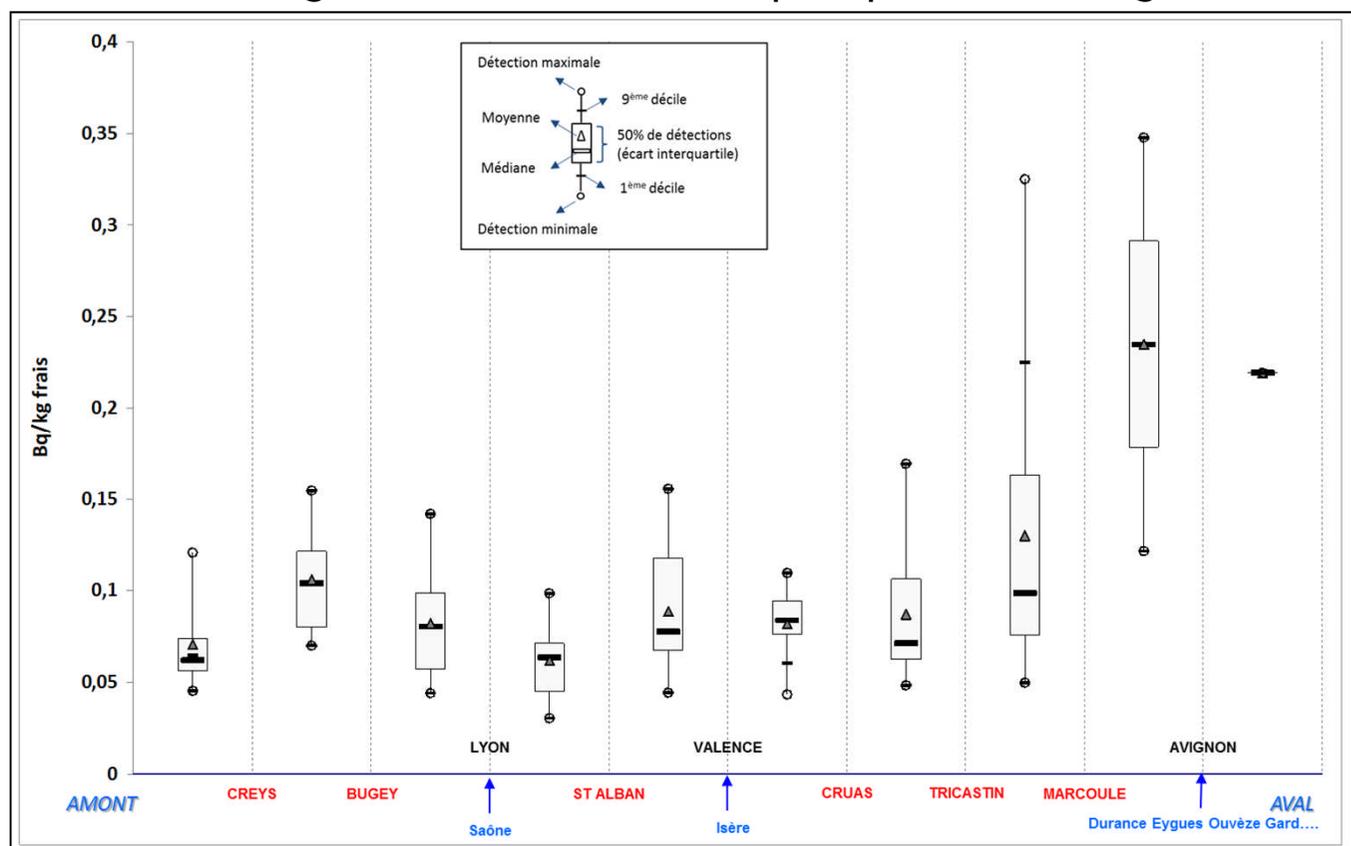


↖ Activités massiques des principaux radionucléides d'origine artificielle mesurés par spectrométrie gamma dans les MES du Rhône à Vallabregues de 1982 à 2011.

