

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# La radioactivité de l'environnement : Le bruit de fond et ses origines ; l'influence du fonctionnement normal actuel des installations nucléaires

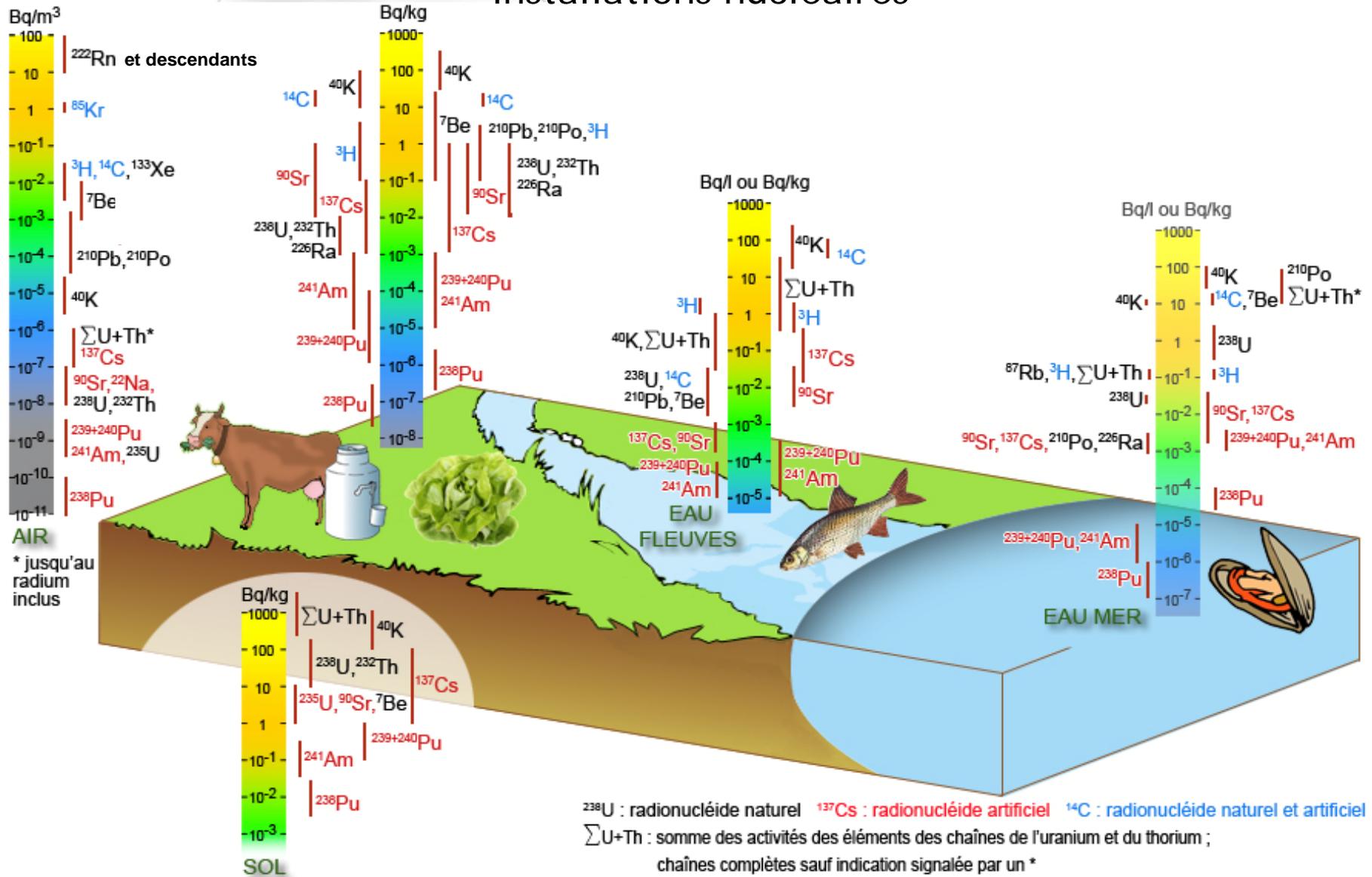
Congrès SFRP d'Angers 15-18 juin 2009

Philippe RENAUD  
IRSN/DEI/SESURE/LERCM

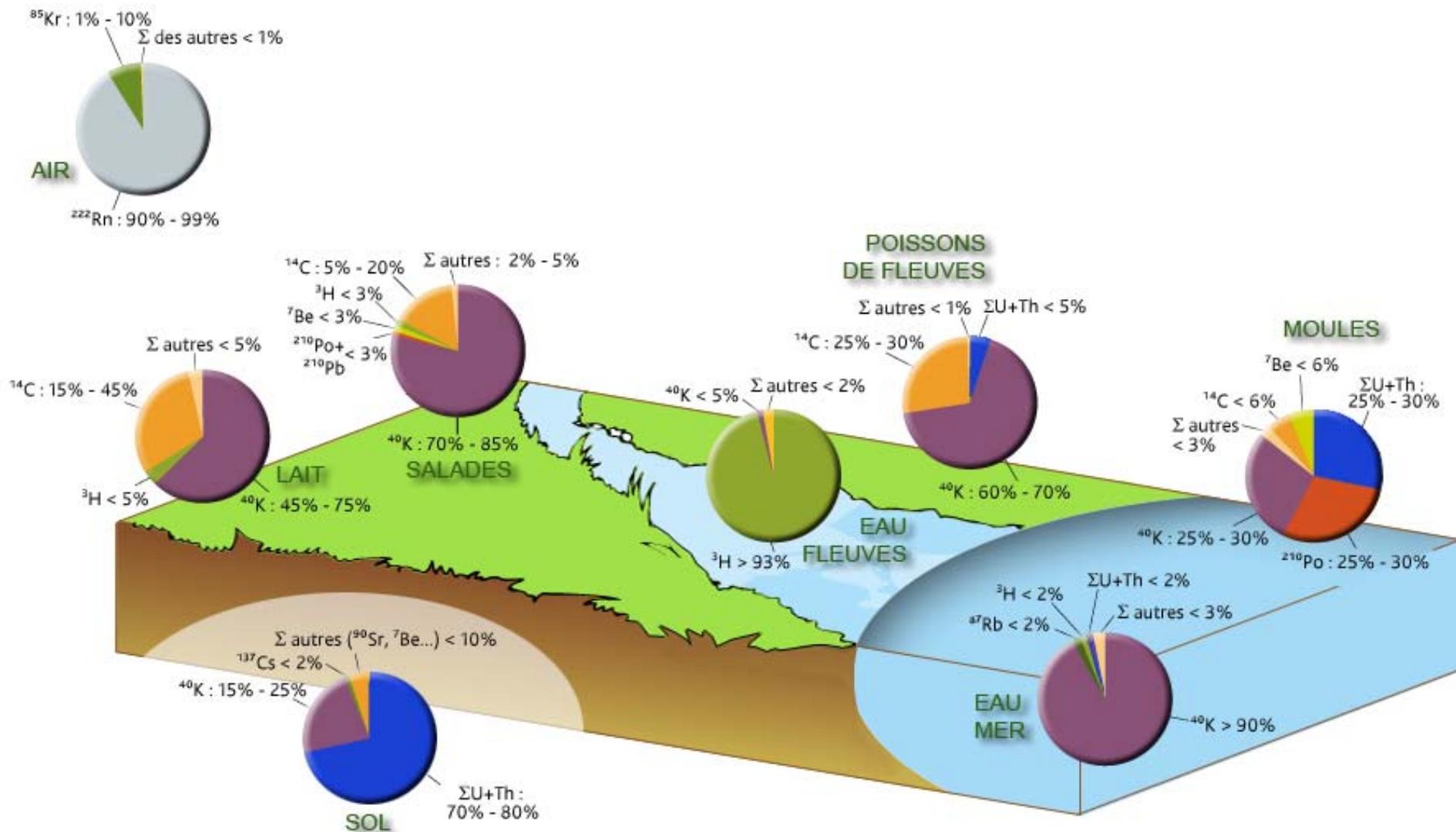


Système de management  
de la qualité IRSN certifié

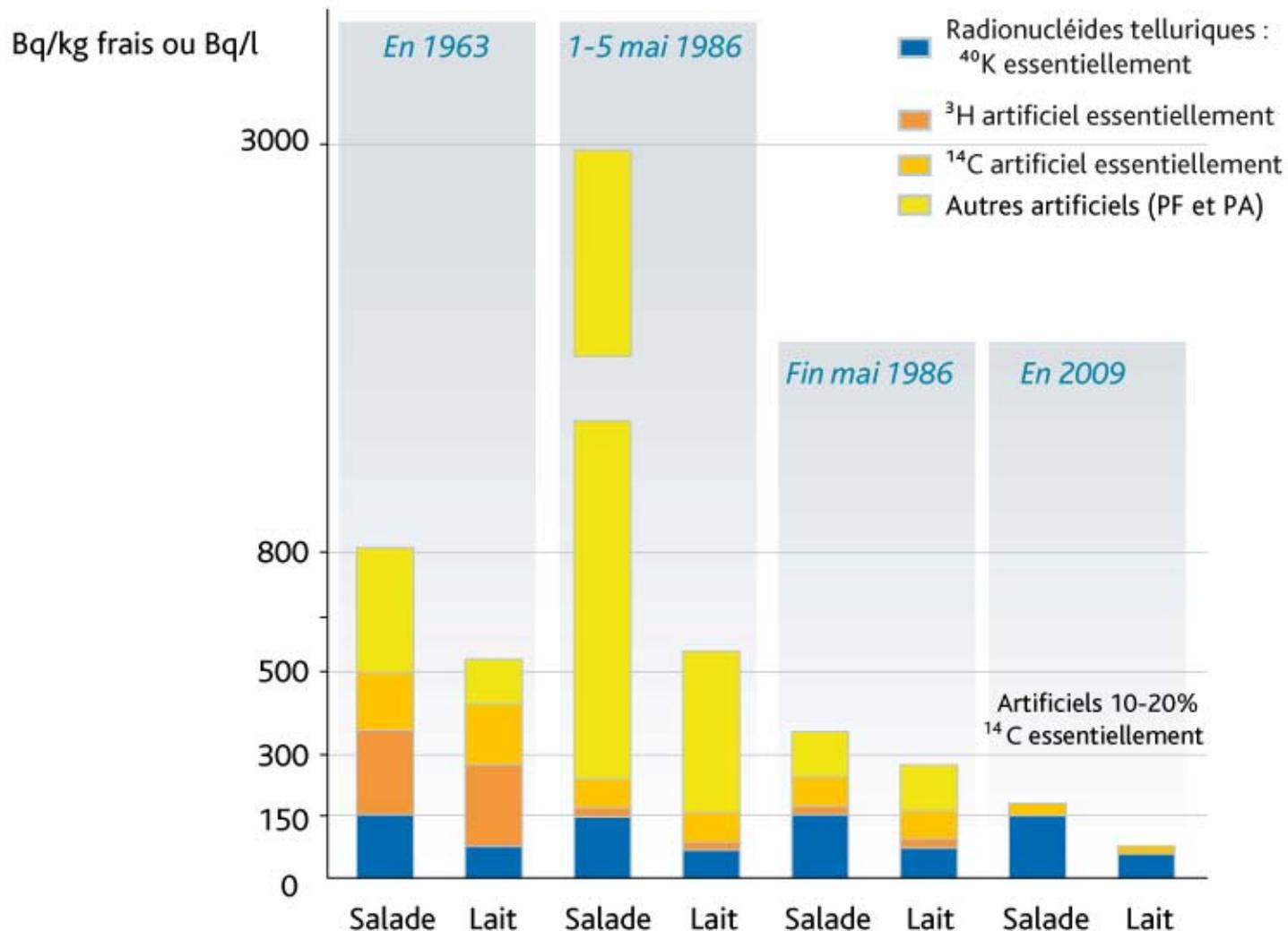
# La radioactivité de l'environnement français en 2009, hors influence des installations nucléaires



