



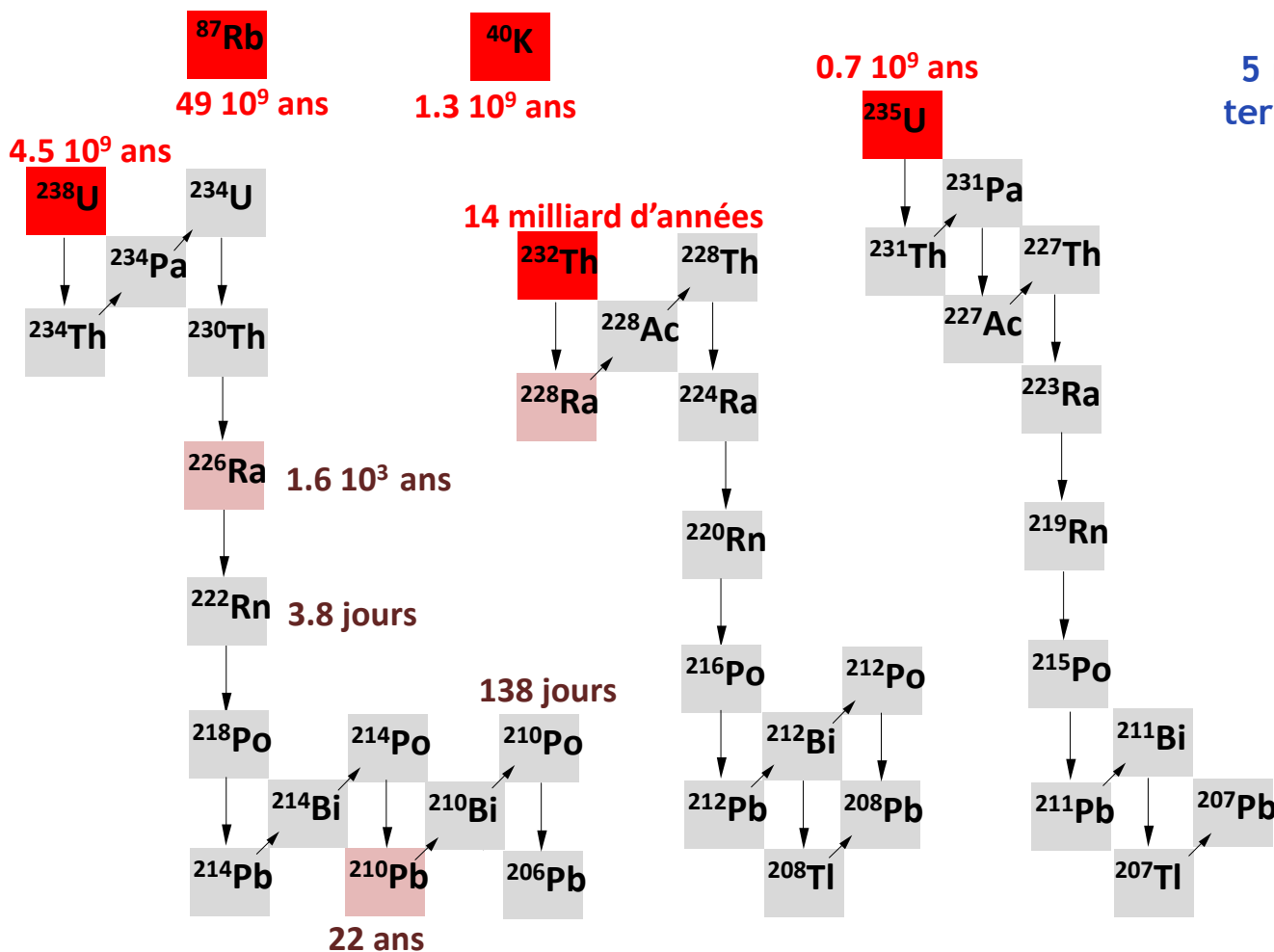
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Origine et gammes d'activités massiques des radionucléides présents dans les sols et les sédiments

- Les radionucléides naturels telluriques
- Les radionucléides artificiels
- ^3H et ^{14}C
- Particularités locales

Les radionucléides naturels telluriques

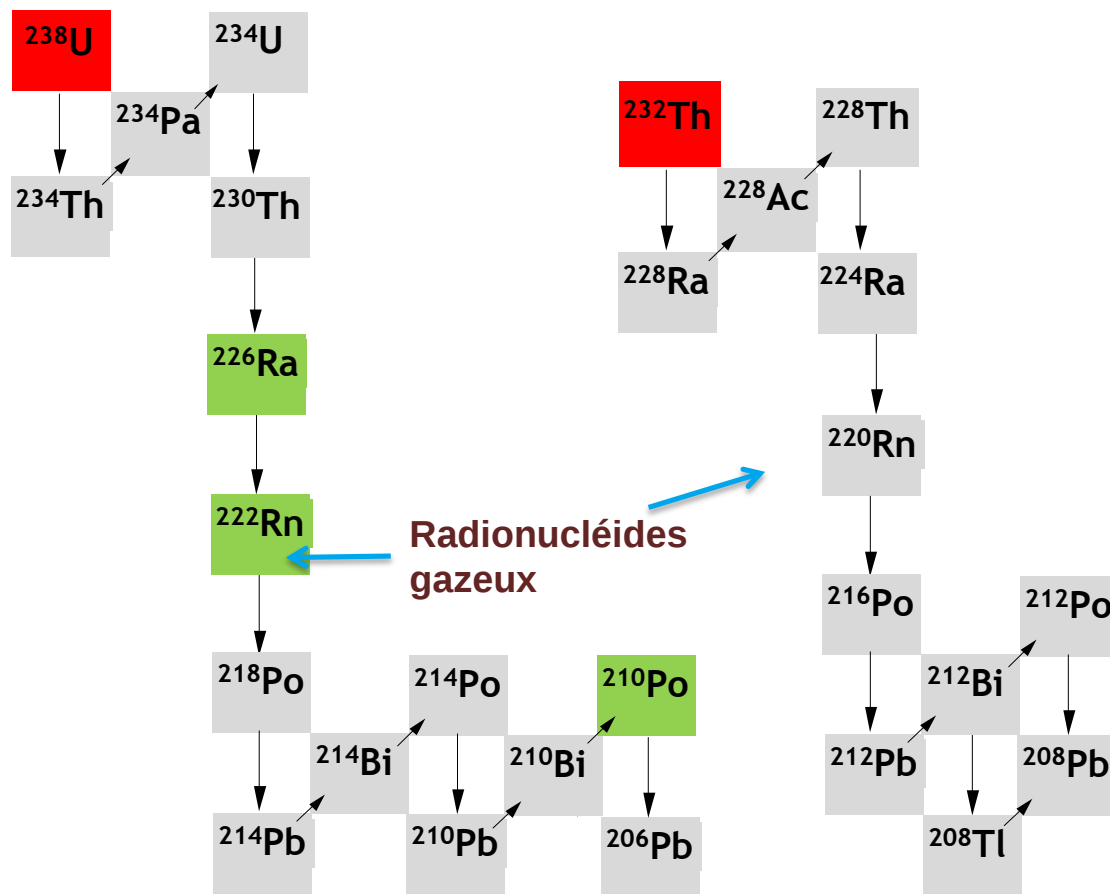


5 radionucléides sont présents sur terre depuis sa formation en raison de leur (très) longue période radioactive

3 de ces 5 radionucléides produisent par désintégration 36 radionucléides qui ont des périodes allant de moins d'une seconde à plusieurs milliers d'années

Dans l'uranium naturel, l'activité de ^{235}U est 20 fois plus faible que celle de ^{238}U . Un rapport d'activités isotopiques ($^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$) différent témoigne d'un enrichissement ou d'un appauvrissement potentiellement d'origine anthropique.

