

# BILAN SUR LA QUALITÉ RADIOLOGIQUE DES EAUX DU ROBINET 2008-2009



Le présent travail a été réalisé à partir :

- des données 2008-2009 de la base SISE-Eaux d'alimentation<sup>1</sup> issues du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux, mis en œuvre par les Agences Régionales de Santé (ARS) ;
- des analyses des radionucléides et notamment des isotopes de l'uranium, réalisées entre 2008 et 2009 par l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) dans le cadre du contrôle sanitaire ;
- d'une enquête nationale auprès des ARS sur la qualité radiologique des eaux au robinet des consommateurs en 2009 et sur la présence de radon. ;
- d'un recensement des résultats liés à la présence de radon dans l'eau, engagé par l'IRSN à partir des données historiques internes à l'IRSN. Un bilan historique<sup>2</sup> (1977-2003) a été rédigé à partir de l'exploitation de 2000 valeurs.

#### **Rédaction du rapport et exploitation des données :**

Delphine CAAMAÑO (Autorité de Sécurité Nucléaire - ASN, Direction des rayonnements ionisants et de la santé)

Raphaël TRACOL (Agence Régionale de Santé - ARS de Basse-Normandie)

Laëtitia GUILLOTIN et Béatrice JÉDOR (Direction Générale de la Santé – DGS, Bureau « Qualité des eaux »)

Henri DAVEZAC (DGS, Pôle d'administration des données sur l'eau)

Jeanne LOYEN (Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire - IRSN, Direction de l'environnement et de l'intervention)

---

<sup>1</sup> Système d'informations en santé-environnement sur les eaux d'alimentation.

<sup>2</sup> Note technique IRSN/DEI/STEME n°2010-03

# Sommaire

<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>I</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>I</b>
<b>LISTE DES CARTES</b>	<b>II</b>
<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS</b>	<b>II</b>
<b>GLOSSAIRE</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Rappel du contexte</b>	<b>3</b>
1.1.1 Notion de radioactivité	3
1.1.2 Origine de la radioactivité naturelle dans les eaux	3
1.1.3 Exposition de la population à la radioactivité naturelle et impact sanitaire	4
1.1.4 Indicateurs de la qualité radiologique de l'eau	5
1.1.5 Uranium dans l'eau	5
<b>1.2. Objectifs de la mesure de la radioactivité dans l'eau du robinet</b>	<b>6</b>
<b>2. MÉTHODOLOGIE</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux mis en œuvre par les ARS</b>	<b>7</b>
2.1.1 Distribution de l'eau potable en France	7
2.1.2 Organisation du contrôle sanitaire des eaux du robinet	8
2.1.3 Contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux du robinet	8
2.1.4 Gestion des risques sanitaires	11
<b>2.2. Éléments constitutifs ayant servi de base pour le présent rapport</b>	<b>14</b>
2.2.1 Analyses des radionucléides naturels et artificiels	14
2.2.2 Calcul complémentaire de la concentration pondérale de l'uranium	14
<b>2.3. Enquête sur la qualité radiologique des eaux au robinet des consommateurs en 2009 réalisée auprès des ARS</b>	<b>15</b>
<b>2.4. Recensement des résultats liés à la présence de radon dans l'eau, engagé par l'IRSN et les ARS</b>	<b>16</b>
2.4.1 Contexte réglementaire	16
2.4.2 Bilan historique conduit par l'IRSN	16
2.4.3 Enquête auprès des ARS	17

<b>3. RÉSULTATS</b>	<b>18</b>
<b>3.1. Résultats du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux</b>	<b>18</b>
3.1.1 Prélèvements et les mesures	18
3.1.2 Résultats d'analyses du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux	22
<b>3.2. Résultats de l'enquête réalisée auprès des ARS sur la qualité de l'eau au robinet des consommateurs en 2009</b>	<b>25</b>
3.2.1 Pourcentage de la population pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a pu être évaluée	25
3.2.2 Situations où DTI moyenne $\leq 0,1$ mSv/an	28
3.2.3 Situations où DTI moyenne $> 0,1$ mSv/an	29
<b>3.3. Résultats des analyses des radionucléides</b>	<b>31</b>
3.3.1 Mesure de l'ensemble des radionucléides d'origine naturelle ou d'origine artificielle	31
3.3.2 Principaux radionucléides mesurés en cas de situation de dépassement d'un indicateur de la qualité radiologique des eaux du robinet	32
3.3.3 Résultats pour l'uranium	33
<b>3.4. Résultats des investigations conduites pour estimer la présence de radon dans l'eau</b>	<b>33</b>
<b>4. DISCUSSION</b>	<b>36</b>
<b>4.1. Facteurs influençant la représentativité des résultats</b>	<b>36</b>
4.1.1 Modalités de prélèvement	36
4.1.2 Modalités d'analyse	36
<b>4.2. Généralisation de la mise en place du contrôle sanitaire</b>	<b>37</b>
<b>4.3. Qualité radiologique des eaux du robinet globalement satisfaisante</b>	<b>38</b>
<b>4.4. Risque chimique de l'uranium supérieur au risque radiologique</b>	<b>38</b>
<b>4.5. Pour une meilleure prise en compte de l'exposition au radon par ingestion</b>	<b>39</b>
<b>5. CONCLUSION</b>	<b>40</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>41</b>
Annexe 1 : Techniques d'analyses couramment utilisées pour mesurer la radioactivité dans les eaux.....	42

## Liste des figures

Figure 1 : Origine de l'exposition annuelle moyenne de la population française aux rayonnements ionisants – IRSN, 2010.....	4
Figure 2 : Lieu de prélèvement pour le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux.....	10
Figure 3 : Stratégie d'analyse de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine .....	13
Figure 4 : Gestion des dépassements de la référence de qualité de la DTI, en l'absence de radionucléides artificiels, et information du public .....	14
Figure 5 : Répartition des prélèvements selon le lieu de contrôle – Données 2008-2009.....	18
Figure 6 : Répartition des prélèvements selon l'origine de l'eau – Données 2008-2009 .....	19
Figure 7 : Répartition de la population en fonction de la qualité radiologique de l'eau distribuée – Données 2009 .....	27
Figures 8 et 9 : Nombre d'échantillons dans lesquels ont été mesurés les radionucléides prévus par la stratégie d'analyse de la qualité radiologique des eaux mises en distribution – Données 2008-2009 .....	31-32
Figure 10 : Distribution des concentrations en uranium pondéral mesurées par l'IRSN présentant une activité alpha globale supérieure à 0,1 Bq/L.....	33
Figure 11 : Répartition des valeurs d'activité significatives en radon 222 mesurées par l'IRSN dans les eaux destinées à la consommation humaine – Bilan historique entre 1977 et 2003.....	34
Figure 12: Evolution du nombre de prélèvements annuels pour la mesure de l'activité alpha globale et le tritium (2005-2009) .....	37

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition massique des isotopes de l'uranium .....	5
Tableau 2 : Rapport des activités des isotopes de l'uranium.....	6
Tableau 3 : Nombre d'UDI et population desservie selon la taille de l'UDI – Situation au 31 août 2010 .....	7
Tableau 4 : Les quatre indicateurs de la qualité radiologique de l'eau .....	8
Tableau 5 : Fréquences annuelles des prélèvements d'échantillons d'eau et d'analyses d'eau en production (d'après l'arrêté du 11 janvier 2007 [g]) .....	10
Tableau 6 : Constantes radioactives des isotopes de l'uranium.....	15
Tableau 7 : équivalences entre l'activité d'un isotope de l'uranium (Bq/L) et sa concentration massique (µg/L).....	15
Tableau 8 : Nombre de mesures réalisés et d'installations contrôlées entre 2008 et 2009 dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux .....	18
Tableau 9 : Nombre de prélèvements en fonction du lieu de prélèvement dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux – Données 2008-2009 .....	19
Tableau 10 : Nombre de mesures réalisés entre 2008 et 2009 dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux en fonction de l'origine de l'eau .....	20
Tableau 11 : Résultats du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux entre 2008 et 2009 .....	22
Tableau 12 : Répartition du nombre d'analyses inférieures ou supérieures aux indicateurs de la qualité radiologique de l'eau selon l'origine de l'eau – Données 2008-2009 .....	24
Tableau 13 : DTI moyenne dans les eaux au robinet du consommateur - Données 2009 .....	25
Tableau 14 : Résultats de la campagne de prélèvements de radon en Corrèze - Données 2009....	34
Tableau 15 : Résultats de la campagne de prélèvements de radon en Haute-Vienne – Données 2008.....	35

## Liste des cartes

Carte 1 : Nombre de prélèvements réalisés dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux – données 2008-2009.....	20
Carte 2 : Nombre de mesures des activités alpha globale, bêta globale, tritium réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux et nombre de DTI renseignées dans la base SISE-Eaux - Données 2008-2009.....	21
Carte 3 : Pourcentage de la population pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a été évaluée – Année 2009.....	26
Carte 4: Pourcentage de la population desservie pour une eau pour laquelle DTI moyenne $\leq 0,1$ mSv / an - Année 2009.....	28
Carte 5 : Population ayant été alimentée par de l'eau pour laquelle DTI moyenne $> 0,1$ mSv/an – Année 2009.....	29

## Liste des abréviations

**ANSES** : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire

**ARS** : Agence Régionale de Santé

**ASN** : Autorité de Sûreté Nucléaire

**DDASS** : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

**DGS** : Direction Générale de la Santé

**DT** : Délégation Territoriale

**DTI** : Dose Totale Indicative

**IRSN** : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

**ISO** : International Standard Organisation

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**PRPDE** : Personne Responsable de la Production et/ou de la Distribution d'Eau

**SISE-Eaux d'alimentation** : Système d'Information en Santé-Environnement sur les Eaux d'alimentation

**UDI** : Unité de Distribution

## Glossaire

**Activité** : l'activité  $A$  d'une quantité d'un radionucléide à un état énergétique déterminé et à un moment donné est le quotient de  $dN$  par  $dt$ , où  $dN$  est le nombre probable de transitions nucléaires spontanées avec émission d'un rayonnement ionisant à partir de cet état énergétique dans l'intervalle de temps  $dt$  :  $A = dN/dt$ .

**Becquerel** (unité d'activité) : un becquerel (Bq) représente une transition nucléaire spontanée par seconde, avec émission d'un rayonnement ionisant.