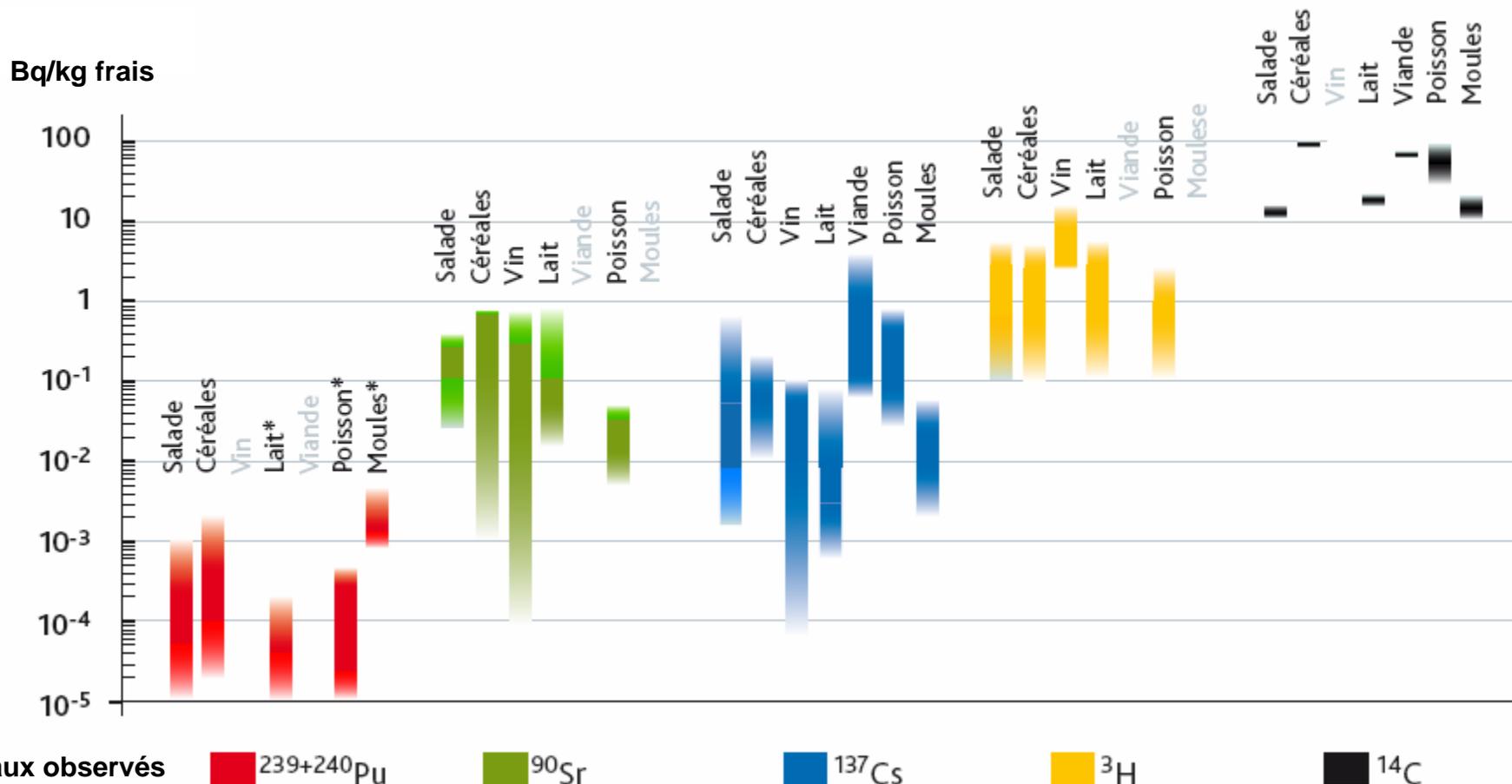
# La radioactivité de l'environnement français en 2009, hors influence des installations nucléaires



# La radioactivité des salades et du lait de vache en France en 1963, en 1986 et en 2009



# Les activités des 5 principaux radionucléides artificiels observés dans 6 denrées



\* Poissons de fleuve ; lait de vache et Moules de méditerranée

# Origine des radionucléides artificiels observés dans l'environnement français

- 
- Essais atmosphériques d'armes nucléaires (1945-1980)  
 $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$
  - Accident de Tchernobyl (1986) :  $^{137}\text{Cs}$
  - Chute et désintégration dans l'atmosphère du satellite américain SNAP (1964) :  $^{238}\text{Pu}$

Retombées anciennes à l'échelle de l'hémisphère

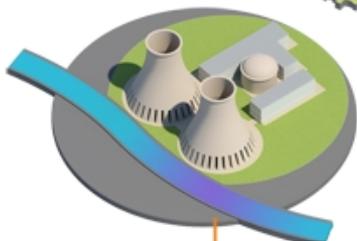
Activités industrielles passées : Mines, entreposage et stockages de déchets...

Non traitées dans cet exposé



Amont du cycle du combustible : U...

Aval du cycle :  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{131}\text{I}$ ...  
 $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ...



Installations militaires :  $^3\text{H}$ ...

Centres hospitaliers :  $^{131}\text{I}$ ...

Centrales électronucléaires :

Rejets atmosphérique  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ...

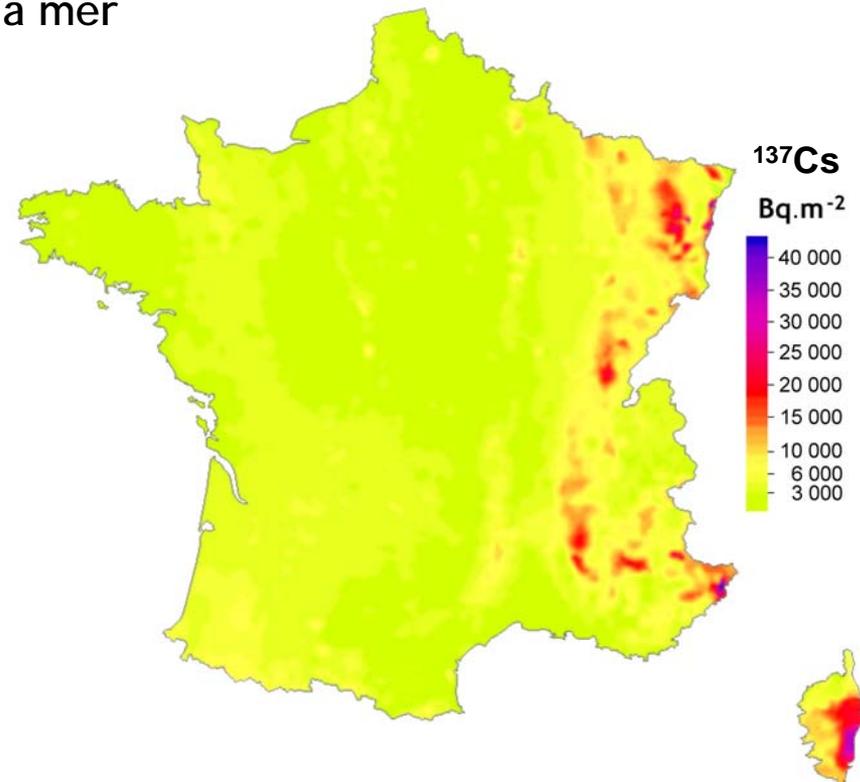
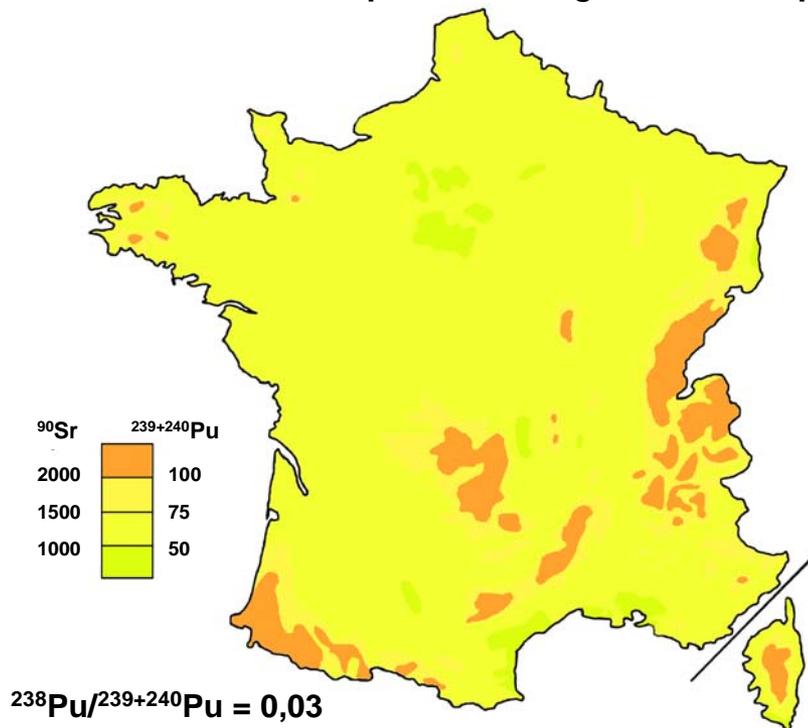
Rejets liquide :  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ...