« Equilibres » des radionucléides telluriques dans les sols



les radionucléides d'une même chaîne de désintégration sont souvent considérés, en première approche, comme étant à l'équilibre (ayant la même activité) dans les sols, hors de toute influence anthropique.

Cependant des "déséquilibres" importants peuvent être observés en raison de conditions physico-chimique conduisant à des mobilités différentes (lessivage vers la profondeur par exemple). Ainsi, des activités en radium 2 fois supérieure à celles d'uranium peuvent être observées.

En raison de l'émanation dans l'air du radon (radionucléide gazeux), cet équilibre est également rompu pour ses descendants. Notamment, le ^{210}Pb émis dans l'air se redépose à la surface du sol qui se trouve ainsi « enrichie » en ^{210}Pb .

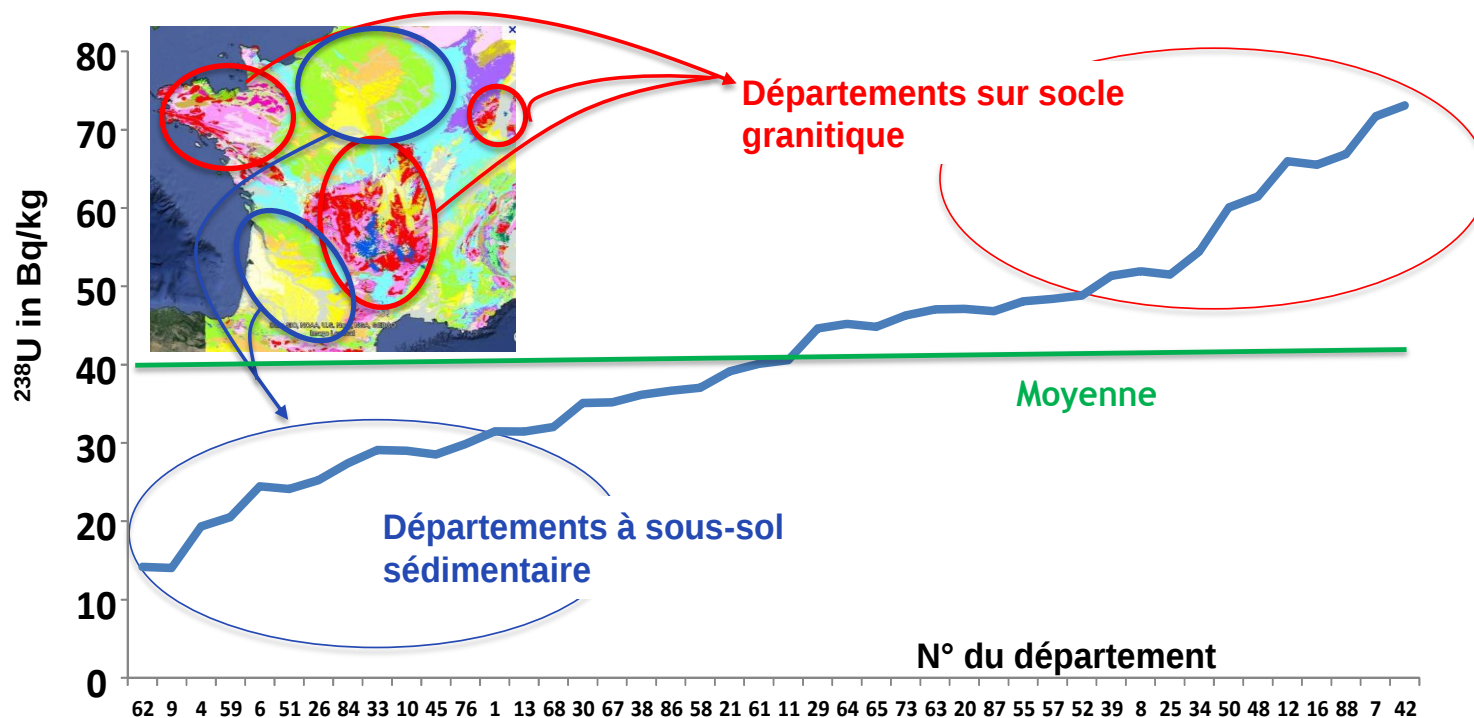
Activité moyenne en ^{238}U des sols français = activité moyenne en ^{232}Th ~ 40 Bq/kg ;

Les teneurs en uranium et thorium sont plus importantes dans les sols des régions granitiques Massif Central, Bretagne, Corse, parties des Vosges et de la Savoie ;

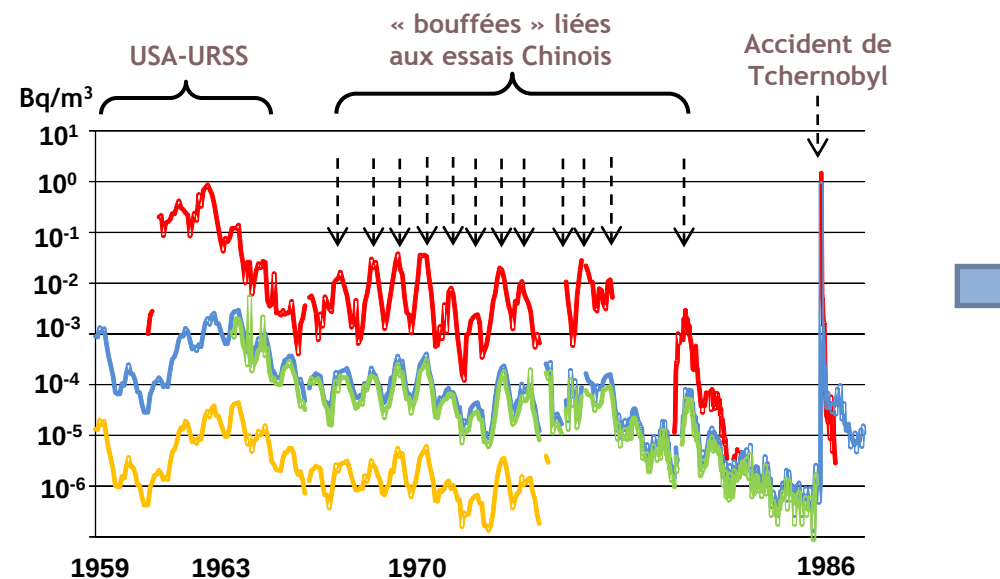
Elles peuvent localement atteindre quelques centaines de Bq/kg, voire quelques milliers de Bq/kg dans les régions des anciennes mines d'uranium ;