Sédiments et échantillons biologiques

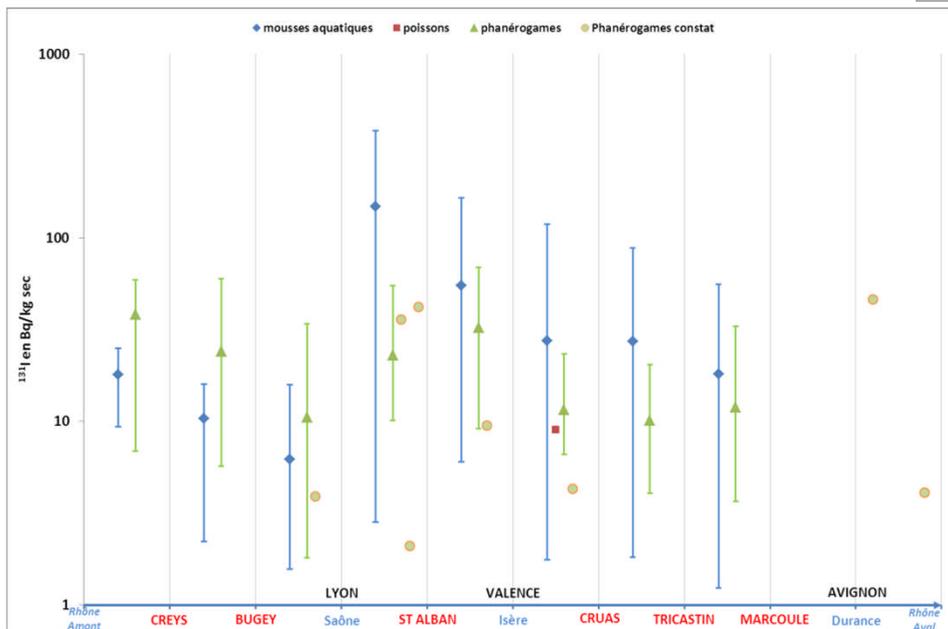
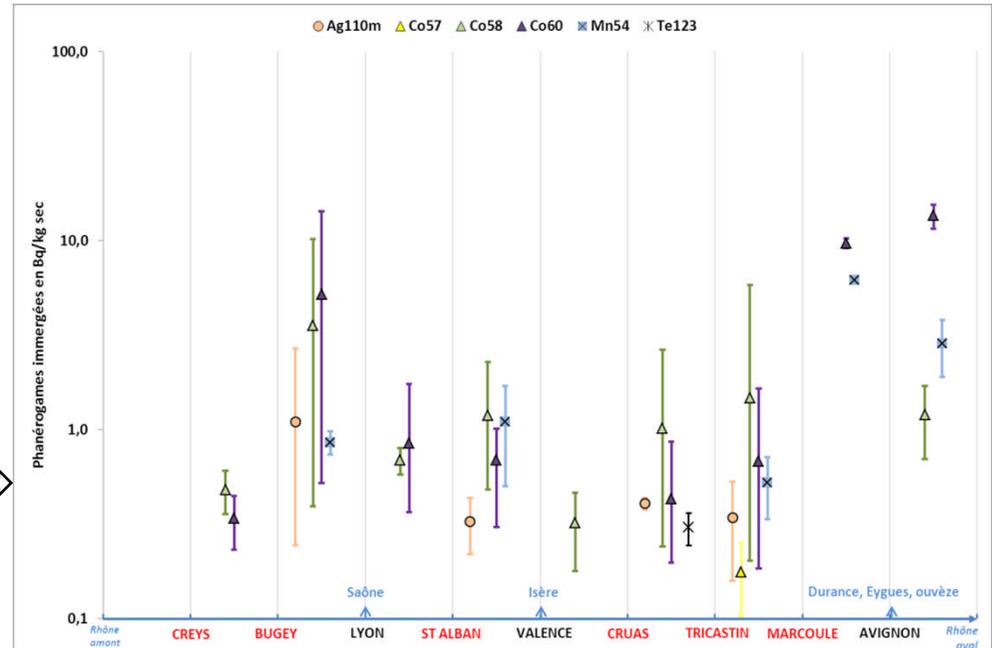
- Les concentrations et la variété des radionucléides artificiels mesurés ont diminué depuis les années 80 et sont relativement constantes ces dix dernières années.
- Les activités en ^{137}Cs sont de l'ordre de la dizaine de Bq/kg sec dans les sédiments et de l'ordre du Bq/kg sec dans les échantillons biologiques
- Le ^{137}Cs est le seul radionucléide d'origine artificielle mesuré par spectrométrie gamma dans les poissons

Variation des activités en ^{137}Cs mesurées par spectrométrie gamma, dans les poissons du Rhône de 2000 à 2011 en Bq/kg frais.