Rejets actuels des installations nucléaires

# La rémanence des retombées anciennes

Principalement dans les sols qui alimentent toutes les composantes de l'environnement :

- les végétaux et la chaîne alimentaire par transfert sol-plante (racinaire)
- l'air par remise en suspension de particule et incinération de la matière organique
- les nappes phréatiques par infiltration
- les cours d'eau par drainage/érosion puis la mer



La variabilité spatiale de la contamination de la chaîne alimentaire n'est pas toujours le reflet de la répartition géographique de l'activité des sols en raison de la variabilité des transferts radioécologiques

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# Influence du fonctionnement normal actuel des installations "nucléaires"



# Les sites « nucléaires » français



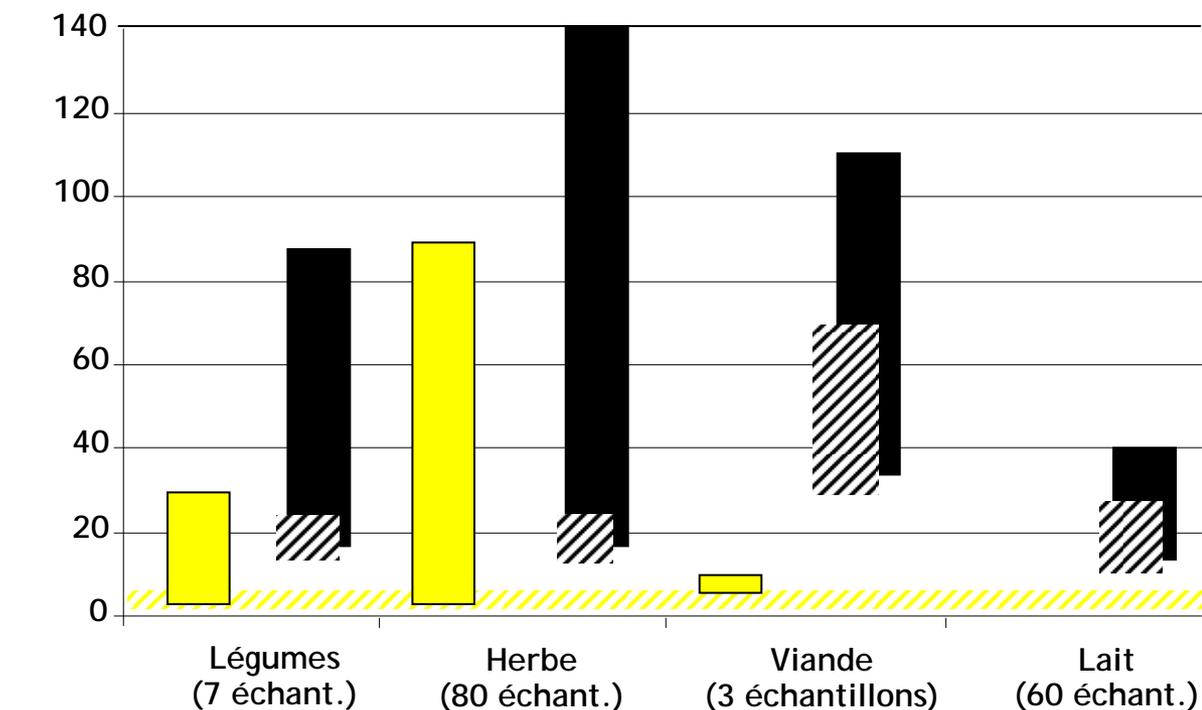
**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

La Hague

# La Hague : Un net marquage en $^3\text{H}$ et $^{14}\text{C}$ de l'environnement terrestre

Bq/kg frais



- Gamme des activités tritium mesurées
- Gamme des activités carbone 14 mesurées
- Gamme du bruit de fond tritium
- Gamme du bruit de fond carbone 14

Marquage en  $^{14}\text{C}$  exprimé en Bq/kg frais cohérent avec le marquage observé dans l'herbe en 2007 et exprimé en Bq/kg de Carbone stable :

500 à 1000 (ponctuellement 2000) Bq/kg C.

Soit 2 à 4 (10) fois le bruit de fond qui est de 243 Bq/kg de C.

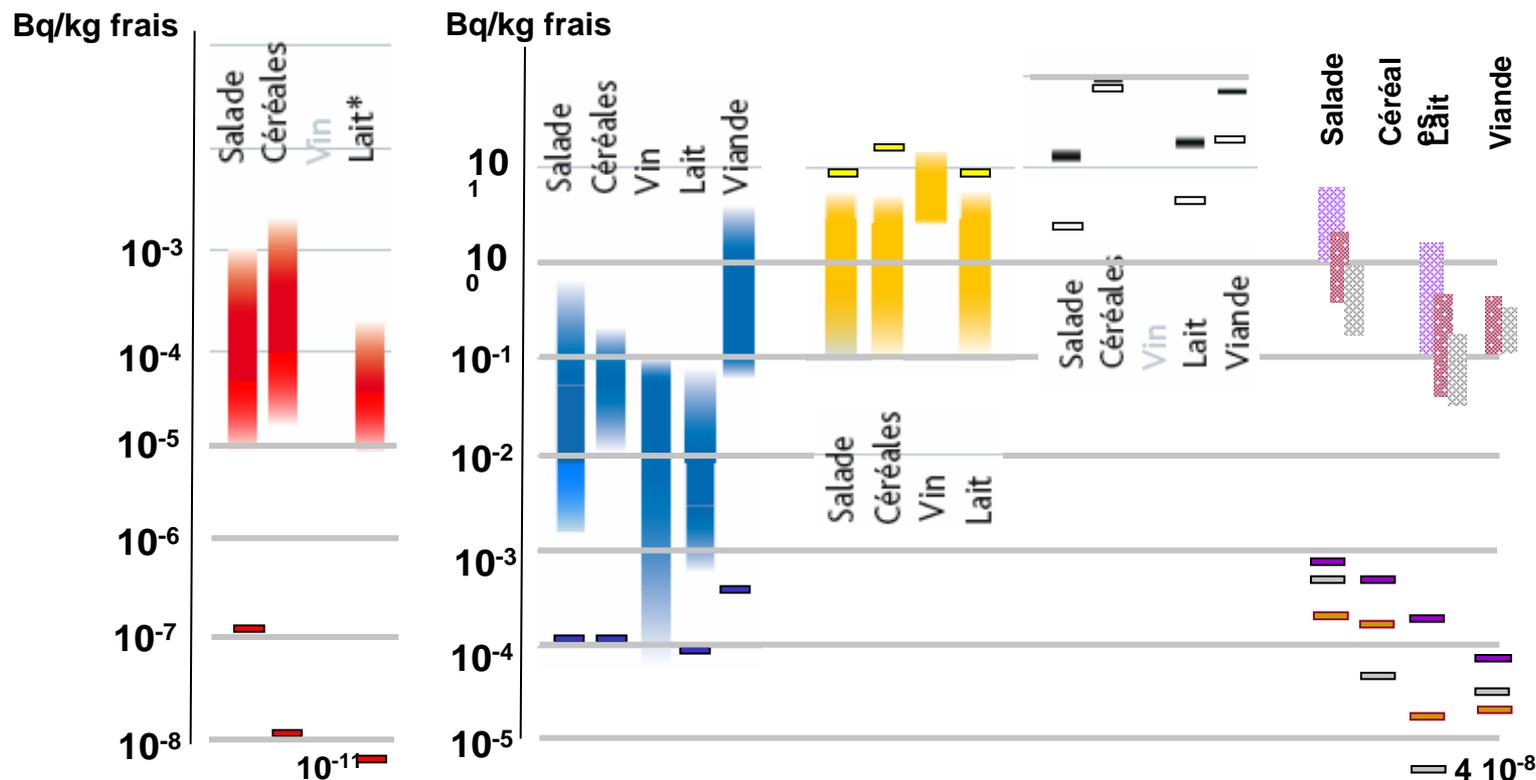
Une corrélation observée avec les rejets à l'échelle mensuelle

Des marquages très discrets en  $^{129}\text{I}$ ,  $^{60}\text{Co}$ , Pu (augmentation du rapport d'activité  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ )... dus au embruns et à l'utilisation d'algues comme fertilisant de sols cultivés...

Y Baron, et al, SFRP 2008 ; Bilans Radiologiques IRSN 2006 et 2007 ;  
MP Véran-Viguiier communication personnelle

# Pourquoi le marquage de l'environnement terrestre par les rejets atmosphériques de La Hague n'est pas décelable (hors $^3\text{H}$ et $^{14}\text{C}$ )

## Activité potentiellement ajoutées autour de La Hague et limites de détection

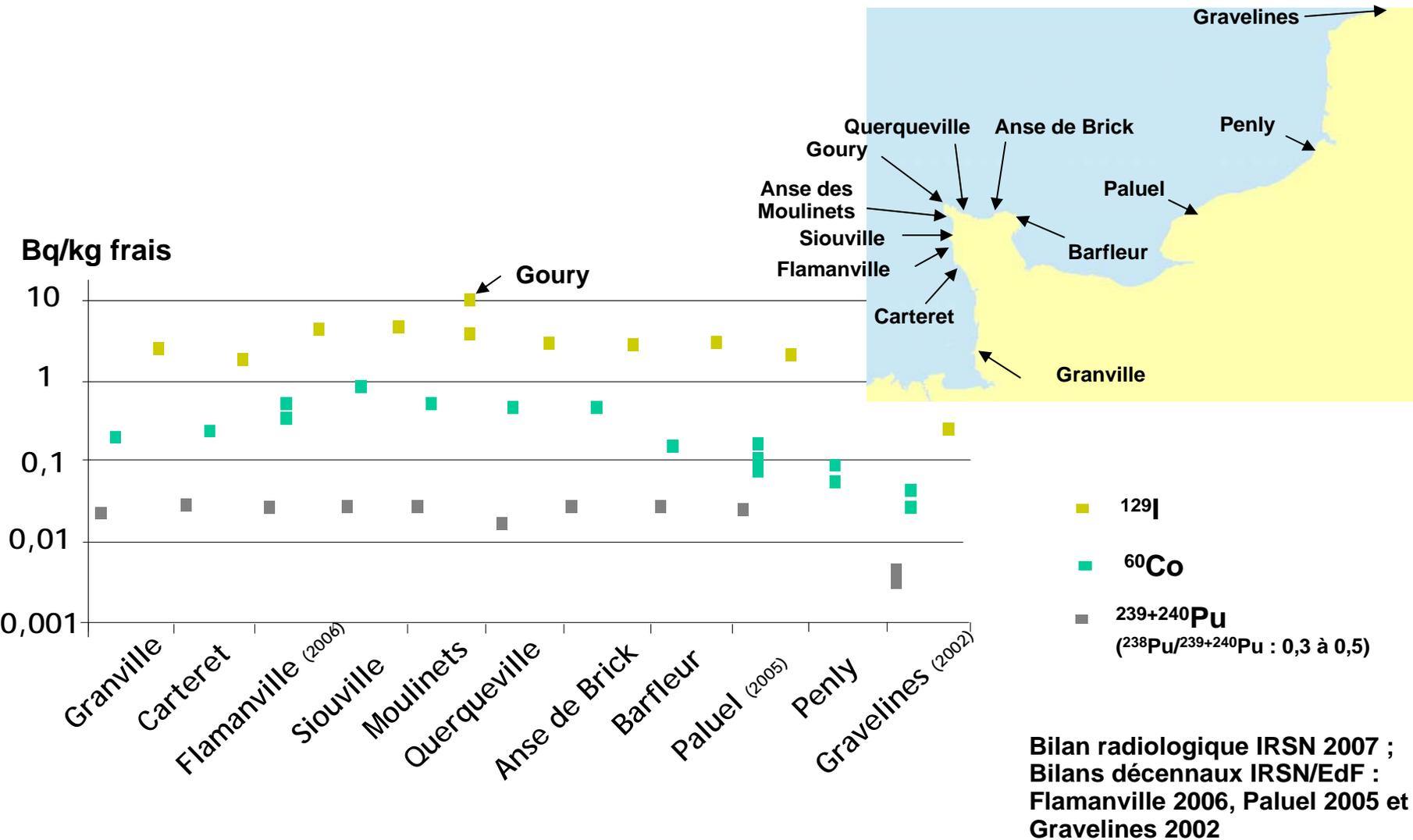


En milieu atmosphérique : Un net marquage en  $^{85}\text{Kr}$  : qq centaines à qq milliers de  $\text{Bq}/\text{m}^3$