**Dose absorbée** : énergie absorbée par unité de masse. Le terme "dose absorbée" désigne la dose moyenne reçue par un tissu ou un organe. L'unité de dose absorbée est le gray (Gy).

**Dose efficace** : somme des doses équivalentes pondérées délivrées par exposition interne et externe aux différents tissus et organes du corps. L'unité de dose efficace est le sievert (Sv).

**Dose équivalente** : dose absorbée par un tissu ou un organe, pondérée suivant le type et l'énergie du rayonnement. L'unité de dose équivalente est le sievert (Sv).

**Dose totale indicative (DTI)** : la DTI représente la dose efficace résultant de l'incorporation des radionucléides présents dans l'eau durant une année de consommation. Elle est obtenue par le calcul en considérant que la consommation quotidienne d'eau est de 2 litres. Son évaluation permet d'estimer la part de l'exposition aux rayonnements ionisants apportée par les eaux mises en distribution.

**Eaux distribuées** : il s'agit des eaux au robinet des consommateurs, distribuées par le réseau public.

**Eaux mises en distribution** : il s'agit des eaux traitées en sortie de station de production, c'est-à-dire au point de mise en distribution vers le réseau public.

**Isotope** : chacun des différents types d'atomes d'un même élément, différant par leur nombre de neutrons mais ayant le même nombre de protons et d'électrons, et possédant donc les mêmes propriétés chimiques.

Exemple : l'uranium 235 et l'uranium 238 qui ont respectivement 143 et 146 neutrons.

**Mole** : la mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12 ; son symbole est mol. Une mole d'atomes contient environ  $6,022 \times 10^{23}$  atomes. Ce nombre est appelé constante d'Avogadro.

**Radioactivité** : phénomène de transformation spontanée d'un nucléide avec émission de rayonnements ionisants.

**Radionucléide** : un radionucléide est un isotope dont le noyau instable se désintègre à un certain moment de son existence. Il retrouve son équilibre en émettant un rayonnement pour libérer son surplus d'énergie. Ce phénomène est à l'origine de la radioactivité.

**Rayonnements ionisants** : ondes électromagnétiques (gamma) ou particules (alpha, bêta, neutrons) émis lors de la désintégration de radionucléides. Les rayonnements sont dits "ionisants" car ils produisent des ions en traversant la matière.

**Sievert (Sv)** : unité commune utilisée à la fois pour la dose équivalente, la dose équivalente engagée, la dose efficace et la dose efficace engagée.

**Système d'informations en santé-environnement sur les eaux d'alimentation (SISE-Eaux d'alimentation)** : c'est la composante « eaux d'alimentation » du système d'information en santé-environnement du Ministère chargé de la santé. Cet outil est un système informatique cohérent

de gestion des données administratives, techniques et analytiques de la distribution d'eau en France. Il permet une description et une exploitation homogène à tous les échelons géographiques (départemental, régional ou national) des données relatives aux installations de captage, de traitement et de distribution d'eau et aux analyses qui s'y rapportent.

**Unité de distribution (UDI)** : le réseau de distribution de l'eau potable est structuré en unités de distribution (UDI). Une UDI désigne le réseau ou la partie physique du réseau de distribution délivrant une eau de qualité homogène. Ainsi, une commune ou un syndicat intercommunal peut être partagé en plusieurs UDI si plusieurs origines d'eau coexistent. Inversement, plusieurs communes peuvent être regroupées dans la même UDI. Tous les abonnés raccordés au réseau public sont ainsi associés à une UDI. L'UDI doit de plus présenter une unité de gestion [un seul maître d'ouvrage (commune, syndicat, etc.), un seul exploitant gestionnaire] ; une unité de gestion pouvant comporter plusieurs UDI.



# 1. Introduction : contexte et objectifs

## 1.1. Rappel du contexte

### 1.1.1 Notion de radioactivité

Les atomes composant la matière qui nous environne sont, pour certains, instables. Ceux-ci se dégradent spontanément en un autre atome en émettant des rayonnements ionisants : il s'agit de la **radioactivité** [a].

Les rayonnements ionisants émis sont habituellement définis en fonction de leur pouvoir de pénétration dans la matière, qui les absorbe plus ou moins selon leur énergie (rayonnements alpha, bêta et gamma ou X).

L'effet des rayonnements ionisants sur l'homme dépend d'une part de l'intensité avec laquelle ils sont émis et d'autre part de leur pouvoir de pénétration dans la matière.

Les populations sont, suivant leur degré de proximité avec des sources de radioactivité (naturelle ou artificielle), susceptibles d'être exposées selon les voies suivantes :

- irradiation externe ;
- contamination interne, par ingestion ou inhalation.

#### Unités de mesure liées à la radioactivité et à l'exposition aux rayonnements ionisants :

Le **becquerel** (Bq) mesure l'intensité d'une source radioactive, c'est-à-dire son **activité** : il correspond à la désintégration d'un atome par seconde.

Le **gray** (Gy) mesure la **quantité de rayonnement (ou d'énergie) absorbée** par l'individu (ou l'objet) exposé.

Le **sievert** (Sv) mesure l'**effet biologique** produit sur l'individu par le rayonnement ionisant absorbé.

### 1.1.2 Origine de la radioactivité naturelle dans les eaux

La radioactivité naturelle dans les eaux est en relation directe avec la nature géologique des terrains qu'elles traversent, le temps de contact (âge de l'eau), la température, la solubilité des éléments rencontrés, etc. [b].

L'eau se charge d'éléments radioactifs lors de son passage au travers des roches plutoniques<sup>3</sup> ou métamorphiques<sup>4</sup> profondes. Dans les zones de roches magmatiques<sup>5</sup> riches en uranium et en thorium, la radioactivité est plus élevée que dans les régions sédimentaires<sup>6</sup> [b]. Ainsi, les eaux de source des régions granitiques présentent parfois une activité naturelle élevée due au radium-226 et au radon-222. C'est pourquoi l'eau provenant de puits profonds contient normalement une

<sup>3</sup> Roche magmatique qui s'est mise en place en profondeur et qui présente une structure grenue (ex : granite).

<sup>4</sup> Roche qui a subi des transformations minéralogiques et structurales suite à une élévation de température et de pression (ex : marbre, schiste).

<sup>5</sup> Roche se formant refroidissement d'un magma en fusion, soit en profondeur (magma souterrain donnant une roche plutonique), soit à partir d'une lave émergeant à la surface (roche volcanique).

<sup>6</sup> Roche formée par l'accumulation de sédiments en milieu marin ou continental, suite à l'action de l'eau ou du vent (ex : sables, grès, marnes ou calcaires).

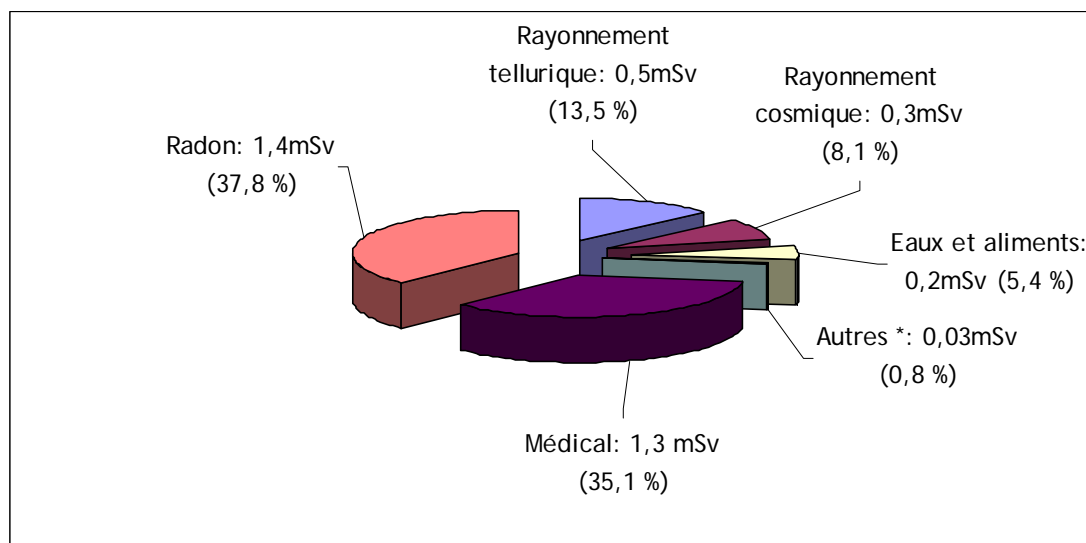
radioactivité naturelle (radon<sup>7</sup>, etc.) beaucoup plus élevée que les eaux de surface dans les rivières, les lacs ou les ruisseaux [c].

Cependant, les eaux profondes ne sont pas les seules eaux radioactives. Des eaux superficielles ayant pour réservoir des roches anciennes affleurantes ou beaucoup plus récentes (couvertures sédimentaires du tertiaire) peuvent aussi présenter une radioactivité importante. Les eaux de surface sont, pour la plupart, radioactives naturellement parce qu'elles contiennent du potassium naturel à l'état dissous (mélange de potassium stable et de potassium-40 radioactif).

### 1.1.3 Exposition de la population à la radioactivité naturelle et impact sanitaire

La population est exposée en permanence à un flux de particules d'origine cosmique, dont des centaines traversent le corps humain à chaque seconde. Des roches comme le granite sont plus riches en radionucléides (uranium et ses descendants) et provoquent ainsi une exposition plus importante des personnes qui séjournent à proximité, soit par irradiation externe due aux rayons gamma émis par la roche, soit par inhalation du radon (gaz radioactif) exhalé par le sous-sol.

La radioactivité naturelle est la principale source de notre exposition aux rayonnements ionisants (hors expositions médicales). En France, l'exposition aux rayonnements ionisants d'origine naturelle est en moyenne de 2,4 mSv/an (dus au radon, aux rayonnements telluriques<sup>8</sup> et cosmiques<sup>9</sup>, notamment), dont environ 0,2 mSv/an du à l'ingestion d'aliments et d'eau (voir Figure 1) [d].



**Figure 1 : Origine de l'exposition annuelle moyenne de la population française aux rayonnements ionisants – IRSN, 2010**

En mangeant ou en respirant, l'homme assimile des éléments radioactifs, qui ont été produits par les rayonnements cosmiques ou qui sont d'origine tellurique. La radioactivité ingérée est

<sup>7</sup> Gaz radioactif d'origine naturelle représentant environ le tiers de l'exposition moyenne de la population française aux rayonnements ionisants. Il est présent partout à la surface de la planète à des concentrations variables selon les régions.