Elles sont plus faibles dans les sols d'origine sédimentaire : bassins parisien et aquitain, majeure partie de l'Est du pays : parfois de seulement quelques Bq/kg ;

Les activités en ^{40}K vont de 20 à 2000 Bq/kg avec une moyenne sur le territoire de 550 Bq/kg



Les retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires



- Radionucléides de période < 3 ans* (somme des activités)
 - Césium 137
 - Strontium 90
 - Plutoniums 239 et 240
- } Radionucléides de période > 30 ans

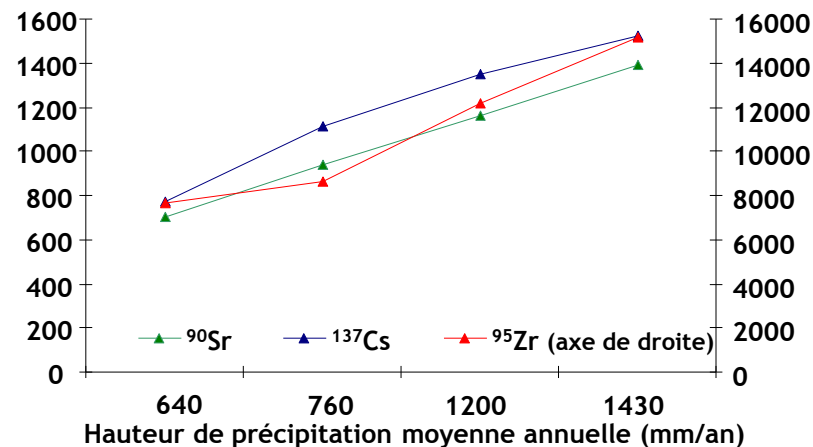
* (¹³¹I ¹⁴⁰Ba ¹⁴¹Ce ¹⁰³Ru ⁸⁹Sr ⁹¹Y ⁹⁵Zr ¹⁴⁴Ce ⁵⁴Mn ¹⁰⁶Ru ⁵⁵Fe ¹²⁵Sb)

L'essentiel des dépôts s'est constitué avant 1963 (arrêt des essais américano-soviétiques)

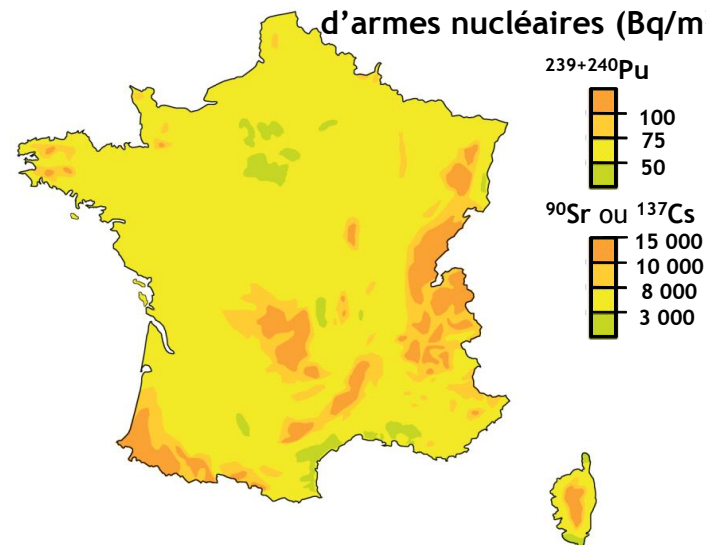
Les activités dans l'air ont conduits à des dépôts plus importants sur les régions les plus arrosées (en moyenne annuelle)

Ces régions correspondent le plus souvent aux zones de relief

dépôts cumulés sur la période 1967-1972 (Bq/m²)



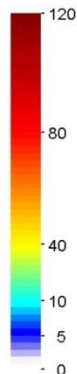
Dépôts cumulés totaux liés aux retombées des essais d'armes nucléaires (Bq/m²)



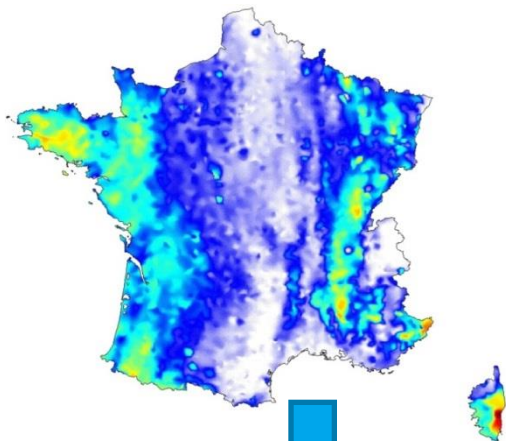
Dépôts consécutifs à l'accident de Tchernobyl

Légende

Hauteurs des précipitations
Période du 1^{er} au 5 mai 1986
(données Météo-France)



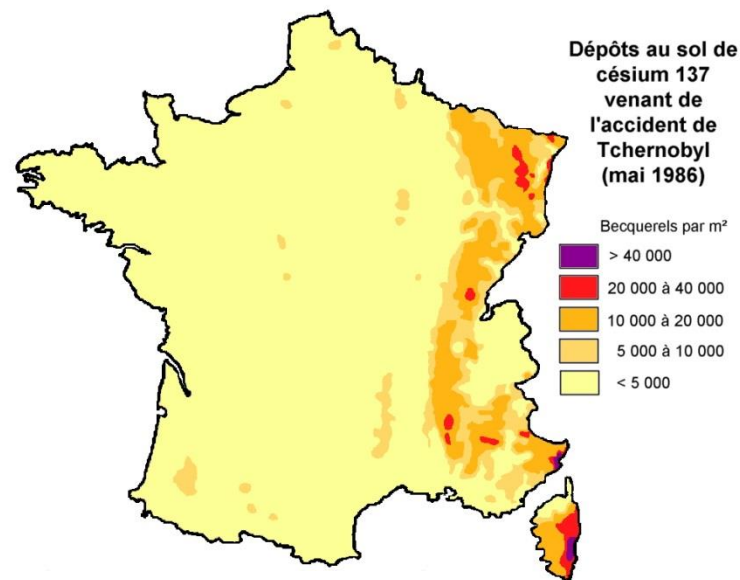
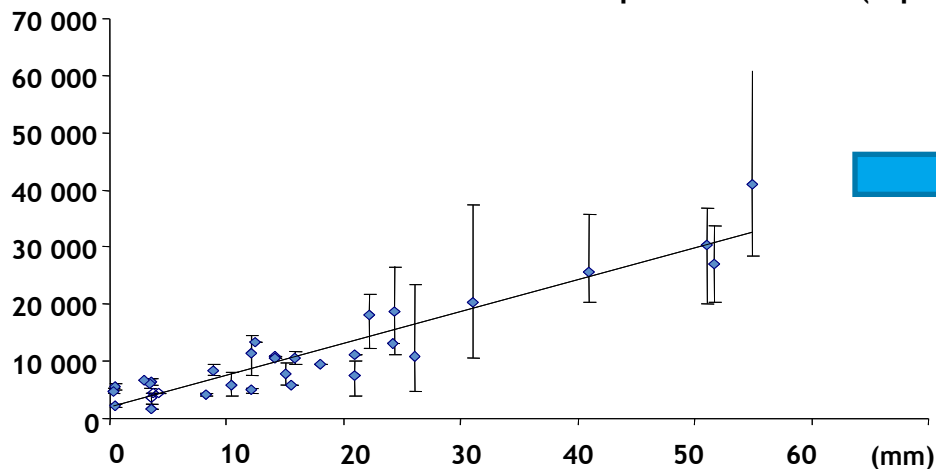
Hauteur de pluie cumulée du 1^{er} au 5 mai 1986 (mm)