P. Renaud et R Gurriaran, 2009

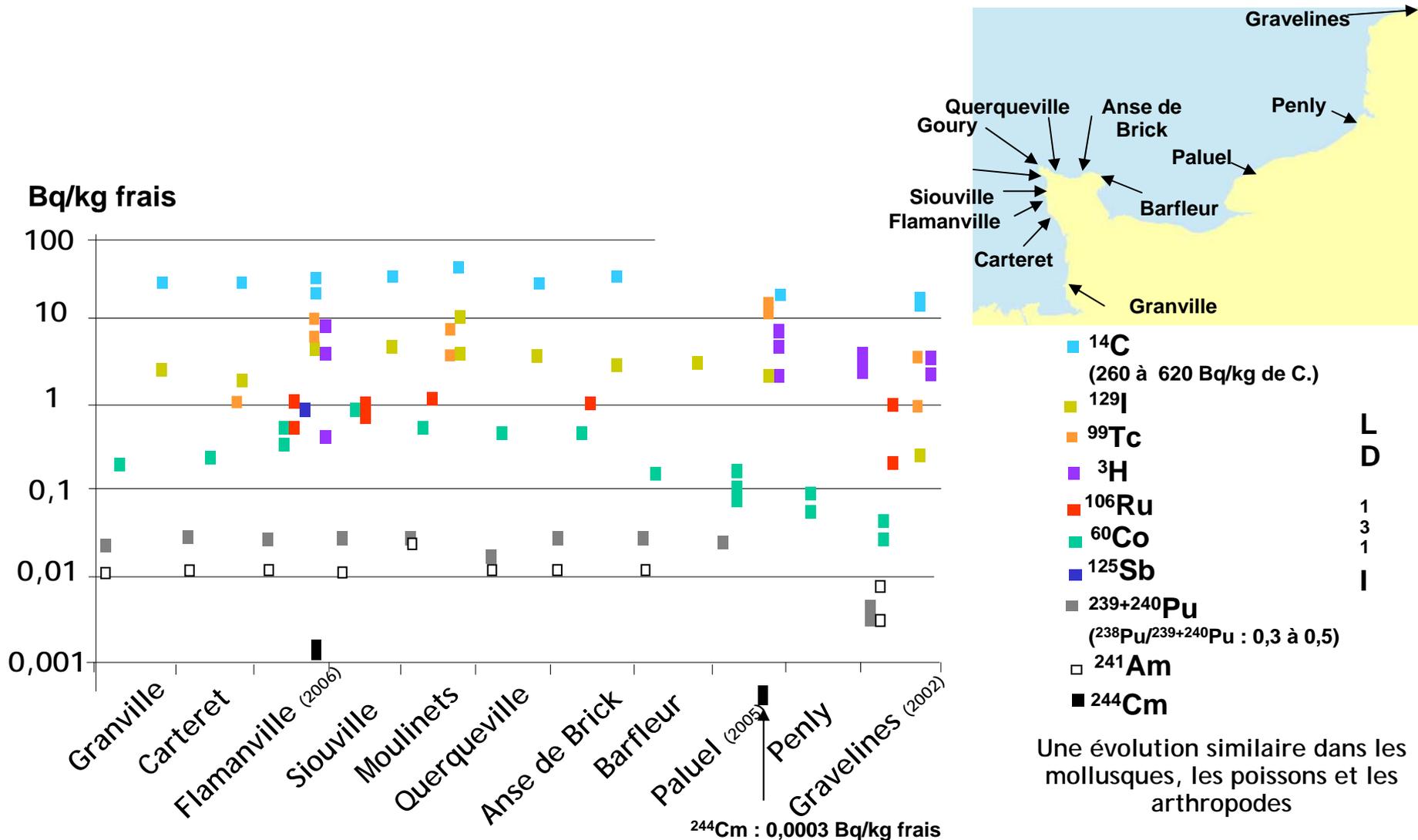
# La Hague : Un net marquage du milieu marin tout au long des côtes françaises de la Manche

Evolution du marquage des algues brunes le long de la côte de Granville à Gravelines



# La Hague : Un net marquage du milieu marin tout au long des côtes françaises de la Manche

## Evolution du marquage des algues brunes le long de la côte de Granville à Gravelines



**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Marcoule

# Marcoule : Un net marquage en tritium du milieu terrestre



## Activités de tritium lié aux feuilles de chêne (Bq/kg sec) en 1991-1992

Activité de l'air estimée : 0,2 à 3 Bq/m<sup>3</sup>  
(bruit de fond estimé à 0,04 Bq/m<sup>3</sup>)

Rejets atmosphériques de <sup>3</sup>H :  
600 TBq (8600 TBq en 1973)

### En 2007-2008

Rejets <sup>3</sup>H en 2008 : 370 TBq

Activité de l'air mesurée : jusqu'à 3 Bq/m<sup>3</sup>

Activités dans l'eau de pluie en 2007 :

20 à 350 Bq/l (station Nord-Phénix)  
(max 1900 Bq/l sur 15 jours)

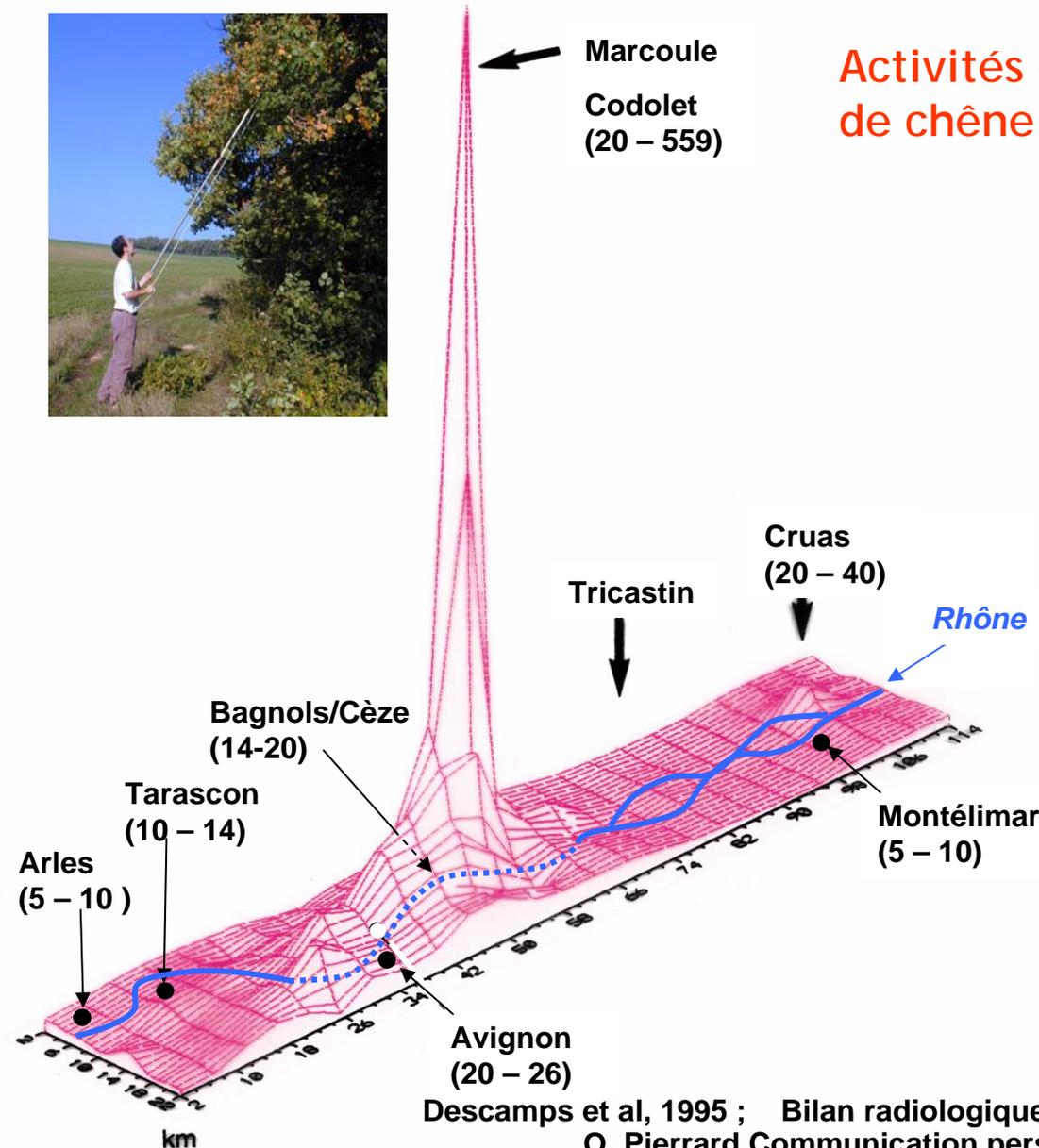
10 à 70 Bq/l (Codolet)

Raisins, vin autres fruits, légumes : qq 10 à 100 Bq/kg frais (données CEA et CRIIRAD)

Ponctuellement des valeurs 10 fois plus élevées dans l'herbe...

Activité eau de nappe : jusqu'à 60 Bq/l (Grangette)