<sup>8</sup> Les rayonnements terrestres proviennent de la désintégration des radionucléides présents naturellement dans la croûte terrestre depuis la formation de la Terre ; ce sont des éléments à vie longue (potassium 40, éléments appartenant aux familles radioactives des uranium 238 et 235, et du thorium 232).

<sup>9</sup> Les rayonnements cosmiques proviennent des galaxies lointaines et du soleil, et sont constitués de particules chargées, de hautes énergies, qui traversent l'espace.

composée essentiellement de carbone-14 et de potassium-40. Le corps humain est donc naturellement radioactif.

A ces niveaux de dose, de l'ordre du millisievert par an, les études épidémiologiques menées à ce jour n'ont pas permis d'établir de lien entre l'eau de boisson et certains cancers du système digestif ou d'autres organes.

#### 1.1.4 Indicateurs de la qualité radiologique de l'eau

L'**activité alpha globale** est représentative de l'activité de l'ensemble des radionucléides émetteurs de rayonnements alpha contenus dans l'eau.

L'**activité bêta globale résiduelle** est représentative de l'activité de l'ensemble des radionucléides émetteurs de rayonnements bêta contenus dans l'eau, à l'exception de celle du potassium-40<sup>10</sup> :

$$\text{Activité bêta globale résiduelle} = \text{Activité bêta globale mesurée} - 27,9 \cdot 10^{-3} \times [\text{K}]^{11}$$

avec [K] : concentration en potassium total (en mg/L).

Le **tritium** est considéré comme un indicateur de contamination d'origine anthropique.

Enfin, la **Dose Totale Indicative (DTI)** représente la dose efficace résultant de l'incorporation des radionucléides présents dans l'eau durant une année de consommation, à l'exclusion de ceux à vie courte résultant de la désintégration du radon figurant en annexe de l'arrêté du 12 mai 2004<sup>12</sup> [e]. Elle est obtenue par le calcul en considérant que la consommation quotidienne d'eau est de 2 litres. Son évaluation permet d'estimer la part de l'exposition aux rayonnements ionisants apportée par les eaux de consommation.

#### 1.1.5 Uranium dans l'eau

L'uranium est un métal naturellement radioactif. Ses trois isotopes naturels sont : <sup>234</sup>U, <sup>235</sup>U et <sup>238</sup>U. Les propriétés physiques de l'uranium naturel, tel qu'il est extrait de son minerai, sont décrites dans le Tableau 1<sup>13</sup>.

**Tableau 1 : Composition massique des isotopes de l'uranium**

Composition massique (%)	
<sup>238</sup> U	99,275 %
<sup>235</sup> U	0,719 %
<sup>234</sup> U	0,0057%

Les deux principaux isotopes sont l'uranium 234 et l'uranium 238 (Tableau 2).

<sup>10</sup> Le potassium-40 (émetteur bêta) est nécessairement présent dans l'organisme, en quantité proportionnelle à celle du potassium total. Il ne peut être stocké, sa concentration est maintenue constante par l'organisme ; c'est pourquoi il n'est pas pris en compte et l'activité bêta globale résiduelle est calculée.

<sup>11</sup> Note technique IRSN/DEI/STEM n° 2008-04, Calcul de la contribution de <sup>40</sup>K à l'activité bêta globale.

<sup>12</sup> A savoir : radon 222, polonium-214, polonium-218, plomb-214, astate-218, bismuth-214, thallium-210.

Remarque : la réglementation française est plus contraignante que la directive 98/83/CE, dans la mesure où pour le calcul de la DTI les radionucléides présentant une radiotoxicité élevée (plomb-210 et polonium-210 notamment) sont pris en compte. Sur ce point, l'arrêté du 12 mai 2004 intègre partiellement la recommandation de la Commission Européenne du 20 décembre 2001 concernant la protection de la population contre l'exposition au radon dans l'eau potable.

<sup>13</sup> Fiche radionucléide « Uranium naturel et environnement » disponible sur le site Internet [www.irsn.org](http://www.irsn.org).

**Tableau 2 : Rapport des activités des isotopes de l'uranium**

Rapport des activités	
$^{238}\text{U}/^{234}\text{U}$	1
$^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$	21

Dans les eaux naturelles, on peut aussi bien trouver  $^{234}\text{U}$  et  $^{238}\text{U}$  à l'état d'équilibre (l'activité en  $^{234}\text{U}$  est sensiblement la même que l'activité en  $^{238}\text{U}$ ) qu'en déséquilibre en faveur de l'un ou l'autre de ces deux isotopes. Du fait de leurs faibles coefficients de doses efficaces engagées par unité d'incorporation (respectivement  $4,9 \cdot 10^{-8}$  et  $4,5 \cdot 10^{-8}$  Sv/Bq pour un adulte de plus de 17 ans), ils contribuent relativement peu à la dose induite par la consommation d'eau contenant des radionucléides.

Sur le plan de la radiotoxicité, la présence d'uranium pondéral à hauteur de 15  $\mu\text{g}/\text{L}$  dans une eau de boisson conduirait, dans le cas d'un uranium « naturel », à une DTI de :

- 27,4  $\mu\text{Sv}/\text{an}$  pour un enfant de moins d'un an consommant annuellement 200 litres de cette eau ;
- 13,2  $\mu\text{Sv}/\text{an}$  pour un adulte de plus de 17 ans consommant annuellement 730 litres de cette eau.

Ces valeurs sont à mettre en regard de la référence de qualité de la DTI qui est de 0,1 mSv (100  $\mu\text{Sv}$ ) par an pour les eaux destinées à la consommation humaine.

### 1.2. Objectifs de la mesure de la radioactivité dans l'eau du robinet

L'exposition à la radioactivité par l'eau du robinet ne représente qu'une faible part de l'exposition à la radioactivité naturelle ; néanmoins, la qualité radiologique de l'eau ne doit pas pour autant être négligée.

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2005, en application de l'arrêté du 12 mai 2004 [e], le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine est obligatoire dans le cadre du contrôle sanitaire réalisé par les Directions Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) devenues depuis le 1<sup>er</sup> avril 2010 les Agences Régionales de Santé (ARS).

L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) et la Direction Générale de la Santé (DGS), en liaison avec les Agences Régionales de Santé (ARS), ont souhaité disposer d'un deuxième bilan national sur la présence de radioactivité dans les eaux du robinet (ou eaux distribuées) en France, dans la continuité du précédent bilan [2005 – 2007], afin d'assurer l'information du public et la veille en matière de qualité radiologique des eaux du robinet.

En outre, l'ASN et la DGS, avec l'appui technique de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), ont souhaité intégrer à ce bilan une synthèse sur la présence d'uranium et de radon dans les eaux du robinet en France, ces paramètres n'étant pas directement mesurés dans le cadre du contrôle sanitaire.

## 2. Méthodologie

Le présent bilan de la qualité radiologique de l'eau a été établi à partir de quatre sources de données :

- ❖ le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux du robinet, pour les années 2008 à 2009, au point de mise en distribution, mis en œuvre par les ARS au titre de l'article R.321-15 du code de la santé publique (résultats saisis dans SISE-Eaux d'alimentation) ;
- ❖ les analyses des radionucléides et notamment des isotopes de l'uranium, réalisées entre 2008 et 2009 par l'IRSN dans le cadre du contrôle sanitaire ;
- ❖ l'enquête spécifique effectuée auprès des ARS, qui a permis d'évaluer la qualité radiologique des eaux au robinet des consommateurs durant l'année 2009, incluant une demande spécifique sur l'analyse de radon dans l'eau ;
- ❖ le recensement des résultats liés à la présence de radon dans l'eau, engagé par l'IRSN à partir des données historiques internes à l'IRSN. Un bilan historique (1977-2003) a été rédigé à partir de l'exploitation de 2 000 valeurs.

### 2.1. Contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux mis en œuvre par les ARS

#### 2.1.1 Distribution de l'eau potable en France

Plus de 25 500 Unités de Distribution (UDI) alimentent en eau potable les 62,7 millions de personnes desservies par un réseau de distribution en France (Tableau 3). Quatre pourcents (4%) des UDI alimentent en eau 60,6 % de la population, soit trois habitants sur cinq. Trois UDI sur cinq desservent moins de 500 habitants et alimentent 3,3 % de la population.

**Tableau 3 : Nombre d'UDI et population desservie selon la taille de l'UDI  
– Situation au 31 août 2010**

Taille des UDI (en habitants)	UDI		Populations desservies	
	en nombre	en %	en millions d'habitants	en %
moins de 500	15 111	59,2 %	2,060	3,3 %
500 - 1 999	5 501	21,5 %	5,691	9,1 %
2 000 - 4 999	2 684	10,5 %	8,423	13,4 %
5 000 - 9 999	1 231	4,8 %	8,477	13,5 %
10 000 - 49 999	878	3,4 %	17,083	28,4 %
50 000 et plus	141	0,6 %	20,216	32,2 %
Total	25 546	100,0 %	62,701	100,0 %

*Source : Ministère chargé de la santé – ARS – SISE-Eaux d'alimentation*

Les UDI sont alimentées à partir de ressources en eau (environ 30 000 captages ou mélanges de captages) d'origine souterraine ou superficielle. Les prises d'eau superficielle, bien que moins nombreuses (environ 1 325), sont toutefois des ressources en eau très importantes dans la mesure où elles alimentent environ un tiers de la population française.

Avant leur mise en distribution, les eaux prélevées dans le milieu naturel subissent généralement un traitement pour les rendre potables : il peut se limiter à une simple désinfection dans le cas

d'eaux d'origine souterraine de bonne qualité ou faire appel à des techniques plus complexes (filtration, ozonation, charbon actif, etc.) dans le cas d'eaux d'origine superficielle.

Au total, environ 18,5 millions de m<sup>3</sup> d'eau sont produits chaque jour.

### 2.1.2 Organisation du contrôle sanitaire des eaux du robinet

Le code de la santé publique, en ses articles R. 1321-1 à R. 1321-63, transposant notamment la directive européenne 98/83/CE relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine [f], définit les modalités du contrôle sanitaire des eaux mis en œuvre par les ARS.