Les activités en ^{60}Co , ^{58}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{54}Mn sont variables le long du fleuve restant assez faibles : sédiments autour de 0,5 Bq/kg sec et environ 5 fois plus élevées dans la zone aval (Marcoule), où l'on observe aussi la présence de ^{57}Co et ^{241}Am .

Intervalles de variation et moyennes des activités des radionucléides d'origine artificielle mesurés par spectrométrie gamma, hors ^{137}Cs et ^{131}I , dans les phanérogames immergées du Rhône de 2001 à 2011.

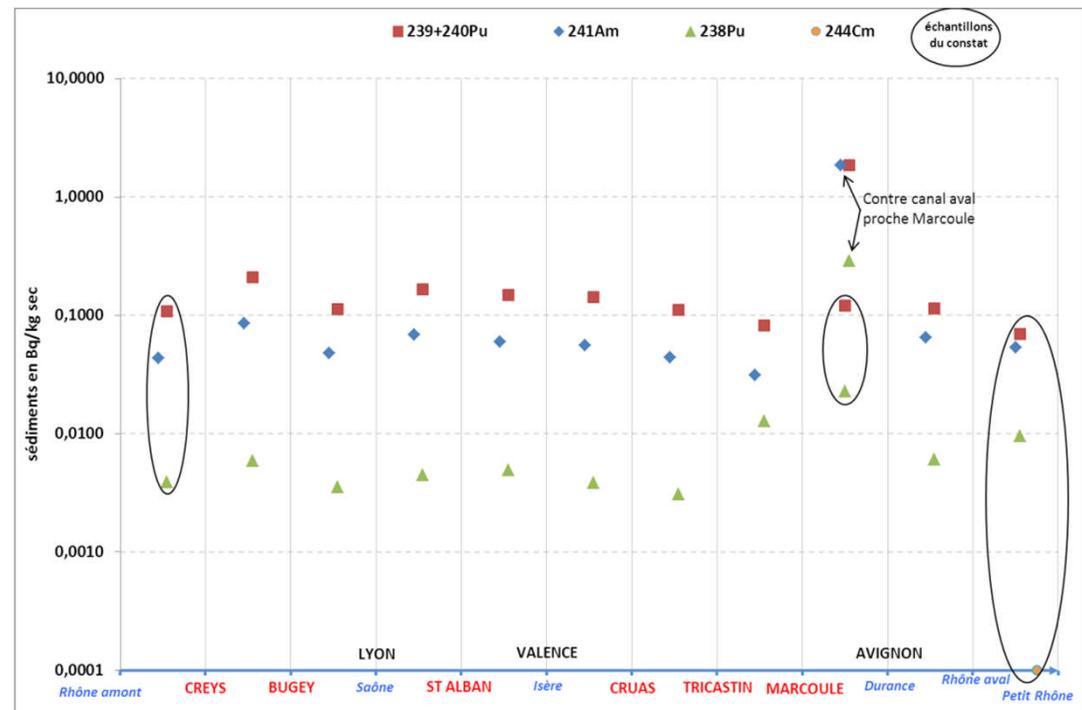


L'impact des rejets issus des activités de la médecine nucléaire est perceptible par l'augmentation des activités en ^{131}I dans les végétaux aquatiques à l'aval des grandes agglomérations.

Intervalles de variation et moyennes des activités en ^{131}I , mesurés dans le Rhône de 2001 à 2011 et dans le cadre du constat.