Dans l'étang de Codolet : jusqu'à 80 Bq/l



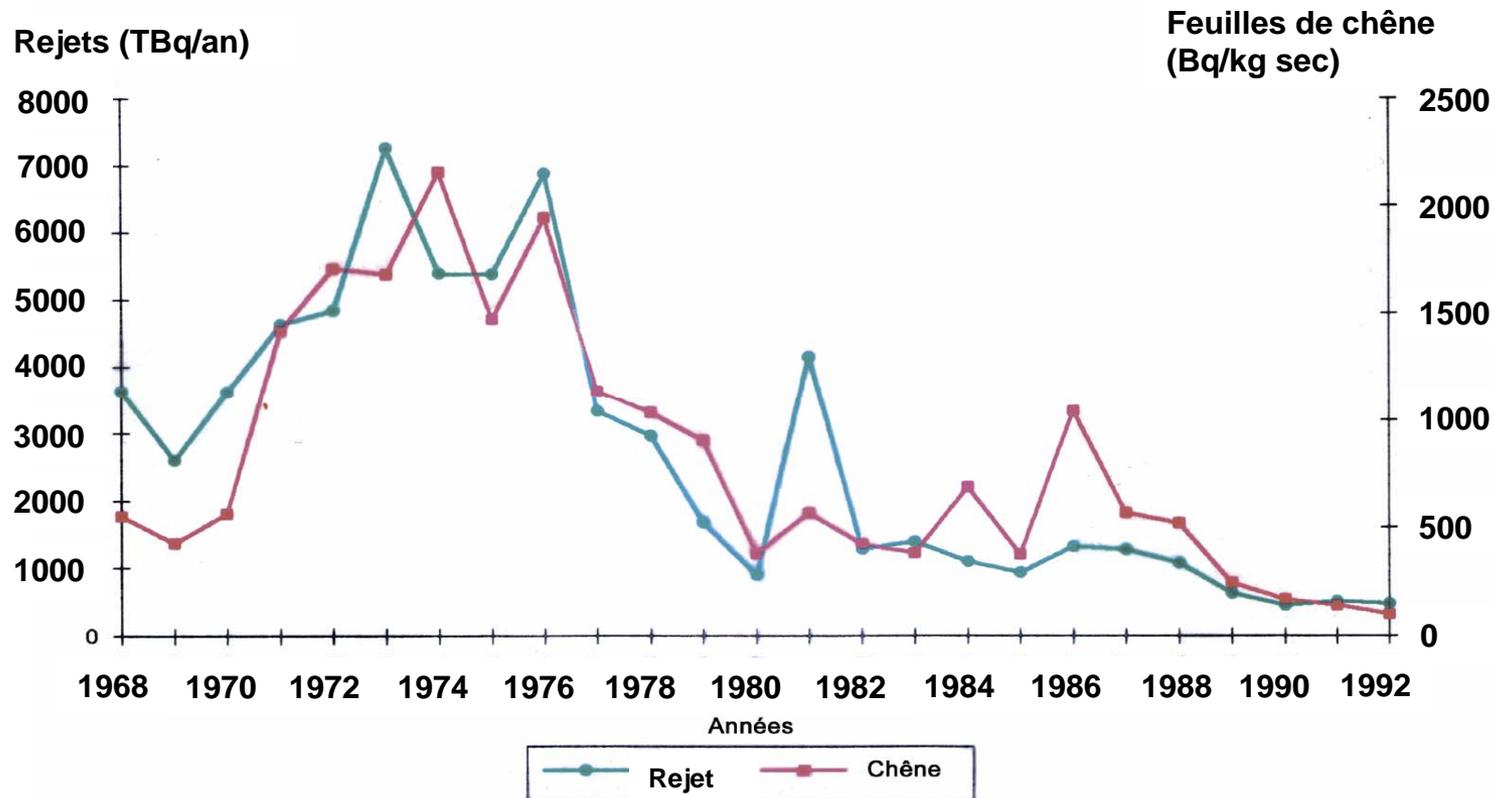
Descamps et al, 1995 ; Bilan radiologique 2007 ;  
O. Pierrard Communication personnelle

# Marcoule : Un net marquage en tritium du milieu terrestre

## Relations entre les rejets tritiés atmosphériques de Marcoule et les concentrations en Tritium des cernes de croissance d'un chêne (1968-1992)

Descamps et al,  
1995bis

(dans les feuilles de chêne : 1 Bq/l d'eau de combustion = 0,6 Bq/kg de MS = 0,6 Bq/kg de MO)



Un marquage discret en carbone 14, à mieux évaluer

**IRSN**

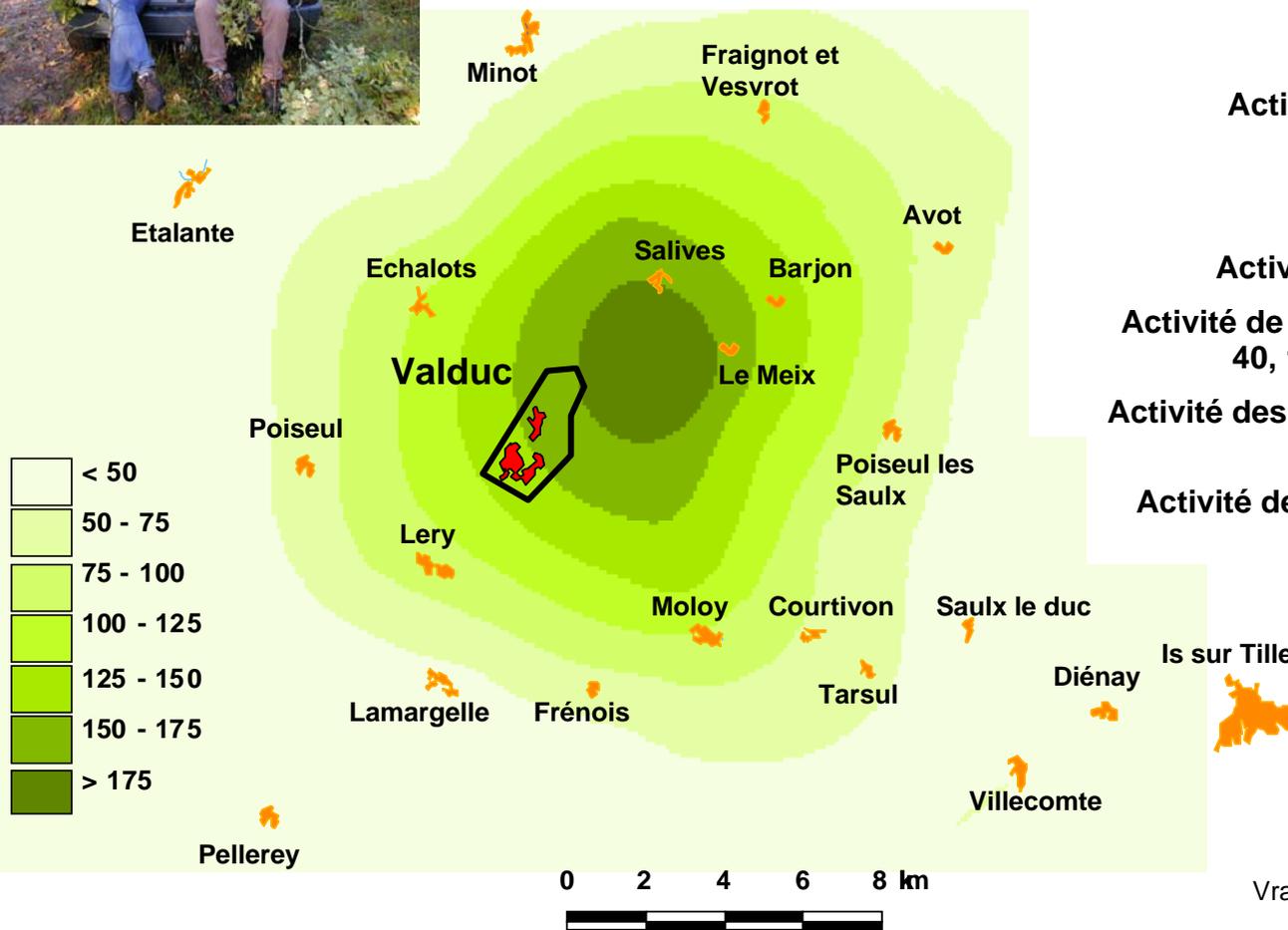
INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Valduc

# Valduc : un net marquage en tritium



Activités de tritium lié aux feuilles de  
chêne (Bq/l d'eau de combustion) en 2001



**Rejets 2001 : 300 TBq**

Activité de l'air : 0,04 à 2 Bq/m<sup>3</sup>

**Rejets 2007 : 250 TBq**

Activité de l'air : jusqu'à 3 Bq/m<sup>3</sup>

Activité de l'eau des cours d'eau : jusqu'à 20,  
40, 180 Bq/l (Noirveau en 2007)

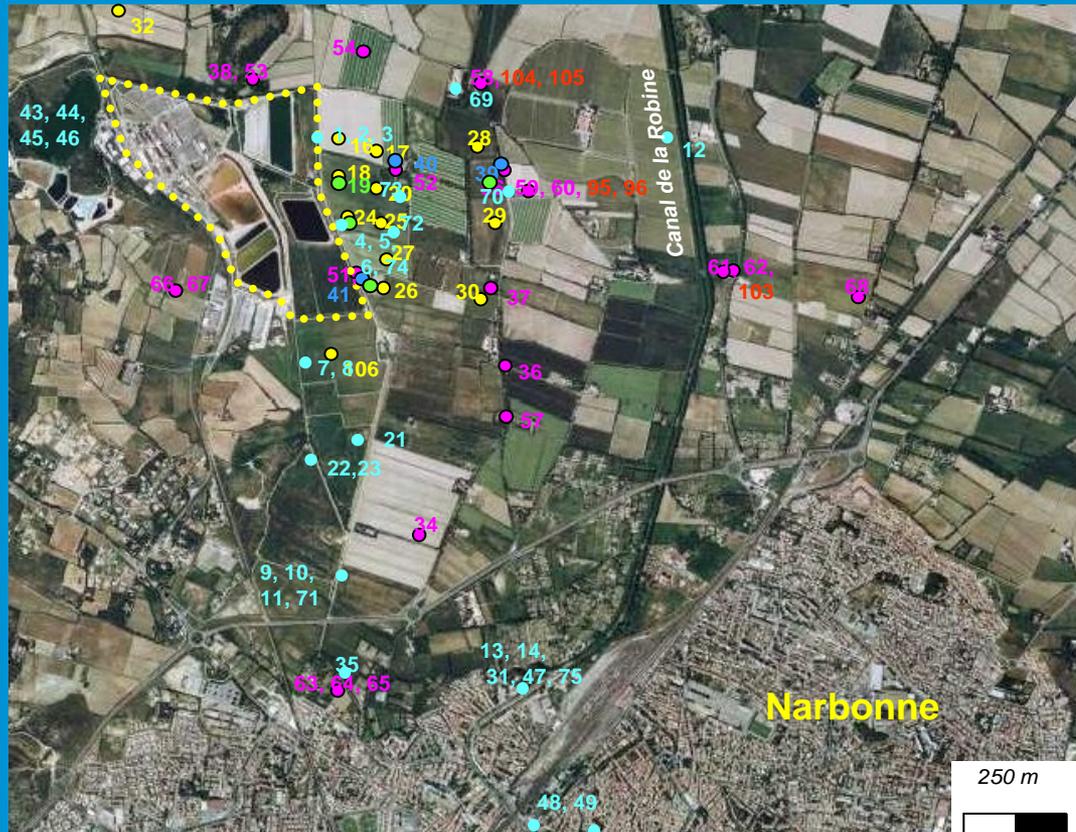
Activité des eaux souterraines : jusqu'à 10 à 50  
Bq/l en 2007

Activité des denrées mesurées en 2008 :  
qq dizaines de Bq/kg frais

Vray et al, 2003 ; Bilan radiologique 2007

## Malvési

### Usine Comurhex



- Sols
- Blé
- Fruits
- Salades
- Cyprés
- Sédiments
- Végétaux aquatiques
- Eaux surface
- Poissons
- Eaux souterraines

# Malvési : Un net marquage de l'environnement en uranium, plutonium, technetium 99...

## ■ Milieu Aquatique

- Marquage des sédiments à l'aval du rejet (*Tauran*) : [Uranium] x 4 et [Plutonium] x 4
- Marquage des eaux à l'aval du rejet (*Tauran*) : [Uranium] x 10
- Marquage des eaux et des sédiments des anciens émissaires (*Cadariège, Bassin de Régulation*).