Le contrôle sanitaire des eaux est effectué de façon systématique sur l'ensemble des UDI, quelle que soit leur taille. Les prélèvements sont réalisés, soit par des agents des ARS, soit par des agents des laboratoires agréés par le Ministère chargé de la santé pour le contrôle sanitaire des eaux d'alimentation.

L'ensemble des résultats d'analyses réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire alimente la base nationale de données SISE-Eaux d'alimentation du Ministère chargé de la santé. Cette base de données permet d'exploiter, aux échelons départemental, régional et national, l'ensemble des données relatives à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

Environ 310 000 prélèvements sont réalisés chaque année, soient plus de 8 millions de résultats analytiques, tous paramètres confondus.

### 2.1.3 Contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux du robinet

#### **2.1.3.1. Valeurs guides et références de qualité**

Les valeurs guides et références de qualité des quatre indicateurs de la qualité radiologique de l'eau fixées par l'arrêté du 11 janvier 2007 [g] sont présentées dans le Tableau 4.

**Tableau 4 : Indicateurs de la qualité radiologique de l'eau**

Indicateur	Nature	Valeur	Référence réglementaire
Activité alpha globale	Valeur guide	0,1 Bq/L	Arrêté du 11 janvier 2007 [g]
Activité bêta globale résiduelle		1 Bq/L	
Tritium	Référence de qualité	100 Bq/L	
DTI		0,1 mSv/an	

La référence de qualité de 100 Bq/L de tritium peut être comparée à la valeur guide de 10 000 Bq/L retenue par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 2004 [h] et qui conduirait à une dose efficace de l'ordre de 0,1 mSv/an pour la consommation quotidienne de 2 litres d'eau. L'activité de 100 Bq/L en tritium conduirait quant à elle à une exposition de 1,3 µSv/an.

L'appréciation finale apportée sur la qualité radiologique d'une eau est fondée sur la DTI. La référence de qualité de la DTI a été fixée par l'OMS et reprise par l'Union européenne dans la

directive 98/83/CE [f], puis transposée en droit français dans l'article R.1321-20 du code de la santé publique. Cet indicateur ne peut être apprécié que par référence à un modèle type de consommation et non aux seules caractéristiques intrinsèques de l'eau. La référence de qualité associée est de 0,1 mSv/an, partant du principe que la consommation régulière d'une eau à hauteur de 2 L/j (soit 730 L/an) ne devrait pas entraîner une dose supérieure de 10 % à la limite de dose pour le public, fixée à 1 mSv/an dans l'article R.1333-8 du code de la santé publique, en sus de la dose due aux expositions naturelles (rayonnements cosmiques, telluriques, radon, etc.).

### **2.1.3.2. Laboratoires agréés**

En application de l'article R. 1321-21 du code de la santé publique, les analyses des échantillons d'eau sont réalisées par des laboratoires agréés par le Ministère chargé de la santé, conformément aux conditions fixées par l'arrêté du 24 janvier 2005 modifié [i].

Ces laboratoires sont accrédités par le COFRAC et réalisent les analyses suivant des normes publiées. Pour les analyses des eaux destinées à la consommation humaine et les paramètres liés à la qualité radiologique, les techniques d'analyses mises en œuvre par les laboratoires agréés sont détaillées en annexe (Annexe 1) et les limites de détection<sup>14</sup> des méthodes sont définies par l'arrêté du 17 septembre 2003 [j].

Pour maintenir un niveau de compétence reconnu et valider leurs techniques de mesure des radionucléides, les laboratoires participent à de nombreux exercices de comparaison inter-laboratoires organisés au niveau national (par l'IRSN) voire aussi au niveau international (par des organismes reconnus tels que l'Agence Internationale de l'Energie Atomique).

L'ASN est chargée de l'instruction des dossiers de demande d'agrément des laboratoires concernant les analyses du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine. Après consultation de l'IRSN, elle transmet à la DGS les éléments permettant de prendre la décision d'agrément. La DGS publie par arrêté la liste des laboratoires agréés au *Journal officiel* de la République française. Cette liste est consultable sur le site Internet du Ministère chargé de la santé<sup>15</sup>.

En 2009, 9 laboratoires étaient agréés pour la réalisation d'analyses de radioactivité dans les eaux dans le cadre du contrôle sanitaire (arrêté du 8 juillet 2009 [k]), parmi lesquels 5 étaient agréés pour analyser certains des radionucléides pris en compte dans le calcul de la DTI.

### **2.1.3.3. Lieux de prélèvement**

L'arrêté du 11 janvier 2007 relatif au programme de prélèvement et d'analyse du contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de distribution [g] précise les lieux de prélèvement : les analyses des indicateurs de la qualité radiologique des eaux doivent être effectuées uniquement en production, au point de mise en distribution (Figure 2).

---

<sup>14</sup> Limite de détection : plus petite valeur vraie du mesurande qui est détectable par la méthode de mesure mise en œuvre sur un échantillon donné.

<sup>15</sup> A l'adresse <http://www.sante-sports.gouv.fr> : rubrique « Les dossiers de la santé de A à Z », dossier « Eau / Les laboratoires agréés pour le contrôle sanitaire des eaux ».

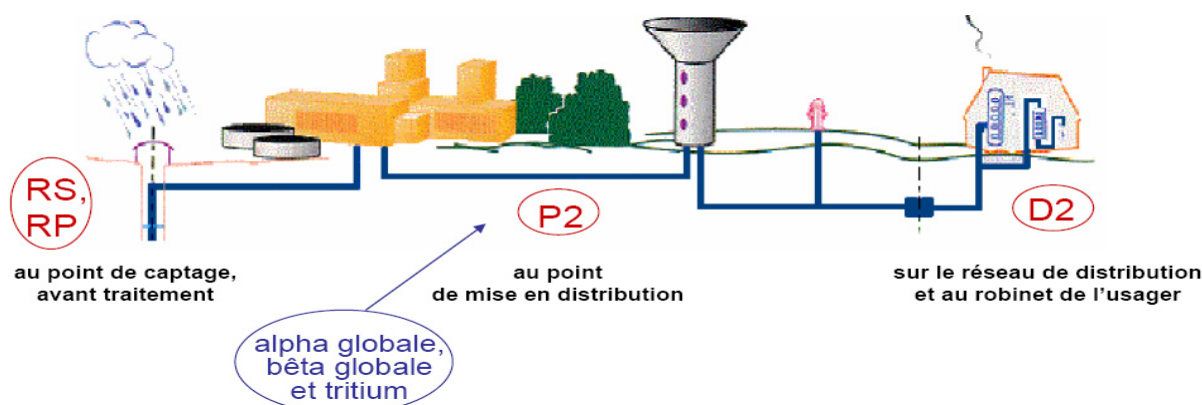


Figure 2 : Lieu de prélèvement pour le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux

#### 2.1.3.4. Fréquence des analyses

Les fréquences des analyses des indicateurs de la qualité radiologique sont fixées par l'arrêté du 11 janvier 2007 [g]. Elles dépendent des débits journaliers distribués et de la taille de la population desservie (Tableau 5).

Tableau 5 : Fréquences annuelles des prélèvements d'échantillons d'eau et d'analyses d'eau en production (d'après l'arrêté du 11 janvier 2007 [g])

Population desservie (habitants)	Débit (m <sup>3</sup> /jour)	Fréquence annuelle
de 0 à 49	de 0 à 9	entre 0,1 et 0,2 (*)
de 50 à 499	de 10 à 99	entre 0,2 et 0,5 (*)
de 500 à 1 999	de 100 à 399	1
de 2 000 à 4 999	de 400 à 999	1
de 5 000 à 14 999	de 1 000 à 2 999	2
de 15 000 à 29 999	de 3 000 à 5 999	3
de 30 000 à 99 999	de 6 000 à 19 000	4
de 100 000 à 149 999	de 20 000 à 29 000	5
de 150 000 à 199 999	de 30 000 à 39 000	6
de 200 000 à 299 999	de 40 000 à 59 000	8
de 30 000 à 499 999	de 60 000 à 99 999	12
de 50 000 à 624 999	de 100 000 à 124 999	12
≥ 625 000	≥ 125 000	12 (**)

(\*) 0,1, 0,2 et 0,5 correspondent respectivement à une analyse tous les 10, 5 et 2 ans.

(\*\*) Pour cette catégorie, une analyse supplémentaire doit être réalisée par tranche supplémentaire de 25 000 m<sup>3</sup>/j du volume total.

A titre d'exemple, pour les unités de distribution alimentant en eau potable une population de plus de 50 000 habitants, ce contrôle est au moins mensuel, alors que pour celles alimentant moins de 50 habitants, ce contrôle doit être réalisé tous les 10 ans.

La fréquence des analyses peut être réduite pour les indicateurs de la qualité radiologique de l'eau lorsqu'une stabilité des valeurs est observée sur une période de temps significative appréciée par l'ARS. Toutefois, la fréquence appliquée ne doit pas être inférieure d'un facteur 4 à la fréquence prévue dans le Tableau 5.



Cette réduction ne peut pas être appliquée en cas de :

- présence, à proximité du captage, de sources radioactives artificielles ou naturelles susceptibles de modifier la qualité radiologique des eaux brutes ;
- mise en place de mesures correctives destinées à réduire la concentration en radionucléides.

Une fois la première analyse (ou analyse de référence) des indicateurs de la qualité radiologique de l'eau réalisée, le tritium peut être exclu de l'analyse pour les unités de distribution de moins de 500 habitants lorsque les eaux du robinet sont susceptibles de ne pas en contenir.

A contrario, en cas de dépassement des valeurs guides ou des références de qualité pour une substance ou de signes de dégradation de la qualité de l'eau, l'ARS peut, à son initiative ou à la demande du préfet, imposer au responsable de la distribution des analyses complémentaires (article R. 1321-17 du code de la santé publique).

Lorsqu'un dépassement des valeurs guides ou des références de qualité est constaté pour un indicateur de la qualité radiologique de l'eau, après confirmation du résultat d'analyse, un contrôle renforcé de la qualité des eaux au robinet est mis en œuvre. La fréquence de contrôle est adaptée à la situation (importance du dépassement, de l'unité de distribution, variations saisonnières, etc.).

#### 2.1.4 Gestion des risques sanitaires

La gestion des dépassements des valeurs guides ou des références de qualité par les ARS s'appuie sur les recommandations émises par l'ASN et annexées à la circulaire du 13 juin 2007 [I], [m].