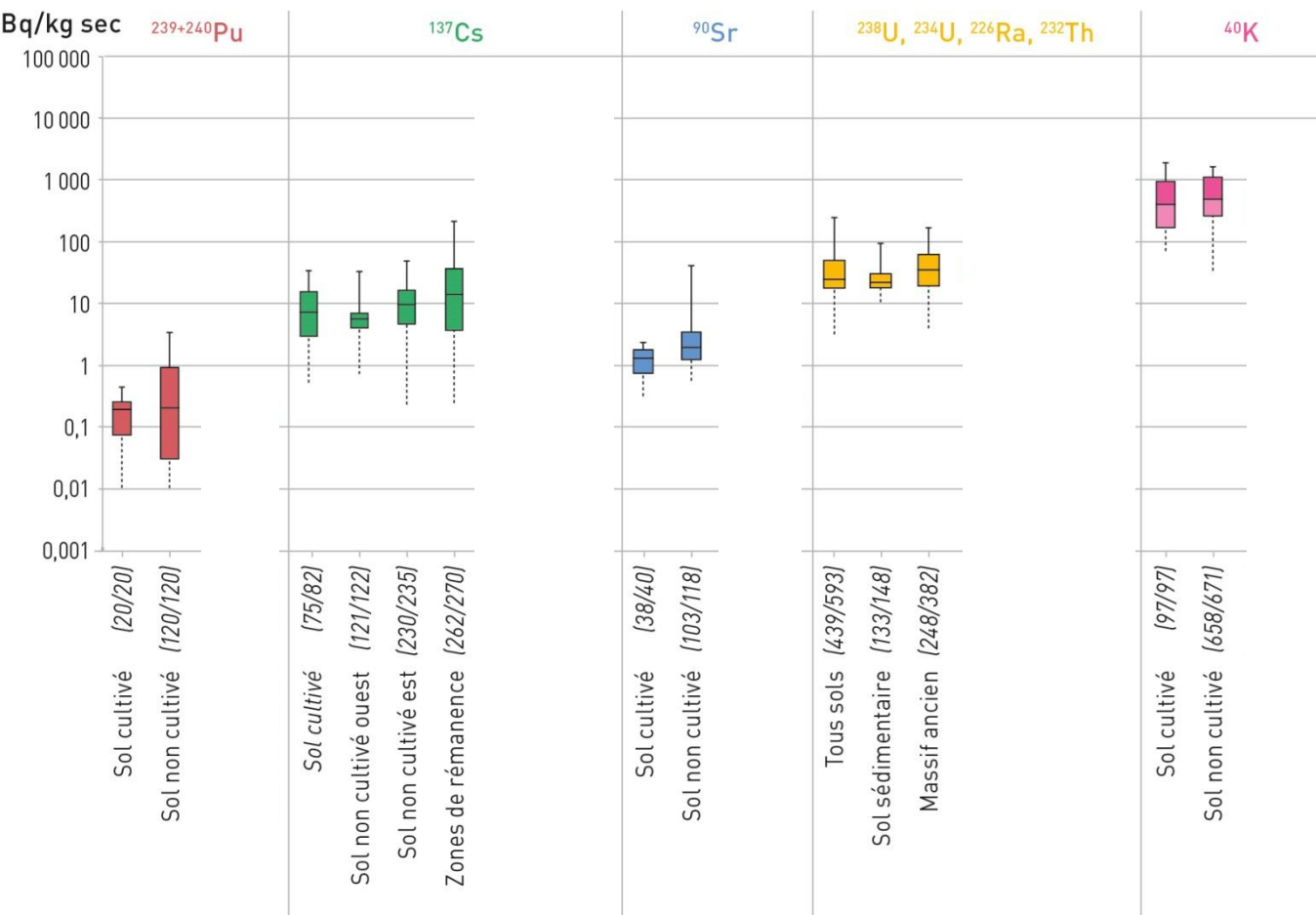
Les pluies qui arrosent le pays au moment où cette masse d'air contaminée survole la France, induisent des dépôts radioactifs pluvieux plus importants et très hétérogènes dans l'Est

Des dépôts de ^{134}Cs , 2 fois moins importants que ^{137}Cs
Des dépôts d' ^{131}I , 5 à 10 fois plus importants que ^{137}Cs