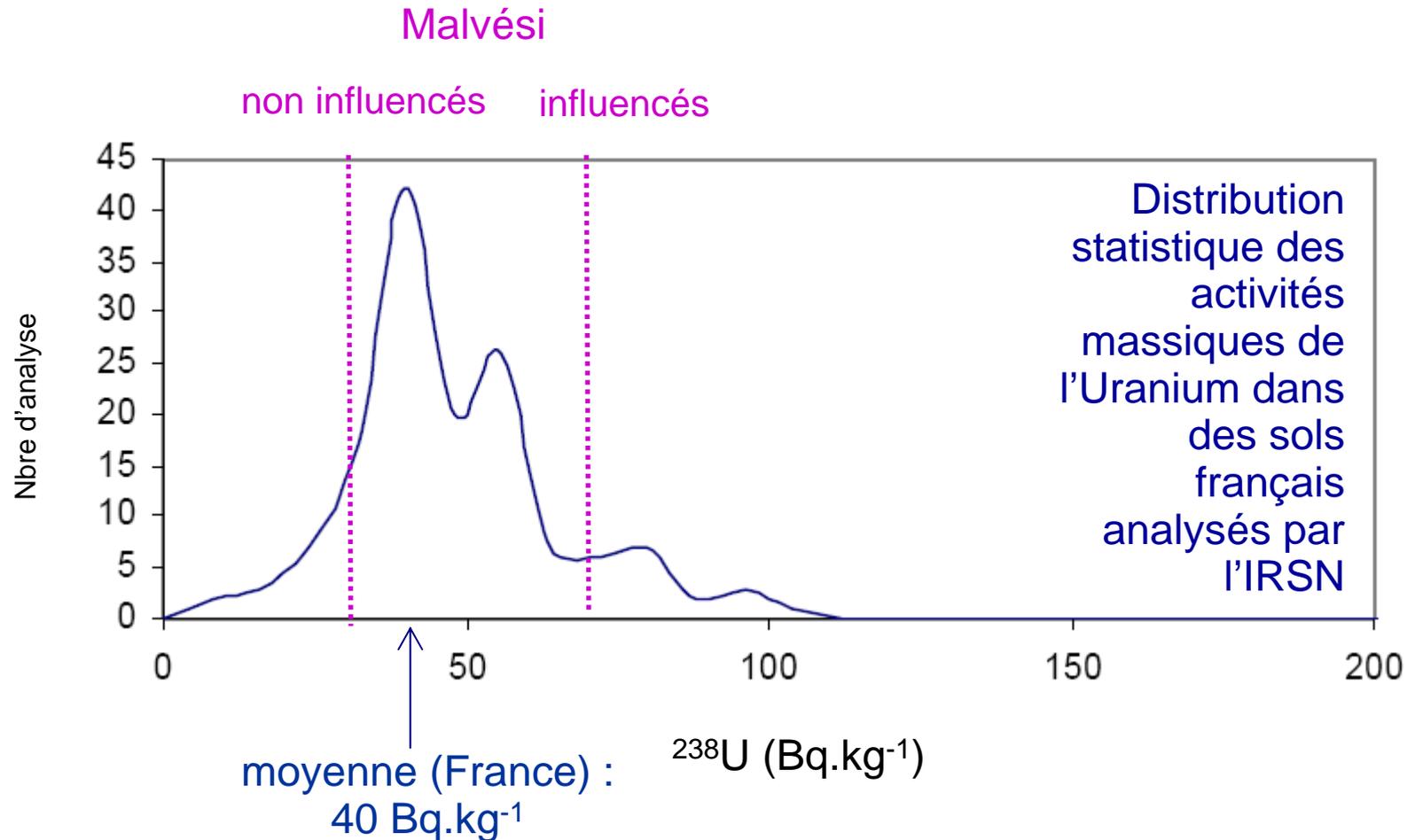
Prélèvements dans le canal du Tauran pour le bilan radioécologique effectué en 2007-2008

## ■ Milieu Terrestre

- Marquage des sols en bordure Est (50-250 m clôture) : [Uranium] x 2 et [Plutonium] x 2
- Marquage de l'atmosphère jusqu'à 1 km dans la direction des vents dominants : feuilles de cyprès
- Fruits : jusqu'à [Uranium] x 100 à proximité immédiate, décroissant jusqu'au bruit de fond local à 2 km dans la direction des vents dominants.

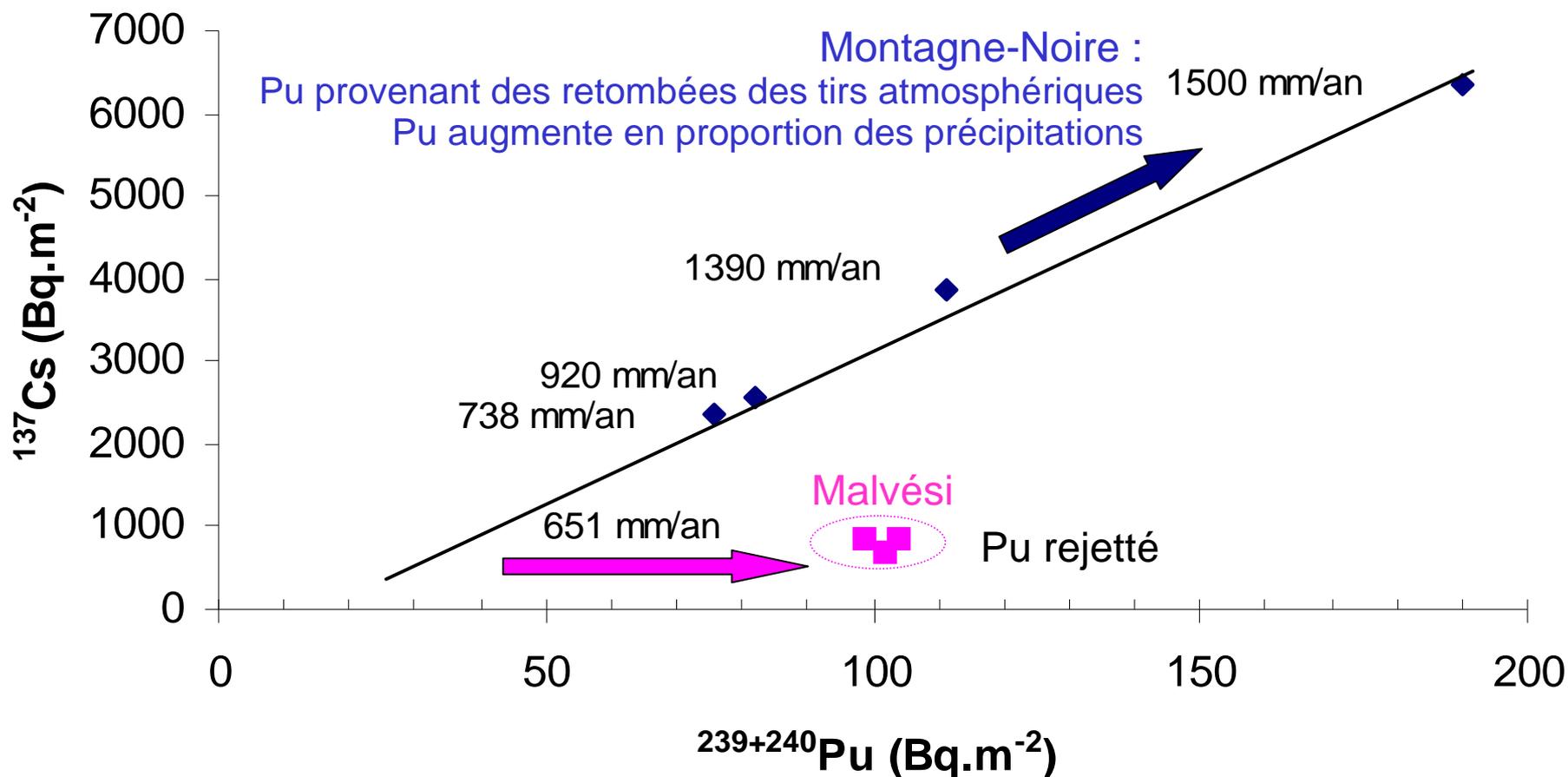
Pourcelot, 2008 et 2009

# L'uranium dans les sols en France



Pourcelot, 2008 et 2009

# Le Plutonium dans les sols en France



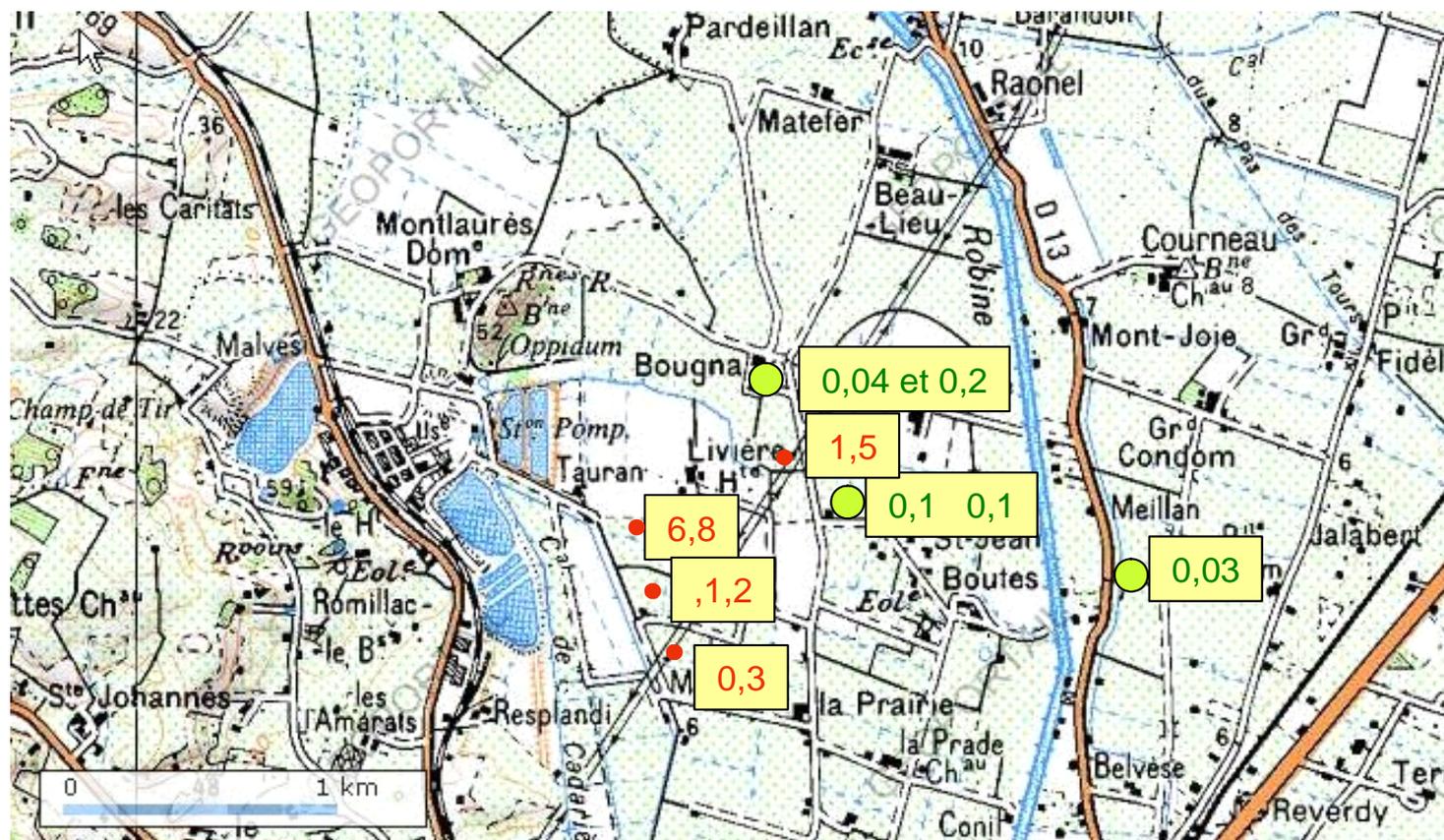
Pourcelot, 2008 et 2009

# L'Uranium dans le blé et les salades (en Bq.kg<sup>-1</sup>)



Zone non influencée (Cuxac-d'Aude, 5 km au N)