La DTI est supposée inférieure ou égale à 0,1 mSv/an, lorsque les valeurs mesurées sont inférieures ou égales respectivement à 0,1 Bq/L en activité alpha globale et 1,0 Bq/L en activité bêta globale résiduelle. En cas de dépassement d'au moins une de ces valeurs, il est procédé à des analyses des radionucléides, afin d'identifier, de quantifier les radionucléides naturels<sup>16</sup> (dont les isotopes de l'uranium), puis artificiels<sup>17</sup> présents dans l'échantillon et d'en déduire la DTI (Figure 3).

Si l'activité en tritium dépasse 100 Bq/L, des analyses sont également réalisées pour l'identification et la quantification des mêmes radionucléides artificiels (Figure 3).

Lorsque le dépassement de la DTI est dû à des radionucléides naturels présents du fait des caractéristiques géologiques du sous-sol, une démarche prudente et pragmatique est suivie, qui consiste à prendre en compte le nombre de personnes concernées, les moyens disponibles pour réduire l'activité radiologique, les difficultés et les éventuels inconvénients liés à leur mise en œuvre (Figure 3 et Figure 4) :

- 1) Dans les cas où la DTI des eaux du robinet est comprise entre 0,1 mSv/an et 0,3 mSv/an, les actions destinées à corriger la qualité de l'eau ne sont pas nécessairement recommandées, sauf si des solutions simples de substitution telles que le raccordement à un autre réseau de distribution ou la dilution avec une autre ressource disponible existent et si leur faisabilité ne soulève pas de difficultés technico-économiques particulières.
- 2) Dans les cas où la DTI des eaux du robinet est comprise entre 0,3 mSv/an et 1 mSv/an, des solutions de réduction des expositions sont recherchées au cas par cas, en

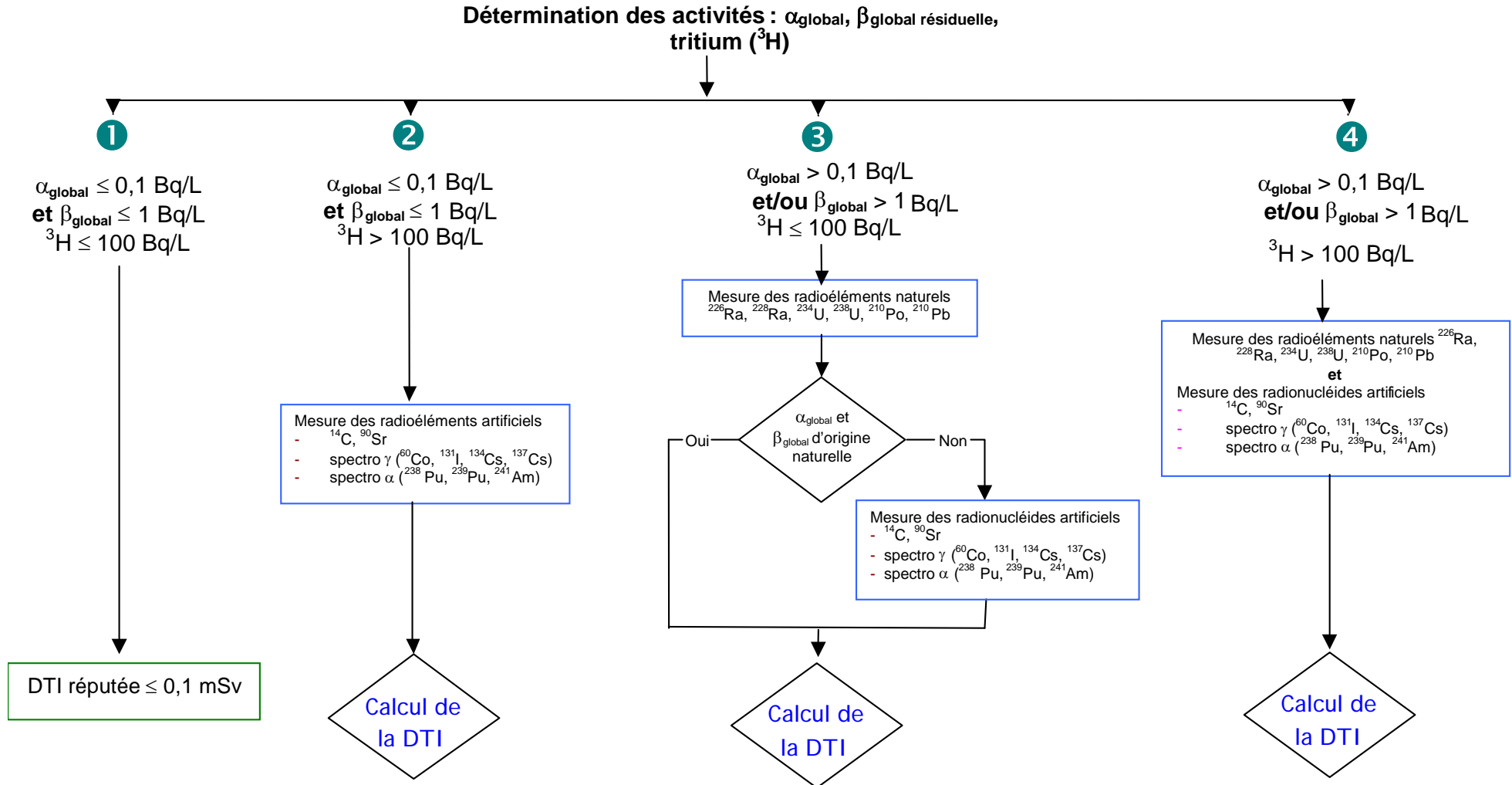
---

<sup>16</sup> Uranium 234, uranium 238, radium 226, radium 228, polonium 210 et plomb 210.

<sup>17</sup> Carbone 14, strontium 90, les radionucléides émetteurs de rayonnements gamma : cobalt 60, iode 131, césium 134 et césium 137, et les radionucléides émetteurs de rayonnements alpha : plutonium 238, plutonium 239, plutonium 240 et américium 241.

tenant cependant compte des moyens existant localement pour maîtriser le traitement de l'eau et l'élimination des boues issues du traitement. Par précaution, l'utilisation de ces eaux pour la boisson et la préparation des aliments est déconseillée pour les nourrissons, les enfants et les femmes enceintes.

3) Enfin, pour des eaux présentant une radioactivité naturelle telle que la DTI excède 1 mSv/an, des solutions visant à réduire l'exposition sont impérativement recherchées et mises en œuvre.



Source : Délibération de l'ASN n° 2007-DL-003 du 7 mars 2007 [m]

Figure 3 : Stratégie d'analyse de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine

DTI	RESTRICTIONS D'USAGE	ACTIONS CORRECTIVES	INFORMATION
	1 mSv-an <sup>-1</sup>	Eau déconseillée pour la boisson et la préparation des aliments de l'ensemble de la population si ne peut être corrigé	Impératives
0,3 mSv-an <sup>-1</sup>	Eau déconseillée pour la boisson et la préparation des nourrissons, enfants et femmes enceintes si ne peut être corrigé	En fonction des moyens locaux pour maîtriser le traitement de l'eau et l'élimination des boues	Radioactivité naturelle > référence de qualité et <b>actions correctives nécessaires</b>
0,1 mSv-an <sup>-1</sup> = référence de qualité	Non	Pas nécessairement	Pas d'actions correctives nécessaires
	Non	Non	Radioactivité naturelle < référence de qualité

**Figure 4 : Gestion des dépassements de la référence de qualité de la DTI, en l'absence de radionucléides artificiels, et information du public**

## 2.2. Eléments constitutifs ayant servi de base pour le présent rapport

### 2.2.1 Analyses des radionucléides naturels et artificiels

En cas de dépassement des valeurs guide de l'activité alpha globale et/ou de l'activité bêta globale résiduelle ou de la référence de qualité du tritium, il est procédé à des analyses de radionucléides (cf § 2.1.4), afin d'identifier et de quantifier les radionucléides naturels, puis éventuellement artificiels présents dans l'échantillon et de calculer la DTI.

Les mesures de radionucléides intégrées dans la base SISE-Eaux et celles réalisées par l'IRSN ont été exploitées dans le cadre de la réalisation du présent bilan.

### 2.2.2 Calcul complémentaire de la concentration pondérale de l'uranium

Afin de prendre en compte le risque lié à la toxicité chimique liée à l'uranium (ciblée principalement sur le tube digestif et les reins), l'OMS a déterminé une valeur guide provisoire pour l'eau destinée à la consommation humaine fixée à 15µg/L [h].

L'uranium ne faisant pas partie des paramètres réglementés, il n'est pas mesuré dans le cadre du contrôle sanitaire. Il est toutefois possible sur la base des activités des différents isotopes de l'uranium mesurées (uranium 234, uranium 235 et uranium 238 recherchés pour le calcul de la DTI), de calculer la masse d'uranium correspondante, sachant que la masse due à l'uranium 238 sera prépondérante dans le résultat final.

En effet, l'activité (A) issue d'un nombre d'atomes (N) est définie par une constante radioactive ( $\lambda$ ) caractéristique de chaque radionucléide selon la formule :  $A = \lambda \cdot N$

La masse m d'un composé X se définit comme :  $m = N_{\text{mol}} \cdot M_x = (N / N_A) \cdot M_x$

où  $m$  : masse d'un composé X

$N_{\text{mol}}$  : nombre de moles présentes

$M_x$  : masse molaire du composé X

$\mathcal{N}$  : nombre d'Avogadro (correspond au nombre d'atomes dans une mole),

$$\mathcal{N} = 6,02.10^{23}$$

On en déduit la masse en isotope d'uranium de la manière suivante :  $m = ((A / \lambda) / \mathcal{N}) \cdot M_x$

Les constantes radioactives des isotopes de l'uranium sont données dans le tableau 6.

**Tableau 6 : Constantes radioactives des isotopes de l'uranium**

	<sup>234</sup> U	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U
Période T (ans)	$2,46.10^5$	$4,47.10^9$	$7,04.10^8$
$\lambda$ (s <sup>-1</sup> )	$8,95.10^{-14}$	$4,92.10^{-18}$	$3,12.10^{-17}$

Par exemple, il est possible de calculer l'équivalence dans le tableau 7.