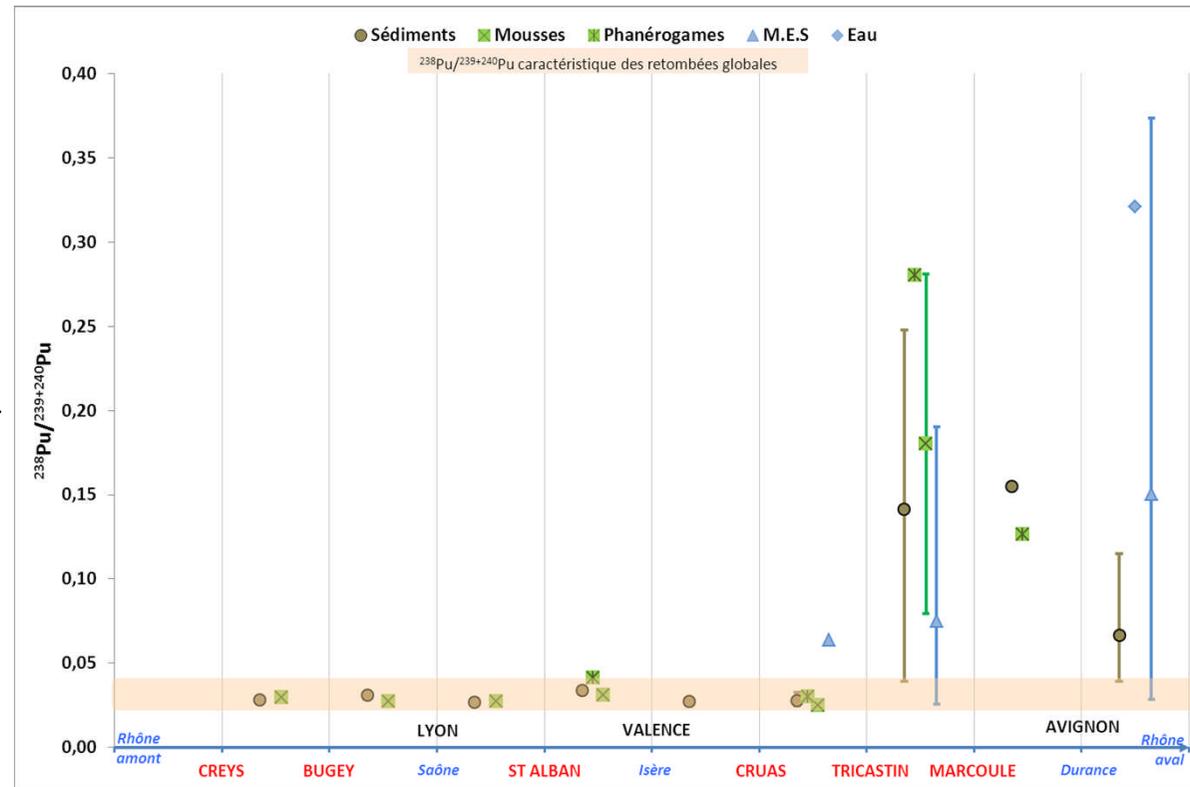
- Les activités observées dans les années 80 en ^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$ dans les sédiments sont relativement comparables aux concentrations actuelles, contrairement à celles observées dans les végétaux, qui ont fortement diminué.
- Les activités restent inférieures aux limites de détection dans les poissons, seul le $^{239+240}\text{Pu}$ est mesuré sporadiquement à l'état de trace.
- Les sédiments prélevés à l'aval proche de Marcoule présentent les activités maximales mesurées ; environ 2 Bq/kg sec pour l' ^{241}Am et le $^{239+240}\text{Pu}$ et 0,3 Bq/kg sec pour le ^{238}Pu .

Moyennes des activités des actinides transuraniens mesurées dans les sédiments du Rhône entre 2001 et 2011 et dans le cadre du constat



- Le rapport $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ reste caractéristique des retombées globales (0,03) jusqu'à Tricastin.
- Il augmente ensuite en liaison avec les rejets des sites de Marcoule et Tricastin