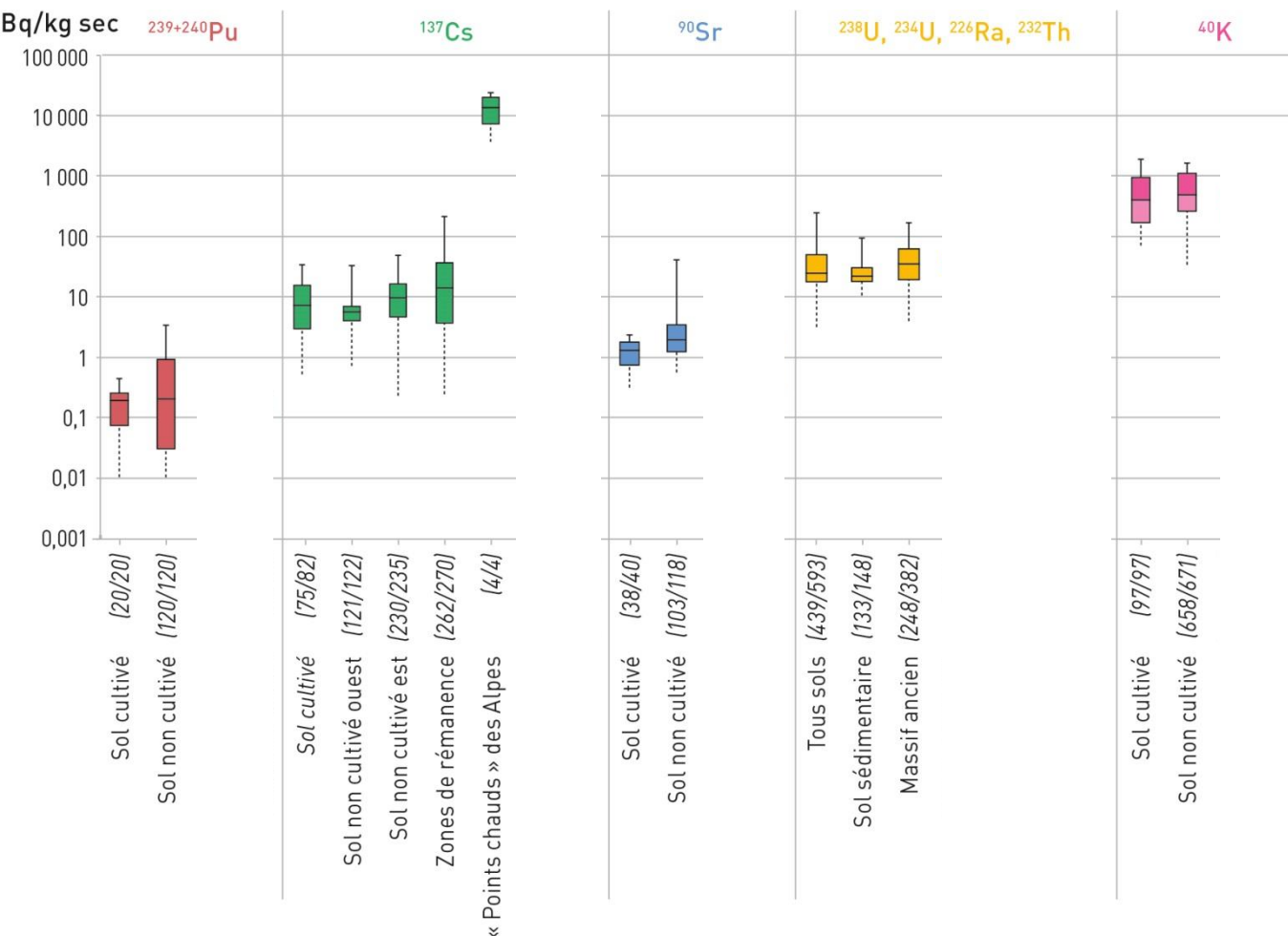
Activités déposées de ^{137}Cs (Bq.m^{-2})



Gammes d'activités des radionucléides des sols et sédiments (hors ^3H et ^{14}C)

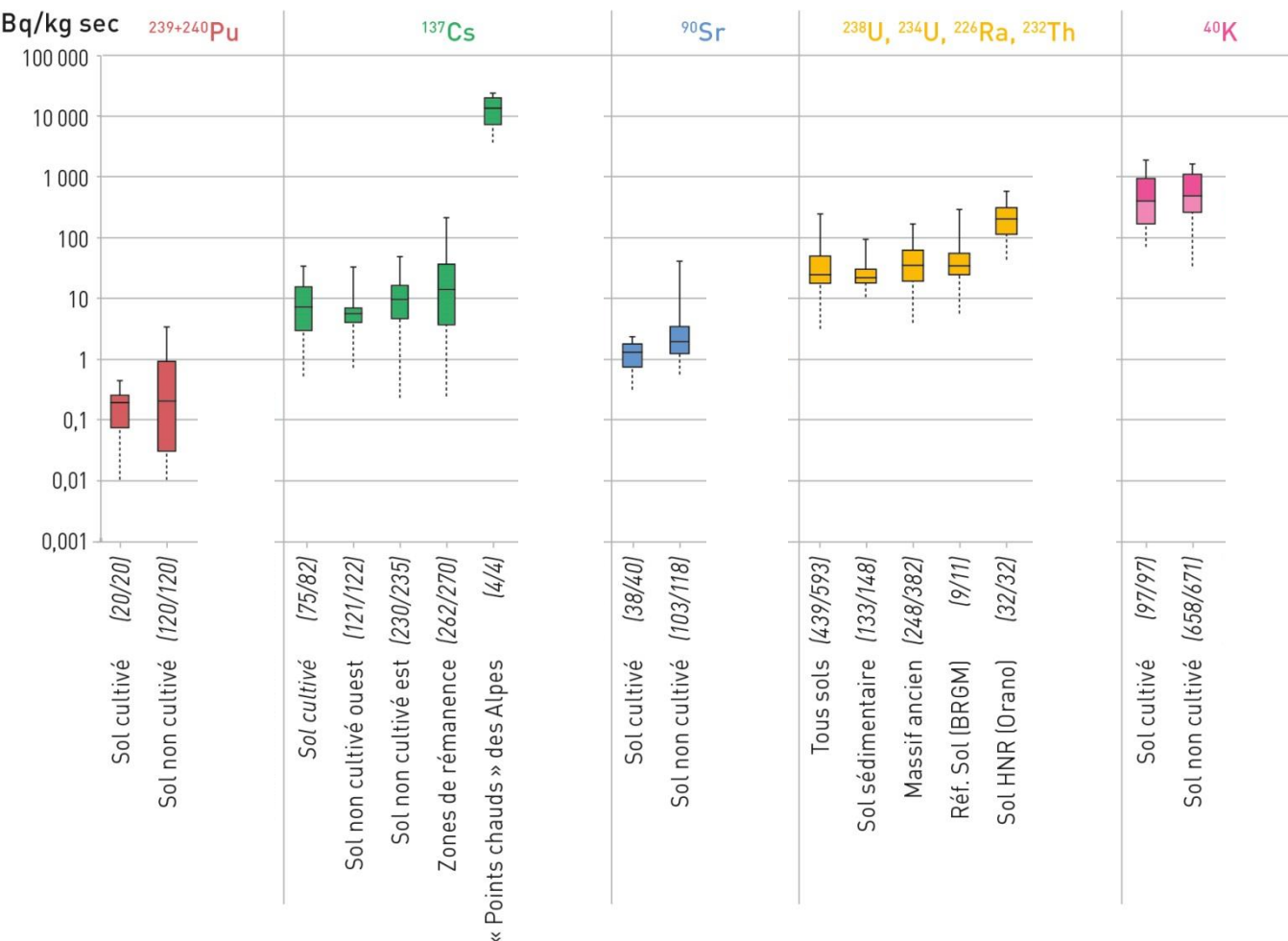


Gammes d'activités des radionucléides des sols et sédiments (hors ^3H et ^{14}C)



Cas des « points chauds » des Alpes...