**Tableau 7 : Equivalences entre l'activité d'un isotope de l'uranium (Bq/L) et sa concentration massique (µg/L)**

	Uranium 234	Uranium 235	Uranium 238	U total
Bq/L	1	1	1	3
µg/L	0,00434	12,5	80,4	92,9

La valeur de la concentration massique de l'uranium ainsi calculée est comparée à la valeur guide provisoire déterminée par l'OMS.

### 2.3. Enquête sur la qualité radiologique des eaux au robinet des consommateurs en 2009 réalisée auprès des ARS

Afin d'évaluer, pour chaque consommateur, la part de l'exposition aux rayonnements ionisants liée à l'ingestion d'eau potable, il convient d'apprécier la valeur de la DTI au niveau de chaque UDI, au robinet des consommateurs.

La structure des réseaux d'eau potable est parfois complexe, certaines UDI pouvant être alimentées par plusieurs captages, par plusieurs unités de production, et/ou par d'autres UDI. Les analyses réalisées au niveau de la production ne sont donc pas toujours directement représentatives de la qualité de l'eau d'une UDI. Dans ce cas, la valeur de la DTI ne peut pas être estimée automatiquement pour chaque UDI à partir des seuls résultats des analyses intégrés dans la base de données SISE-Eaux d'alimentation.

Dans ce cas, pour apprécier la qualité radiologique des eaux distribuées en 2009 au robinet des consommateurs à travers la valeur de la DTI, il est donc apparu indispensable et nécessaire de solliciter l'expertise locale des ARS qui, en fonction de leur connaissance de la structure de la distribution d'eau ont déterminé la valeur de la DTI au niveau du robinet du consommateur.

Une enquête a donc été lancée par note de service n° DGS/EA4/2010/151 du 6 mai 2010 [o], demandant aux ARS d'évaluer la DTI au robinet des consommateurs. L'ensemble des informations a été transmis par les ARS à l'ARS de Basse-Normandie qui s'est chargée de la synthèse nationale.

## 2.4. Recensement des résultats liés à la présence de radon dans l'eau, engagé par l'IRSN et les ARS

### 2.4.1 Contexte réglementaire

Le radon est un radionucléide gazeux au comportement très différent des autres radionucléides que l'on peut mesurer dans l'eau. Dès que l'eau est en contact avec l'air, un phénomène de dégazage se produit, par exemple lors du soutirage de l'eau au robinet, dans les châteaux d'eau ou encore dans les installations de traitement au niveau des bassins d'aération. Du fait de sa forme gazeuse, la voie d'atteinte prépondérante est le système respiratoire plutôt que le système digestif.

Jusqu'en 2004, les textes réglementaires nationaux relatifs à la qualité radiologique des eaux<sup>18</sup> stipulaient que « *la détermination des activités portera notamment sur la mesure des activités volumiques alpha, bêta et gamma totales, la détermination des radioéléments naturels et artificiels* ». Dans la pratique, les analyses pratiquées sur les nouveaux captages portaient sur la mesure des activités alpha et bêta globales, du potassium 40 (pour calculer l'activité bêta globale résiduelle), du tritium, du radium 226, de l'uranium pondéral et du radon 222.

La transposition de la directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux d'alimentation en droit national a conduit, pour ce qui concerne la qualité radiologique des eaux, à la publication de l'arrêté du 12 mai 2004 [e] qui exclut le radon et ses descendants à vie courte du calcul de la DTI liée à l'ingestion d'eau.

Peu après la publication de cette directive, la Commission européenne a recommandé aux Etats membres (recommandation du 20 décembre 2001 concernant la protection de la population contre l'exposition au radon dans l'eau potable, JOUE du 28/12/2001), et en particulier dans le cadre d'une eau fournie au public :

- au-delà de 100 Bq/L, de fixer un niveau de référence pour le radon, utilisé pour déterminer si des mesures correctives sont nécessaires pour protéger la santé humaine et de mettre en œuvre des actions correctives au-delà de 1 000 Bq/L (mesures justifiées au plan de la protection radiologique),
- d'exiger des mesures de la concentration en radon s'il existe des motifs particuliers de soupçonner que le niveau de référence peut être dépassé,
- d'organiser le contrôle des deux descendants à vie longue du radon parmi les plus radiotoxiques, le plomb 210 et le polonium 210.

Le Ministère chargé de la santé (arrêté du 12 mai 2004) a pour partie repris cette dernière disposition en intégrant dans le calcul de la DTI, le plomb 210 et le polonium 210, radionucléides les plus radiotoxiques. Ces deux radionucléides sont donc régulièrement contrôlés et soumis à une référence de qualité au travers de celle fixée pour la DTI (0,1 mSv/an).

### 2.4.2 Bilan historique conduit par l'IRSN

L'ASN et la DGS ont souhaité effectuer un bilan historique des résultats des mesures de radon, et à ce titre ont sollicité l'IRSN.

Ainsi, l'IRSN a dressé le bilan des mesures de radon 222 obtenus à partir des analyses de première adduction des captages, réalisées entre 1973 et 2003 [n].

---

<sup>18</sup> Arrêté du 7 septembre 1967 ; circulaire du 8 septembre 1967 modifiant la circulaire du 15 mars 1962, arrêté du 22 mai 1973

Après 2004, les laboratoires de l'IRSN ont mis en œuvre la stratégie d'analyse réglementaire décrite précédemment (paragraphe 2.1.3) : la mesure de radon 222 n'étant plus préconisée, celle-ci n'a pas été entreprise, sauf dans le cas d'études particulières.

#### 2.4.3 Enquête auprès des ARS

L'enquête lancée par note de service n° DGS/EA4/2010/151 du 6 mai 2010 [o] auprès des ARS demandait que soient transmis à l'ARS Basse-Normandie et à l'ASN, les résultats d'analyses de radon dans les eaux brutes et les eaux traitées.

### 3. Résultats

#### 3.1. Résultats du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux

##### 3.1.1 Prélèvements et les mesures

###### 3.1.1.1. Nombre de prélèvements et de mesures réalisés en 2008 et 2009

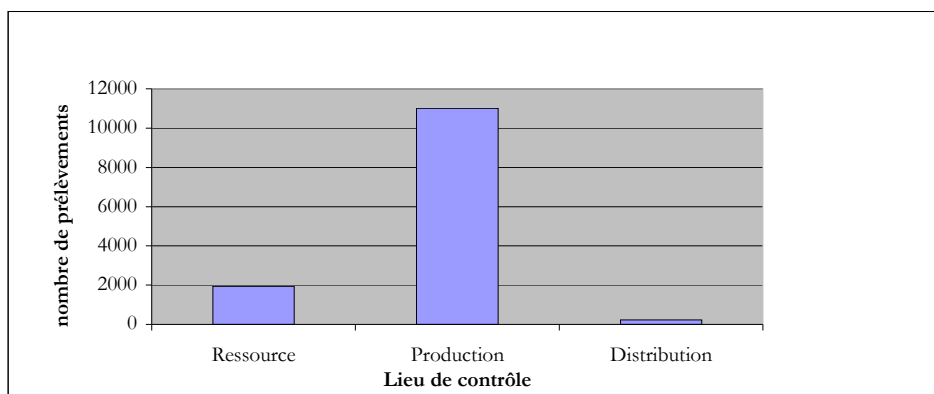
Dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique de l'eau, 11 864 prélèvements ont été réalisés en 2008 et 13 177 en 2009, chacun donnant lieu à trois mesures (activité alpha globale, activité bêta globale, tritium). Au total, entre 2008 et 2009, environ 25 000 mesures pour chaque indicateurs de la qualité radiologique des eaux ont été réalisés (Tableau 8). Au total, 72 300 mesures ont été réalisées sur la période 2008-2009.

**Tableau 8 : Nombre de mesures réalisés et d'installations contrôlées entre 2008 et 2009 dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux**

	Nombre de mesures		
	2008	2009	2008-2009
Activité alpha globale	11 744	13 021	24 765
Activité bêta globale	11 614	13 019	24 633
Activité Tritium	10 788	12 107	22 895
Total	34 146	38 147	72 293

Source : Ministère chargé de la santé – ARS – SISE-Eaux d'alimentation

La majorité des prélèvements (88,6 %) pour analyse des indicateurs de la qualité radiologique des eaux a été réalisée en production, c'est-à-dire juste après la station de traitement. Les autres prélèvements ont principalement été réalisés au niveau de la ressource (10,2 %), c'est-à-dire sur l'eau brute avant la station de traitement, et en distribution (1,2%), c'est-à-dire au robinet du consommateur (Figure 5 et Tableau 9).



Source : Ministère chargé de la santé – ARS – SISE-Eaux d'alimentation

**Figure 5 : Répartition des prélèvements selon le lieu de contrôle – Données 2008-2009**



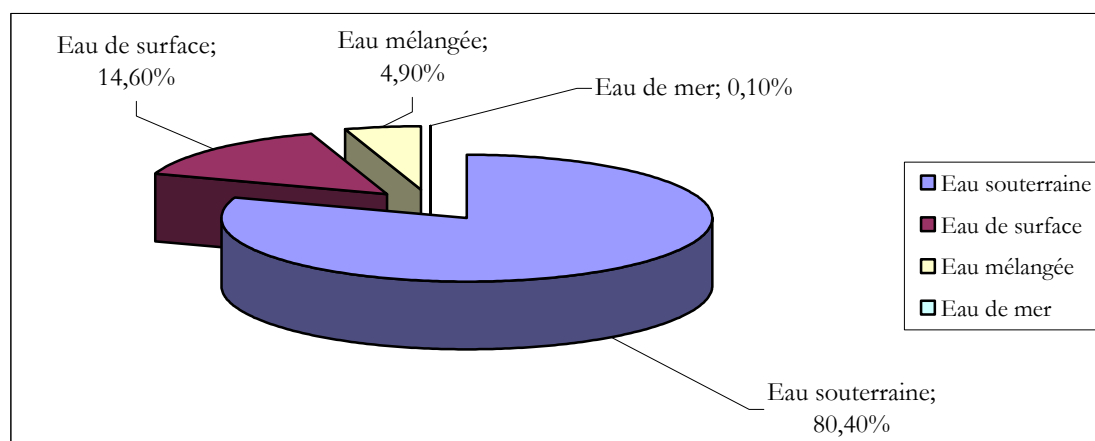
**Tableau 9 : Nombre de prélèvements en fonction du lieu de prélèvement dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux – Données 2008-2009**

	Lieux de prélèvement						Total	
	Ressource		Production		Distribution			
	en nombre	en %	en nombre	en %	en nombre	en %	en nombre	en %
Prélèvements	2 566	10,2	22 181	88,6	294	1,2	25 041	100,0 %

Source : Ministère chargé de la santé – ARS – SISE-Eaux d'alimentation

### 3.1.1.2. Répartition des prélèvements selon l'origine de l'eau

Près de 80 % des prélèvements sont réalisés sur des eaux d'origine souterraine et 15 % sur des eaux d'origine superficielle. Moins de 5 % des prélèvements concernent des eaux mélangées (eaux souterraines et eaux superficielles) et quelques rares prélèvements sont réalisés sur de l'eau de mer destinée à la production d'eau potable (Figure 6 et Tableau 10).