0,1

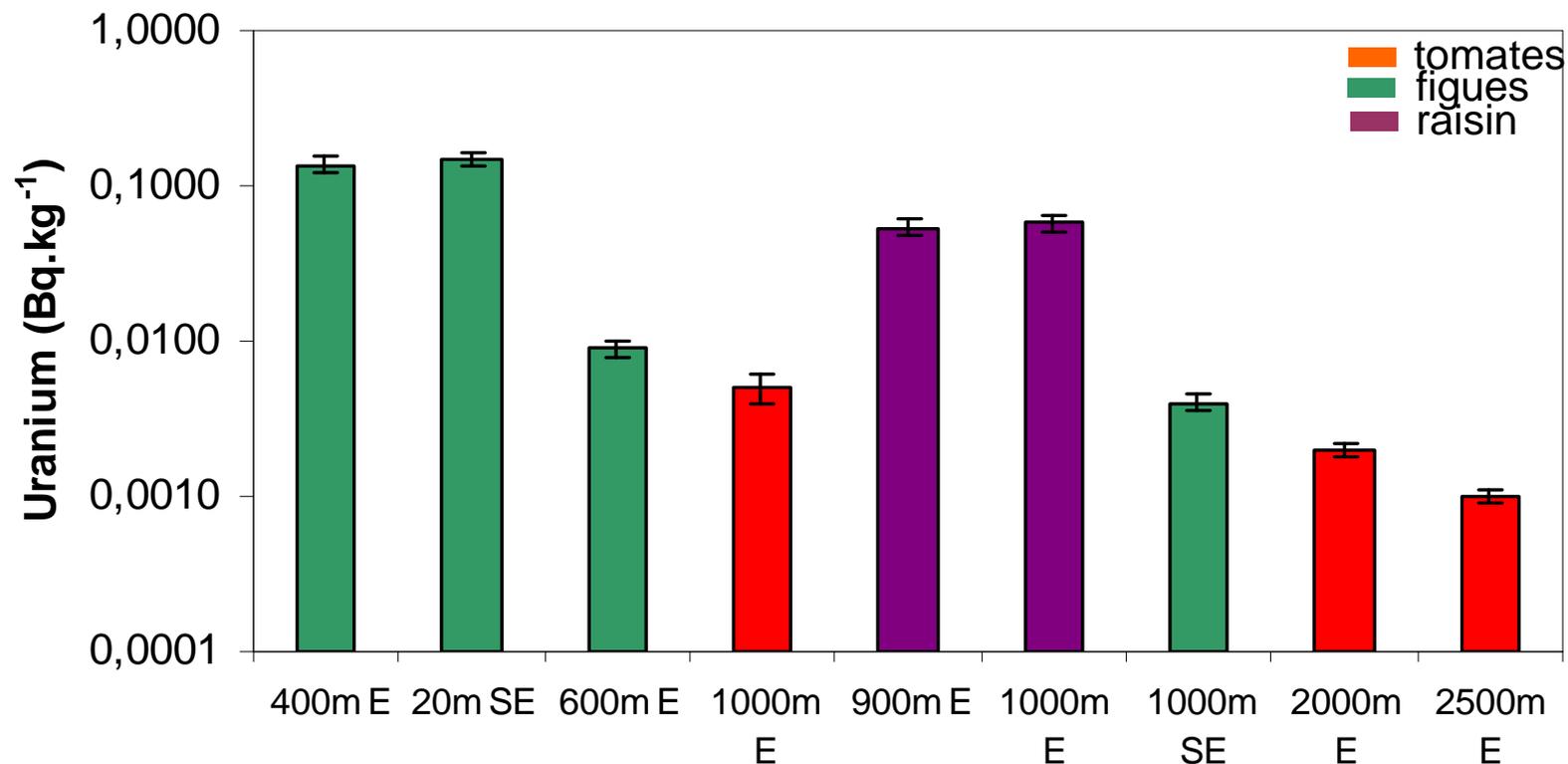


● Légumes feuilles  
● Blé

- Marquage en Uranium des végétaux en fonction de la distance
- Influence de l'Uranium sur les végétaux : env. 1 km.

Pourcelot, 2008 et 2009

# L'Uranium dans les fruits (en Bq.kg<sup>-1</sup>)



Pourcelot, 2008 et 2009

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# Les centrales nucléaires de production électrique

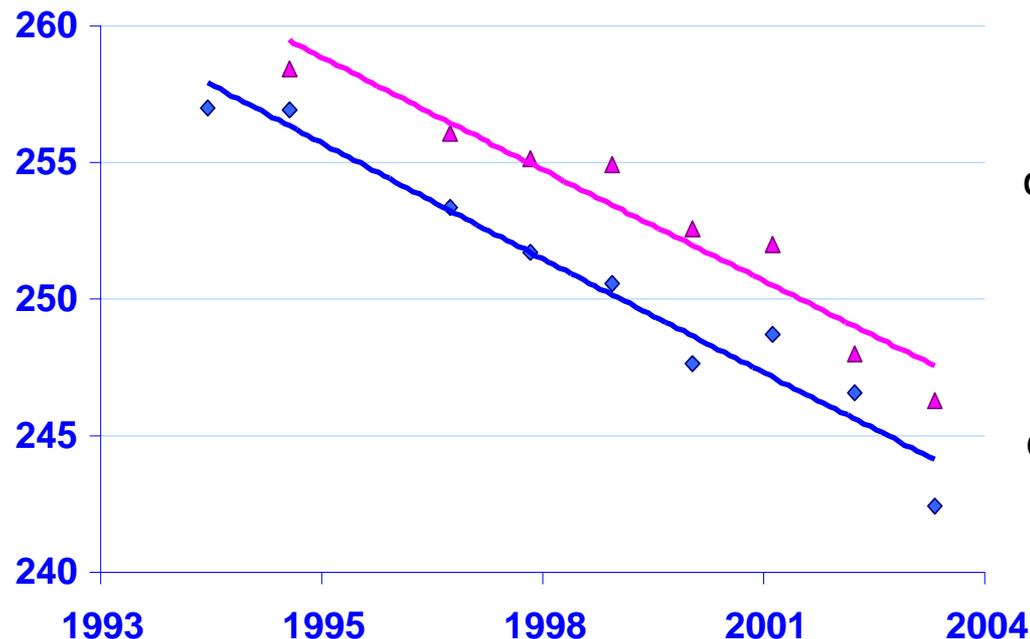


Système de management  
de la qualité IRSN certifié

# Les C.N.P.E. : Un Marquage discret du milieu terrestre en $^{14}\text{C}$ ; aucun autre marquage décelable, y compris en tritium

*$^{14}\text{C}$  dans différentes matrices de l'environnement terrestre des C.N.P.E*

Bq de  $^{14}\text{C}/\text{kg C}$



- ◆ En zone non influencée
- ▲ En zone influencée

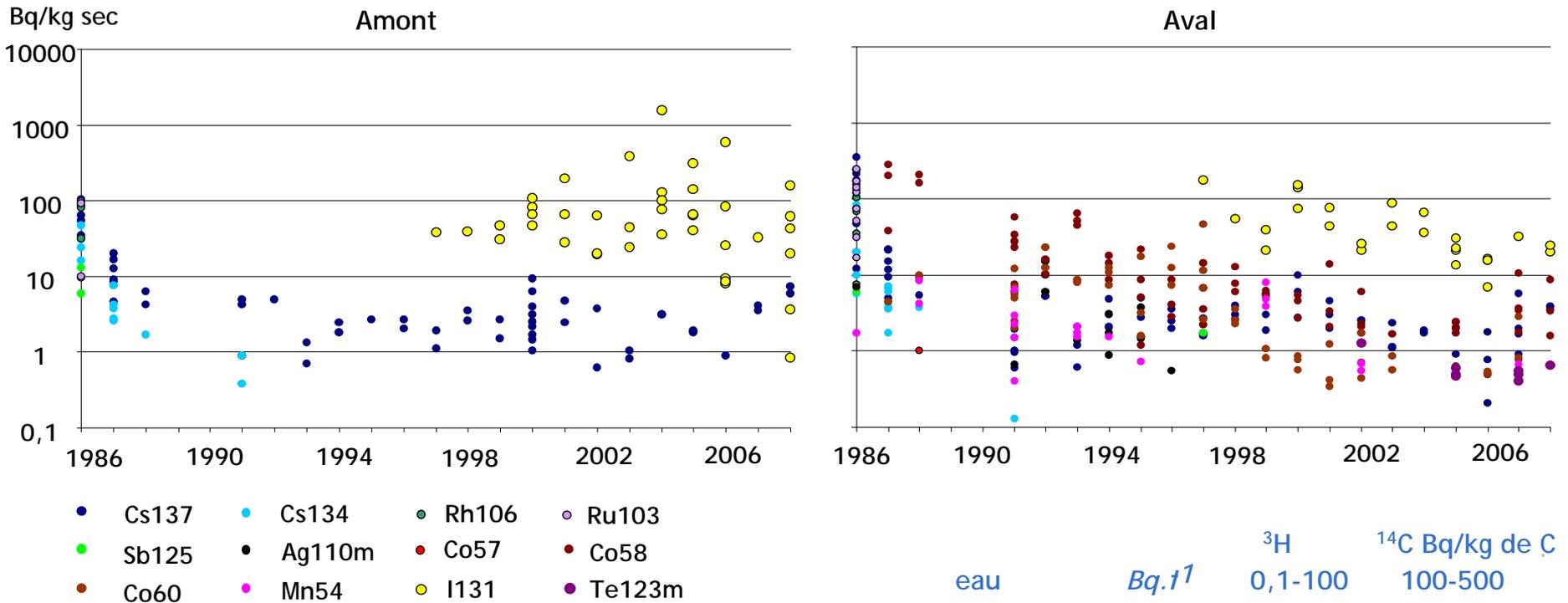
En Tritium, les activités attendues (par calcul) inférieures à 1 Bq/kg frais (de l'ordre de 0,3) ne peuvent être discernées du BdF (1-5 Bq/kg frais), sauf peut être ponctuellement lors de conditions météo défavorables

Pour les autres radionucléides les activités attendues sont soit non décelables, soit masquées par le BdF, même lors de conditions météo défavorables

Roussel-Debet et al, 2007, Gontier et al, 2009

# Les C.N.P.E. : Un Marquage net du milieu aquatique en produits de fission et d'activation ; cas du <sup>131</sup>I hospitalier