Gammes d'activités des radionucléides des sols et sédiments (hors ^3H et ^{14}C)

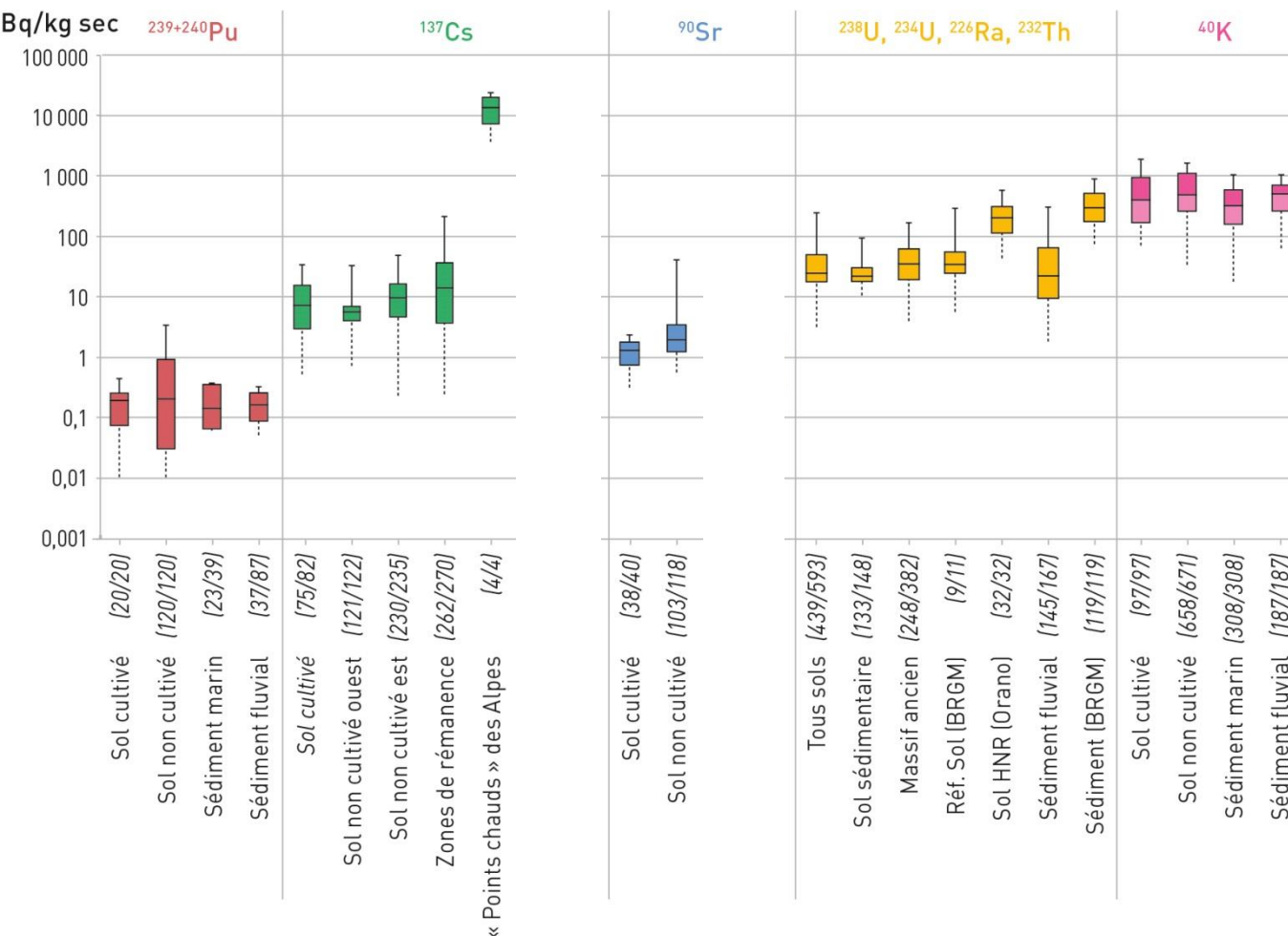


Des activités massiques du même ordre de grandeur dans les sols et les sédiments

Cas des « points chauds » des Alpes...

Des activités en radionucléides naturels plus élevées dans les sols à haut niveaux de radioactivité naturelle

Gammes d'activités des radionucléides des sols et sédiments (hors ^3H et ^{14}C)



Des activités massiques du même ordre de grandeur dans les sols et les sédiments

Des activités en ^{238}Pu 30 fois inférieures à celles de $^{239+240}\text{Pu}$ (essais nucléaires + désintégration du satellite SNAP 4 en 1964)

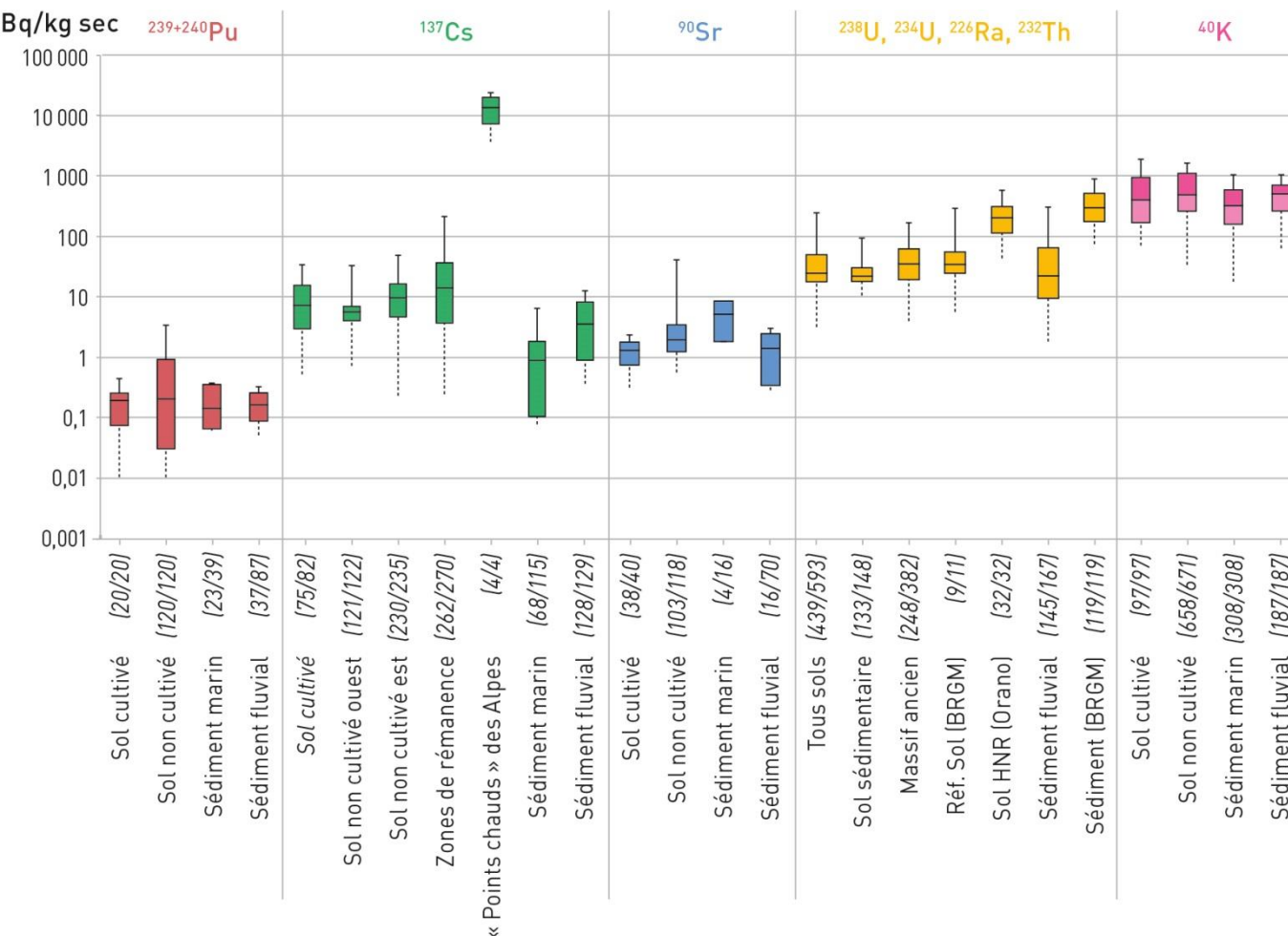
Des activités de ^{241}Am , 2 fois inférieures à celles de $^{239+240}\text{Pu}$