Source : Ministère chargé de la santé – ARS – SISE-Eaux d'alimentation

**Figure 6 : Répartition des prélèvements selon l'origine de l'eau – Données 2008-2009**

Bien que les prises d'eau superficielle représentent moins de 5 % du nombre total de captages, un peu plus de 17 % des prélèvements sont réalisés sur des eaux du robinet d'origine superficielle. La fréquence du contrôle est plus élevée pour les ressources superficielles que souterraines, les débits et la taille des populations desservies étant généralement plus importants.

**Tableau 10 : Nombre de mesures réalisés entre 2008 et 2009 dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux en fonction de l'origine de l'eau**

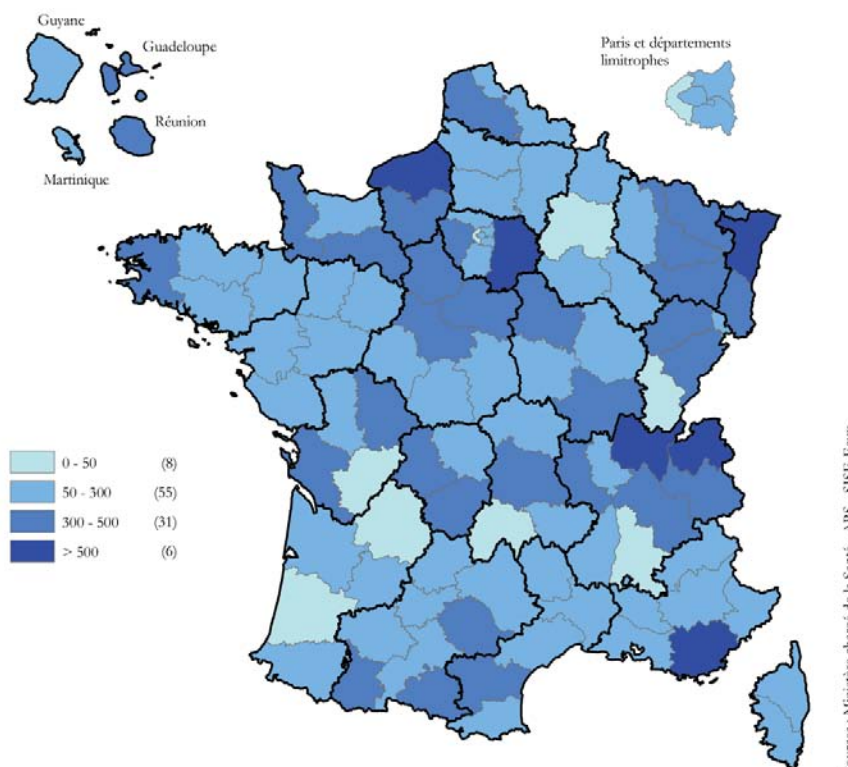
	Nombre de mesures			
	Eau souterraine	Eau de surface	Eau mélangée	Eau de mer
Activité alpha globale	19 882	3 641	1210	28
Activité bêta globale	19 774	3 623	1206	26
Activité tritium	18 402	3 293	1189	7

Source : Ministère chargé de la santé – ARS – SISE-Eaux d'alimentation

### 3.1.1.3. Répartition géographique des prélèvements et des mesures

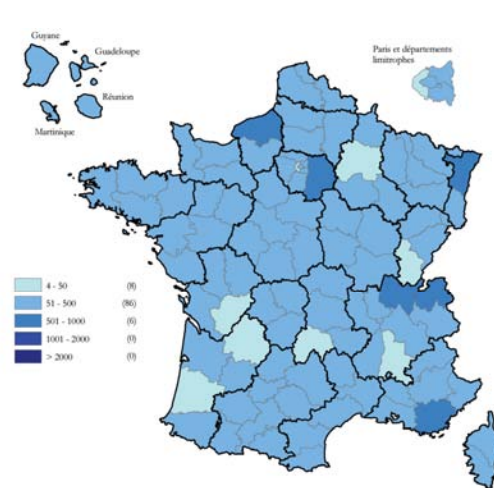
Dans huit départements (15, 16, 24, 26, 39, 40, 51, 92), le nombre de prélèvements réalisés et intégrés dans la base SISE-Eaux d'alimentation au cours de la période 2008 - 2009 est inférieur à 50. Dans six départements (01, 67, 74, 77, 76, 83), le nombre de prélèvements réalisés et intégrés dans la base SISE-Eaux d'alimentation au cours de la même période est supérieur à 500.

En moyenne, 119 prélèvements par département ont été réalisés en 2008 et 133 en 2009.

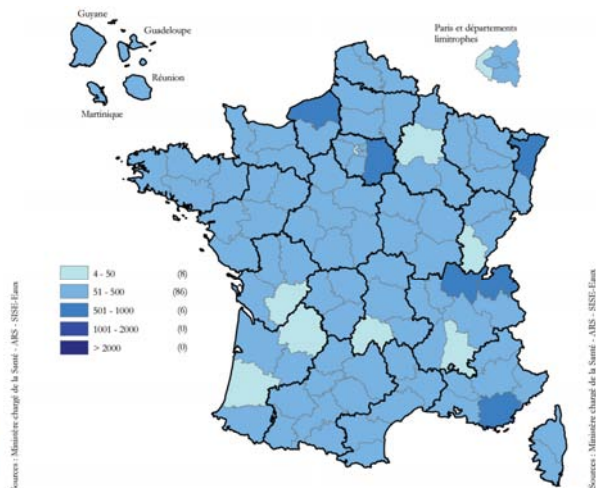


**Carte 1 : Nombre de prélèvements réalisés dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux – données 2008-2009**

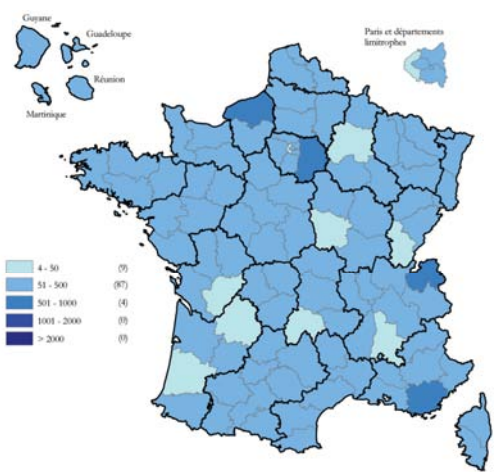
Le nombre de mesures pour le contrôle des activités alpha globale, bêta globale, tritium, et le nombre de DTI renseignées par département sur la période 2008-2009 est illustré ci-dessous (Carte 2).



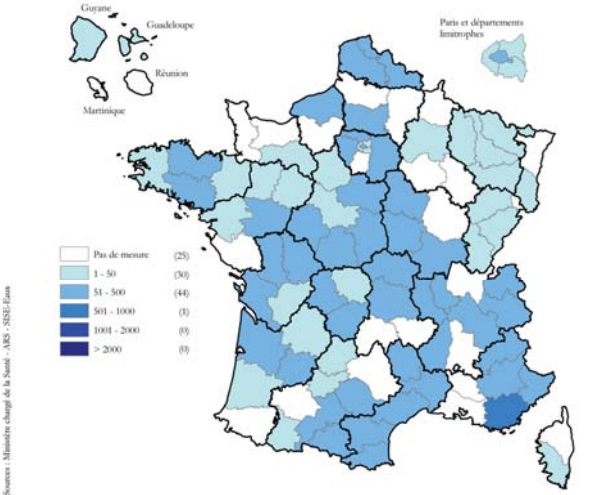
**Nombre de mesures pour le contrôle de la radioactivité dans les eaux**  
Données SISE-EAUX 2008-2009 - ACTIVITE ALPHA



**Nombre de mesures pour le contrôle de la radioactivité dans les eaux**  
Données SISE-EAUX 2008-2009 - ACTIVITE BETA



**Nombre de mesures pour le contrôle de la radioactivité dans les eaux**  
Données SISE-EAUX 2008-2009 - TRITIUM



**Nombre de mesures renseignées pour le contrôle de la radioactivité dans les eaux**  
Données SISE-EAUX 2008-2009 - DTI

**Carte 2 : Nombre de mesures des activités alpha globale, bêta globale, tritium réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux et nombre de DTI renseignées dans la base SISE-Eaux - Données 2008-2009**

### 3.1.2 Résultats d'analyses du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux

#### 3.1.2.1 Description des résultats

Les résultats du contrôle sanitaire réalisé majoritairement au niveau de la production entre 2008 et 2009 sont présentés dans le Tableau 11 ci-après.

**Tableau 11 : Résultats du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux entre 2008 et 2009**

		2008		2009		Total (2008-2009)				
		Nombre de résultats	Dépassements des valeurs guides ou références de qualité		Nombre de résultats	Dépassements des valeurs guides ou références de qualité				
			Nb	%		Nb	%			
Activité alpha globale		11 744	525	4,47	13 021	657	5,04	24 765	1 182	4,8
Activité bêta globale résiduelle		11 614	12	0,10	13 019	18	0,14	24 633	30	0,1
Activité tritium		10 788	0	0	12 107	0	0	22 895	0	0
DTI (mSv/an)	0,1 < DTI ≤ 0,3	4 579	43	0,94	6 437	34	0,53	11 016	77	0,70
	0,3 < DTI		2	0,04		6	0,09		8	0,07
Total		38 725			44 584			83 309		

Source : Ministère chargé de la santé – ARS – SISE-Eaux d'alimentation

Les observations suivantes, portant sur la période 2008-2009, peuvent être faites à partir de ces résultats :

- aucun dépassement de la référence de qualité en tritium (considéré comme un indicateur de contamination d'origine anthropique) n'a été observé ;
- plus de 95 % des échantillons prélevés ont présenté une activité alpha globale inférieure ou égale à la valeur guide (4,8 % des échantillons ont présenté une activité alpha globale supérieure à 0,1 Bq/L) ;
- 99,9 % des échantillons prélevés ont présenté une activité bêta globale résiduelle inférieure ou égale à la valeur guide (0,1 % des échantillons ont présenté une activité bêta globale supérieure à 1 Bq/L) ;
- un peu plus de 99,2% des échantillons pour lesquels l'activité alpha et/ou l'activité bêta globale résiduelle était supérieure à la valeur guide et pour lesquels la DTI a été calculée ont présenté une DTI inférieure ou égale à la référence de qualité (0,70 % des échantillons ont présenté une DTI comprise entre 0,1 mSv/an et 0,3 mSv/an et 0,07 % des échantillons ont présenté une DTI supérieure à 0,3 mSv/an).