## Activités des phanérogames immergées en Amont et en Aval de Cattenom



Marquage en 3H et 14C toutes C.N.P.E confondues →

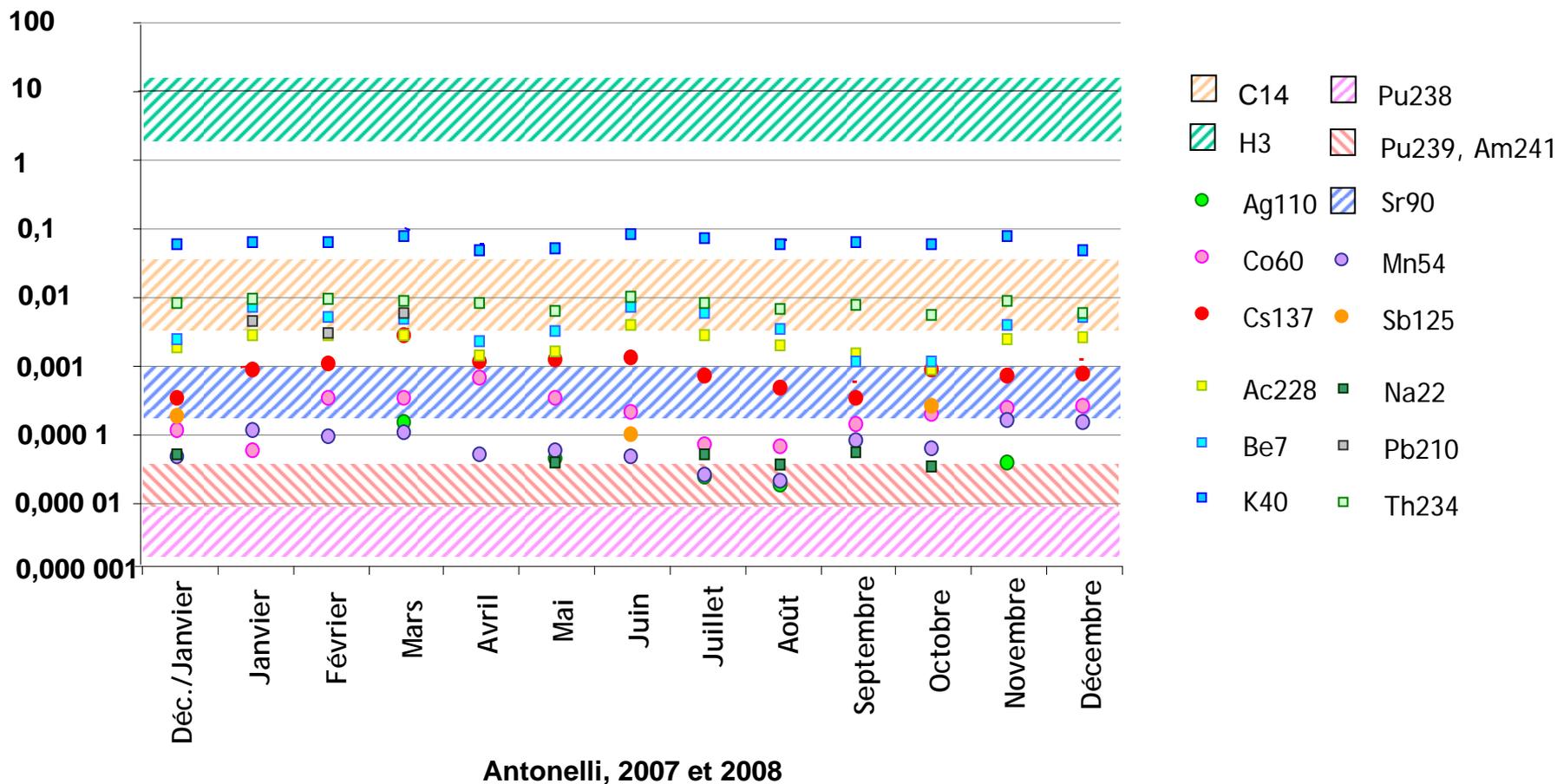
	<sup>3</sup> H	<sup>14</sup> C Bq/kg de C
eau	0,1-100	100-500
Végétaux	0,1-100	150-500
poissons (muscles)	0,1-50	240-1000
mollusques-crustacés	0,1-50	240-1000

Le marquage en Manche par les rejets des centrales électronucléaires marines est masqué par celui liés au rejets de l'usine de La Hague excepté pour <sup>110m</sup>Ag et <sup>58</sup>Co

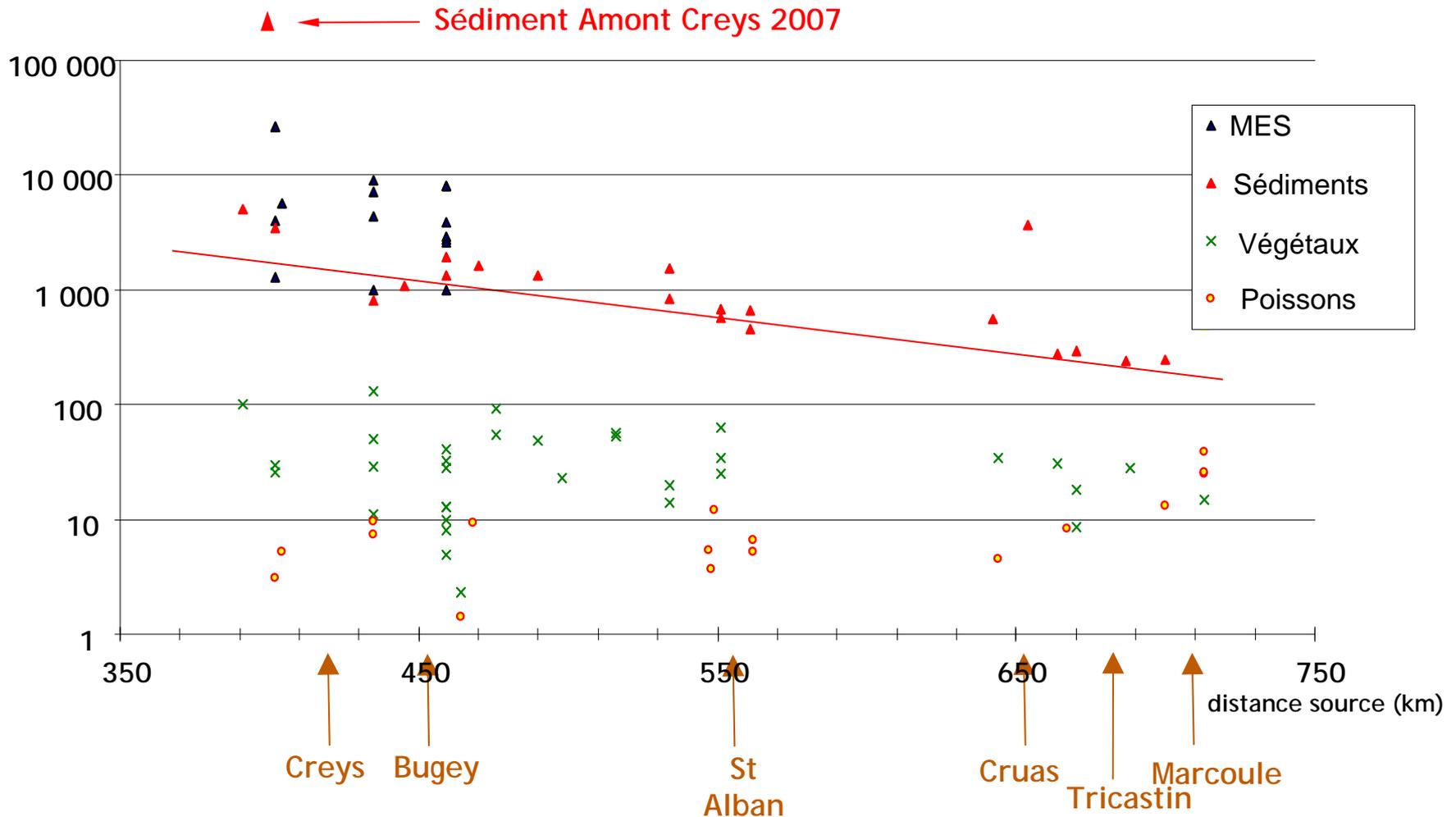
Bilan décennal IRSN/EDF de Cattenom ; Duffa et al 2004 ; B. Claval communication personnelle

# Bilan dans l'eau du Rhône en Arles du marquage des rejets des installations nucléaires

Activité volumique de l'eau brute (éléments dissous et particuliers Bq/l)



# Tritium organique le long du Rhône (Bq/l d'eau de combustion)



G. Gontier, communication personnelle

# Influence du fonctionnement actuel normal des autres sites (hors anciens sites miniers, stockages de déchets et rémanances anciennes)

Bruyère le Châtel :	Marquage en $^3\text{H}$ (équivalent ou < La Hague)
Saclay :	Marquage en $^3\text{H}$ (< La Hague)
Cadarache :	Aucun marquage observable
Fontenay aux roses :	Aucun marquage observable
Grenoble ILL :	Marquage $^3\text{H}$ potentiellement observable

Antonelli 2008 ; MP Veran-Viguiet et O. Pierrard communication personnelle

# Conclusions

- La radioactivité naturelle représente aujourd'hui l'essentiel de la radioactivité environnemental ; tel n'a pas toujours été le cas
- Sur la majeure partie du territoire, les radionucléides artificiels proviennent de la rémanence des retombées anciennes : les essais atmosphériques d'armes nucléaires ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ , Pu) et les retombées de l'accident de Tchernobyl ( $^{137}\text{Cs}$ )
- Le « bruit de fond » des radionucléides artificiel et bien connu en France. En revanche, les activités des radionucléides des chaînes de  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  et  $^{235}\text{U}$  sont assez mal connues, notamment dans les matrices biologiques
- Peu d'installations nucléaires marquent de manière visible leur environnement :
  - Les centres de Marcoule, Valduc, Bruyère le Châtel et Saclay marquent leur environnement en  $^3\text{H}$
  - L'usine de La Hague marque son environnement terrestre en  $^3\text{H}$  et  $^{14}\text{C}$ , et la Manche en  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ...
  - Les C.N.P.E marquent de manière très discrète leur environnement terrestre en  $^{14}\text{C}$  et de manière plus nette le milieu aquatique en  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ... excepté pour  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ , ce marquage est masqué en Manche par celui de La Hague
- Ces influences sont visibles sur des surfaces allant de quelques  $\text{km}^2$  (cas de Malvési ou d'un CNPE) à quelques centaines de  $\text{km}^2$  (cas de Marcoule), sur quelques km à quelques dizaines de km en aval des points de rejets en milieu fluvial (excepté pour  $^3\text{H}$ ), et sur l'ensemble de la Manche en ce qui concerne La Hague
- Des études approfondies, même anciennes, partiellement réactualisées tous les 5 à 10 ans, fournissent une bonne connaissance de la radioactivité environnementale
- Aujourd'hui les principaux questionnements portent sur les « vestiges du passé »

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Merci pour votre attention



Système de management  
de la qualité IRSN certifié