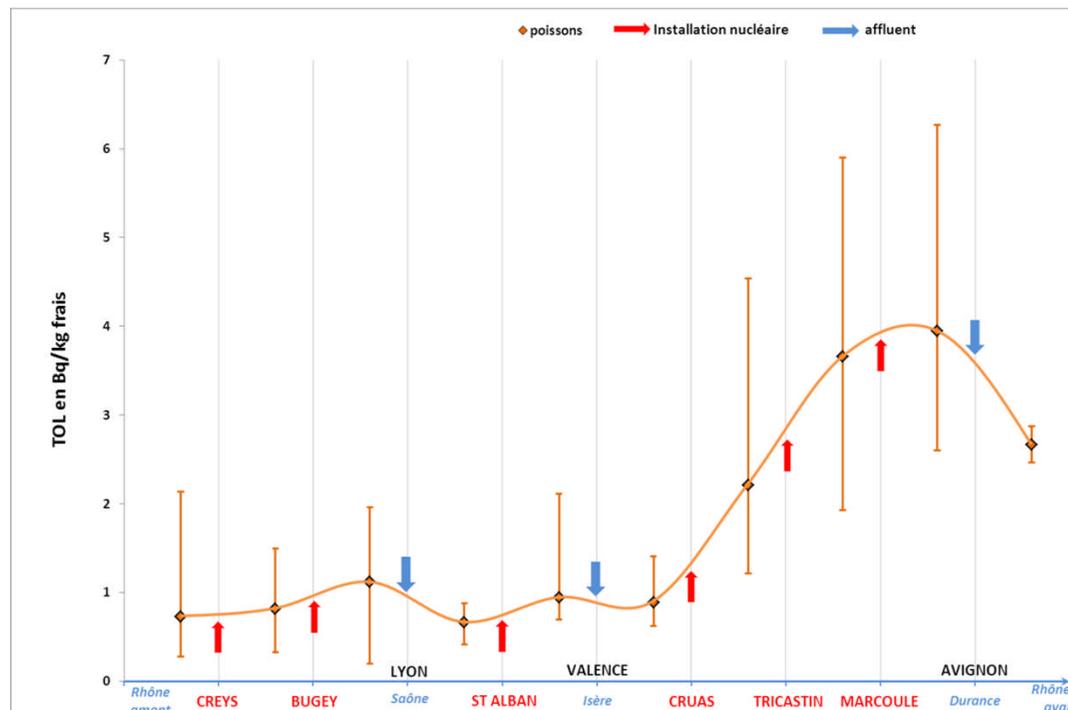
Évolution et intervalles de variation du rapport $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ moyenné de 2001 à 2011 sur les échantillons collectés dans le Rhône et dans le cadre du constat.



Strontium 90

- Les niveaux de ^{90}Sr ont fortement baissé au cours des trente dernières années, ils sont relativement faibles et peu différents entre l'amont et l'aval, de l'ordre du Bq/kg sec dans les végétaux et les sédiments et compris entre 0,03 et 0,84 Bq/kg sec (de 0,01 à 0,34 Bq/kg frais) dans les poissons.

- Depuis trente ans les niveaux d'activité du tritium ont diminué dans les échantillons du Rhône.
- Les moyennes des activités en TOL des sédiments sont plus élevées en amont du fleuve qu'à l'aval (de 9000 à l'amont à 500 Bq/L d'eau de combustion à l'aval) en raison de l'impact des rejets historiques de l'industrie horlogère.
- Les moyennes des activités dans les phanérogames sont relativement constantes de l'amont vers l'aval (10 à 30 Bq/L d'eau de combustion).
- Dans les poissons, la moyenne des activités augmente de l'amont vers l'aval (de 5 à 30 Bq/L d'eau de combustion) et témoigne de l'influence des rejets des installations nucléaires.