Rapport d'activités $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu} = 0,6$; (0,18 en masse)

Cas des « points chauds » des Alpes...

Des activités en radionucléides naturels plus élevées dans les sols à haut niveau de radioactivité naturelle

Gammes d'activités des radionucléides des sols et sédiments (hors ^3H et ^{14}C)



Des activités massiques du même ordre de grandeur dans les sols et les sédiments

Des activités en ^{238}Pu 30 fois inférieures à celles de $^{239+240}\text{Pu}$ (essais nucléaires + désintégration du satellite SNAP 4 en 1964)

Des activités de ^{241}Am , 2 fois inférieures à celles de $^{239+240}\text{Pu}$

Rapport d'activités $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu} = 0,6$; (0,18 en masse)

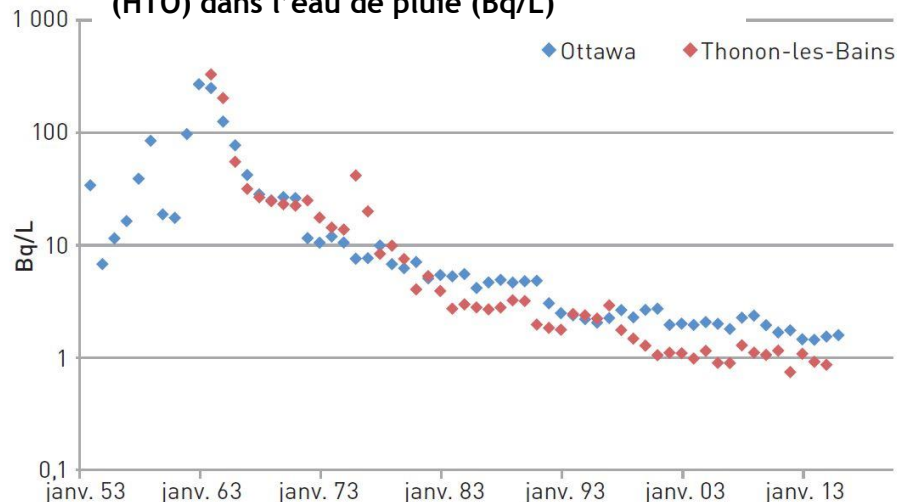
Activités massiques du ^{137}Cs plus faibles dans les sédiments marins (solubilité + dilution). L'inverse pour ^{90}Sr

Cas des « points chauds » des Alpes...

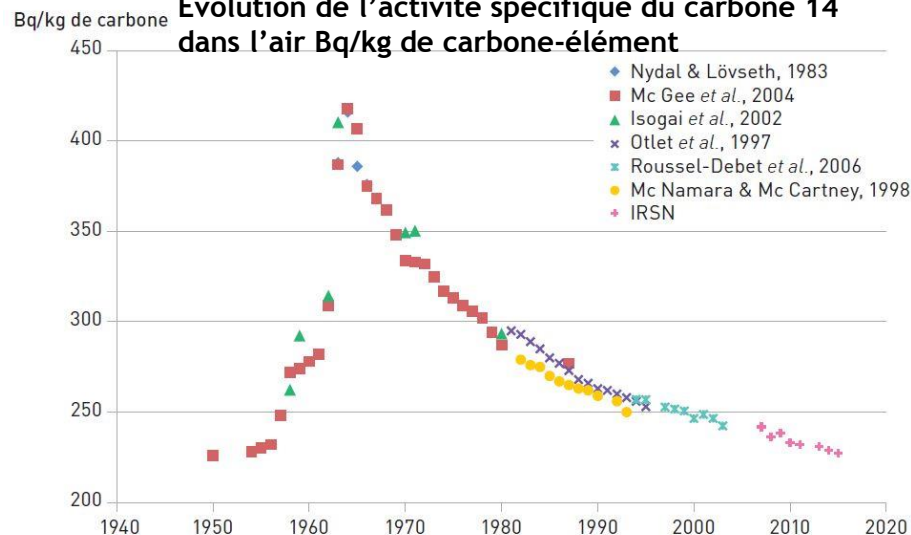
Des activités en radionucléides naturels plus élevées dans les sols à haut niveaux de radioactivité naturelle

Contrairement aux autres radionucléides, le réservoir du tritium et du carbone 14 n'est pas le sol

Evolution de l'activité volumique du tritium (HTO) dans l'eau de pluie (Bq/L)



Evolution de l'activité spécifique du carbone 14 dans l'air Bq/kg de carbone-élément



Les réservoirs du tritium sont l'eau (HTO de la vapeur d'eau de l'air, des tissus vivants, des eaux de surface) et la matière organique (TOL)

L'activité en tritium de l'eau d'un sol est proche de celle de la vapeur d'eau atmosphérique (de l'ordre de 1 Bq/L actuellement)

L'activité en tritium liée à la matière organique d'un sol est proportionnelle à sa teneur en matière organique et à l'âge de celle-ci (celle de la vapeur d'eau dans les années antérieures)

Les réservoirs du carbone 14 sont l'air et la matière organique

L'activité massique du carbone 14 dans un sol est proportionnelle à sa teneur en matière organique

L'activité spécifique du carbone 14 dans un sol est égale à l'activité spécifique moyenne de l'air au moment où la matière organique qui s'y trouve s'est formée