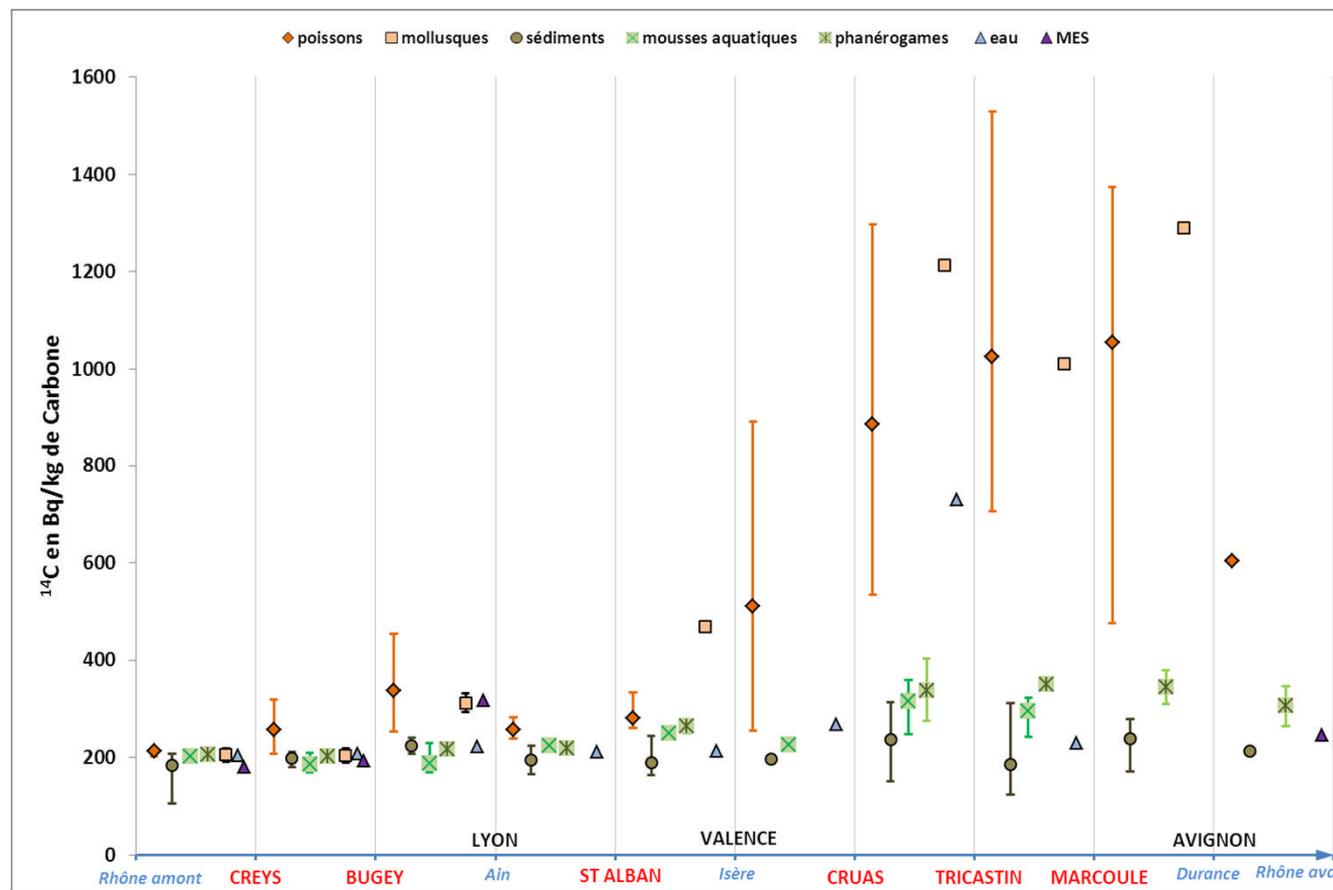


Influence des rejets des installations nucléaires et des principaux affluents du Rhône sur les intervalles de variation et moyennes des activités en tritium organiquement lié, mesurées dans les poissons du Rhône de 2000 à 2011

- À l'amont, dans toutes les matrices minérales ou biologiques (eaux, MES, sédiments, mousses, phanérogames, mollusques et poissons), l'activité spécifique du ^{14}C est au niveau du bruit de fond, autour de 200 Bq/kg C.
- L'activité spécifique des végétaux, sédiments et MES est peu variable de l'amont vers l'aval.
- L'activité spécifique dans les mollusques et les poissons augmente de l'amont vers l'aval : des valeurs maximales de l'ordre de 1300 Bq/kg C sont atteintes dans le secteur aval (Tricastin puis Marcoule).

Moyennes des activités et intervalles de variations du ^{14}C mesurés dans les échantillons du Rhône de 2001 à 2011

→ Il faudrait consommer chaque jour 2,7 kg (≈1000 kg/an) de poisson ayant une activité massique d'environ 1500 Bq ^{14}C /kg C, pour aboutir à une dose de 1mSv/an.



Conclusion

- Les activités du ^{137}Cs et du ^{90}Sr se situent à des niveaux habituels, correspondant à la rémanence des retombées anciennes
- Il n'y a pas de marquage visible des radionucléides mesurés en spectrométrie gamma, qui serait imputable aux rejets des installations en milieu terrestre
- Les concentrations du ^{137}Cs dans les types d'échantillons rarement prélevés (fruits, ail, miel, viandes...) ne se démarquent pas de celles des autres denrées
- Si l'on excepte le secteur et l'aval de Marcoule, les résultats permettent de déceler dans quelques échantillons un très faible excès de tritium
- Près de Marcoule, un net marquage en tritium des végétaux a pu être observé, principalement dans l'axe de la vallée jusqu'à plus d'une dizaine de kilomètres au nord et au sud du site ; les concentrations observées sont cohérentes avec celles issues des mesures du CEA publiées dans le Réseau National de Mesures. Ces concentrations ont depuis 2010 décru d'un facteur 10
- En ce qui concerne le carbone 14, les échantillons sont au niveau ou très légèrement supérieurs au bruit de fond, qui est en majorité d'origine naturelle
- Les niveaux de radioactivité mesurés dans cette étude ne présentent pas de risque sanitaire

- Globalement on observe une diminution des activités et de la variété des radionucléides au cours des trente dernières années (décroissance et diminution des rejets)
- Trois grands secteurs:
 - ❶ lac Léman à Creys-Malville → Retombées des tirs atmosphériques, Tchernobyl et tritium de l'industrie horlogère
 - ❷ Creys-Malville à Marcoule → ❶ + effluents liquides des sites nucléaires
 - ❸ aval de Marcoule → ❶+ ❷ + rejets du site de Marcoule
- Seul le ^{137}Cs est encore fréquemment mesuré. De manière plus irrégulière les ^{60}Co , ^{58}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{54}Mn , ^{57}Co et ^{241}Am sont décelés à des niveaux d'activités faibles.
- Les rejets issues des activités de médecine nucléaire marquent l'aval des grandes agglomérations (^{131}I)
- Les actinides transuraniens sont caractéristiques des retombées globales jusqu'au Tricastin, puis influencées par les rejets des sites de Tricastin et Marcoule en aval.
- Le tritium présente des activités plus élevées en amont qu'en aval dans les sédiments (industrie horlogère). En revanche, dans les poissons, les activités sont plus élevées en aval qu'en amont (installations nucléaires)
- L'activité spécifique du carbone 14 présente une augmentation progressive vers l'aval qui témoignent de l'impact des rejets des installations nucléaires
- Les niveaux de radioactivité mesurés en milieu aquatique ne présentent pas de risque sanitaire

Pour plus d'information

Rapports disponibles et informations sur la surveillance de l'environnement sur site internet de l'IRSN:

<http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/Pages/Home.aspx>

<http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/surveillance-environnement/resultats/etats-radiologiques-regionaux/Pages/sommaire.aspx>

The screenshot shows the IRSN website interface. At the top left is the IRSN logo (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) and the slogan 'Faire avancer la sûreté nucléaire'. To the right are links for 'Base de connaissances', 'Professionnels de santé', and 'Presse'. Below this is a search bar with an 'OK' button and a link for 'Recherche avancée >'. A horizontal navigation menu contains: 'L'IRSN', 'LA RECHERCHE', 'ACTUALITÉS', 'AVIS ET RAPPORTS', 'PRESTATIONS & FORMATIONS', and 'CARRIÈRES'. The main content area is titled 'Base de connaissances' and includes a breadcrumb trail: 'Accueil > Base de Connaissances > Surveillance de l'environnement'. Below the breadcrumb is a row of colored buttons: 'INSTALLATIONS NUCLÉAIRES' (orange), 'SANTÉ ET RADIOPROTECTION' (teal), 'SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT' (green), 'NUCLÉAIRE ET SOCIÉTÉ' (pink), 'MEDIATHÈQUE' (grey), 'VOS QUESTIONS' (grey), and 'GLOSSAIRE' (grey). The 'SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT' button is highlighted. Below this row, the text 'La surveillance de l'environnement' is displayed in green, followed by 'Données des réseaux de surveillance de l'IRSN'.

Consultation des données de la surveillance sur le site internet du RNM:

<http://www.mesure-radioactivite.fr/public/>

This block contains the logos for the Réseau National de Mesures de la Radioactivité de l'Environnement (RNM) and the Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). On the left is the RNM logo, featuring a stylized globe and the text 'réseau national Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement'. On the right is the IRSN logo, featuring the acronym 'asn' in a green circle, the text 'AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE', and the full name 'IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE'.