L'activité spécifique du carbone 14 dans les sédiments du milieu aquatique continental est inférieure à celles de l'air et du milieu terrestre (dilution dans les carbonates anciens)

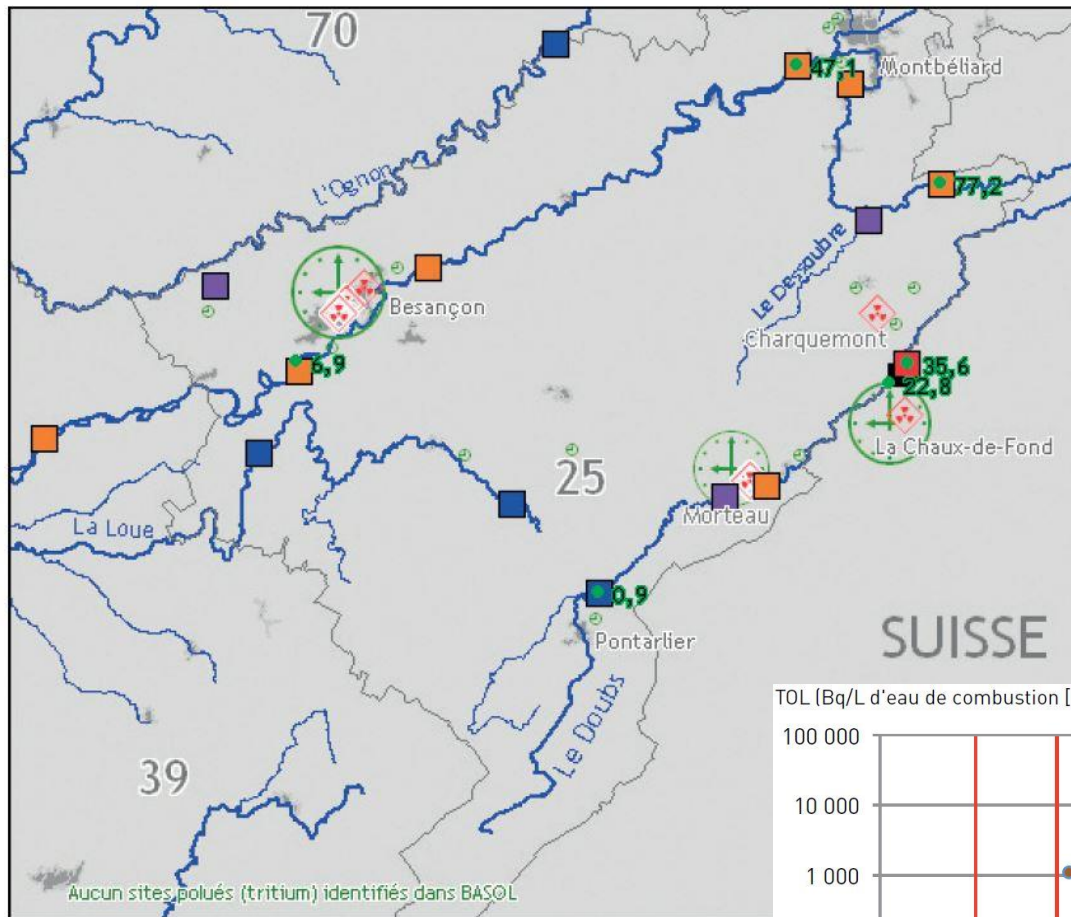
Des particularités locales : le « tritium horloger »

Des peintures tritiées ont été utilisées dans l'horlogerie pour leur luminescence

L'activité totale utilisée de 1960 à 1995 a été estimée à 22 000 TBq avec un maximum en 1970 (2 000 TBq)

Des activités localement très importantes et très hétérogènes (effet « particule chaude » lié à des particules de peinture tritiée non complètement dégradées)

Influence visible dans les sédiments du Rhône mais pas dans l'eau, ni dans les autres composantes du milieu



Tritium organiquement lié (sédiments)

■ 22 300 à 300 000 (2)

■ 1 500 à 22 300 (4)

■ 1 000 à 1 500 (7)

■ 15 à 500 (3)

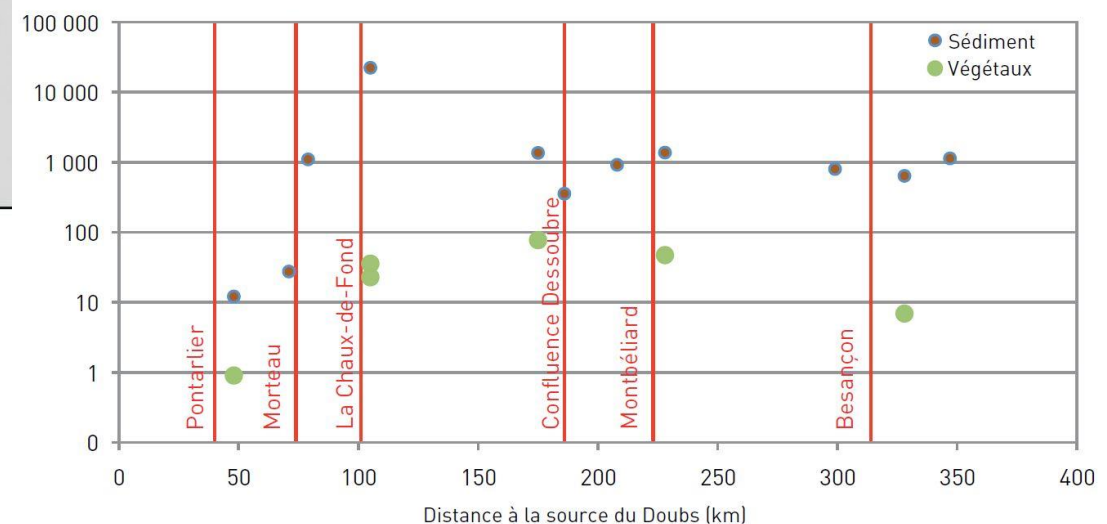
■ 6,6 à 15 (5)

Bq/L d'EC

Tritium organiquement lié (végétaux aquatiques)

● de 0,9 à 77 Bq/L d'eau de combustion (EC)

TOL (Bq/L d'eau de combustion [EC])



Quelques autres exemples de particularités locales liées...

... aux rejets passés ou présents des sites nucléaires ou d'anciens sites miniers

- Le plutonium dans les sols autour de Marcoule et dans les sédiments du Rhône en aval du site
- Le plutonium dans les sédiments de la Manche sous influence de La Hague
- Le tritium dans les sédiments de la rade de Toulon
- L'uranium et le radium dans les sédiments des cours d'eau sous influence des anciens sites miniers
- L'uranium dans les sédiments des canaux ou ruisseaux directement influencés par les sites de Malvézi ou Tricastin
- Le strontium 90, le plutonium et l'américium dans les sédiments du ru des Landes sous influence de La Hague
- ...
- ...
- ...

Merci pour votre attention