### ***3.1.2.2. Influence de l'origine des eaux sur leur qualité radiologique***

Dans les eaux d'origine souterraine, les dépassements des valeurs des indicateurs de la qualité radiologique sont un peu plus fréquents pour l'activité alpha globale (5,32 %, soit 1 058 dépassements) et la DTI (16,10 %, soit 76 dépassements) que dans les eaux d'origine superficielle (respectivement 0,84 % et 0 % de dépassements, soit 71 et 0 dépassements) (Tableau 12).

Cette différence s'explique vraisemblablement par le fait que les ressources en eau d'origine souterraine traversent des terrains (roches plutoniques ou métamorphiques profondes) contenant généralement plus de radionucléides naturels que les ressources en eau d'origine superficielle (qui sont en contact essentiellement avec des roches sédimentaires).

Le nombre de dépassements de l'activité bêta globale résiduelle sont aussi peu fréquents dans les eaux d'origine souterraine (0,04 %, soit 17 dépassements) que dans les eaux d'origine superficielle (0,12 %, soit 11 dépassements).

**Tableau 12 : Répartition du nombre d'analyses inférieures ou supérieures aux indicateurs de la qualité radiologique de l'eau selon l'origine de l'eau – Données 2008-2009**

	Eau souterraine	Eau de surface
Activité alpha globale	<p>5,32% 94,68%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ activité alpha globale &lt; 0,1 Bq/L.</li> <li>■ activité alpha globale &gt; 0,1 Bq/L.</li> </ul>	<p>0,84% 98,16%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ activité alpha globale &lt; 0,1 Bq/L.</li> <li>■ activité alpha globale &gt; 0,1 Bq/L.</li> </ul>
Activité bêta globale résiduelle	<p>0,04% 99,96%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ activité bêta globale résiduelle &lt; 1 Bq/L.</li> <li>■ activité bêta globale résiduelle &gt; 1 Bq/L.</li> </ul>	<p>0,12% 98,88%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ activité bêta globale résiduelle &lt; 1 Bq/L.</li> <li>■ activité bêta globale résiduelle &gt; 1 Bq/L.</li> </ul>
DTI	<p>16,10% 83,90%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ DTI &lt; 0,1 mSv</li> <li>■ DTI &gt; 0,1 mSv</li> </ul>	<p>0,00% 100,00%</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ DTI &lt; 0,1 mSv</li> <li>■ DTI &gt; 0,1 mSv</li> </ul>

*Source : Ministère chargé de la santé – ARS – SISE-Eaux d'alimentation*

### 3.2. Résultats de l'enquête réalisée auprès des ARS sur la qualité de l'eau au robinet des consommateurs en 2009

Les paragraphes ci-dessous concernent uniquement l'année 2009 (l'année 2008 n'est pas concernée).

#### 3.2.1 Pourcentage de la population pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a pu être évaluée

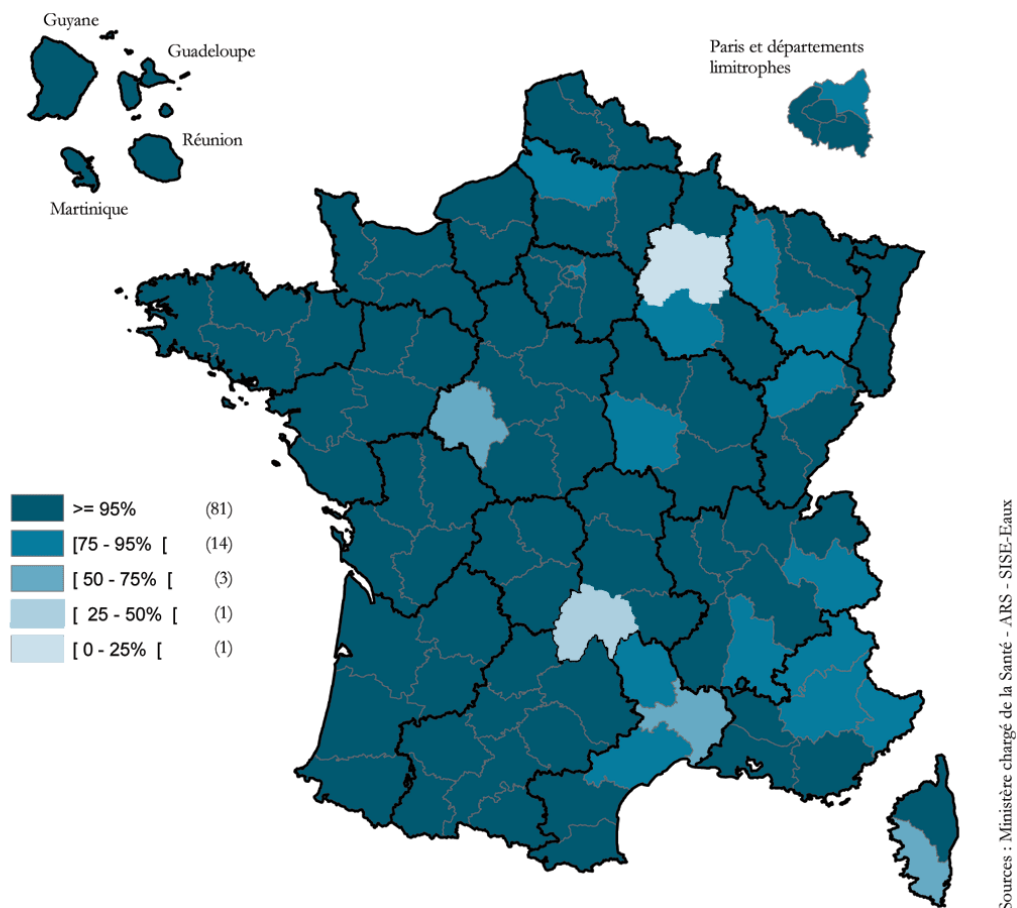
Suite à l'enquête conduite auprès des ARS, des informations sur la qualité radiologique (DTI) des eaux au robinet du consommateur ont été obtenues à l'échelon national, pour 20 214 UDI sur 25 495 (soit environ 80 % des UDI) alimentant près de 60,6 millions d'habitants desservis par le réseau de distribution (soit 96,56 % de la population desservie par un réseau de distribution publique) en 2009 (Tableau 13). Des informations sur la qualité radiologique des eaux du robinet sont disponibles pour tous les départements.

**Tableau 13 : DTI moyenne dans les eaux au robinet du consommateur - Données 2009**

DTI moyenne (en mSv/an)	Unité de distribution (UDI)		Population alimentée		Population moyenne par UDI
	en nombre	en %	en habitants	en %	en habitants
DTI ≤ 0,1	20 117	99,5%	60 527 747	99,83%	3 009
0,1 < DTI ≤ 0,3	94	0,5%	101 140	0,17%	1 076
0,3 < DTI	3	0,0%	1 327	0,00%	442
Données non disponibles	5 281	20,70%	2 158 145	3,44%	409

*Source : Ministère chargé de la santé – ARS – SISE-Eaux d'alimentation*

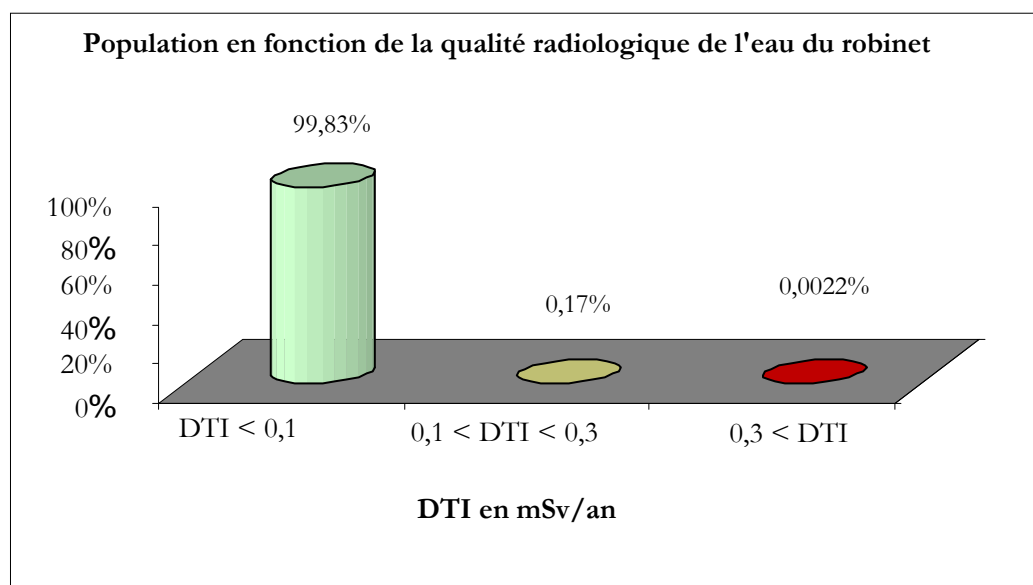
Dans 81 départements, le pourcentage de la population pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a été évaluée est supérieur ou égal à 95 %. Dans 2 départements seulement, ce pourcentage est inférieur à 50 % .



Carte 3 : Pourcentage de la population pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a été évaluée – Année 2009



La Figure 7 ci-dessous illustre la répartition de la population en fonction de la qualité radiologique de l'eau. Les deux paragraphes suivants (3.2.2 et 3.2.3) décrivent plus précisément les situations minoritaires où la DTI moyenne est respectivement supérieure à 0,1 mSv et 0,3 mSv.



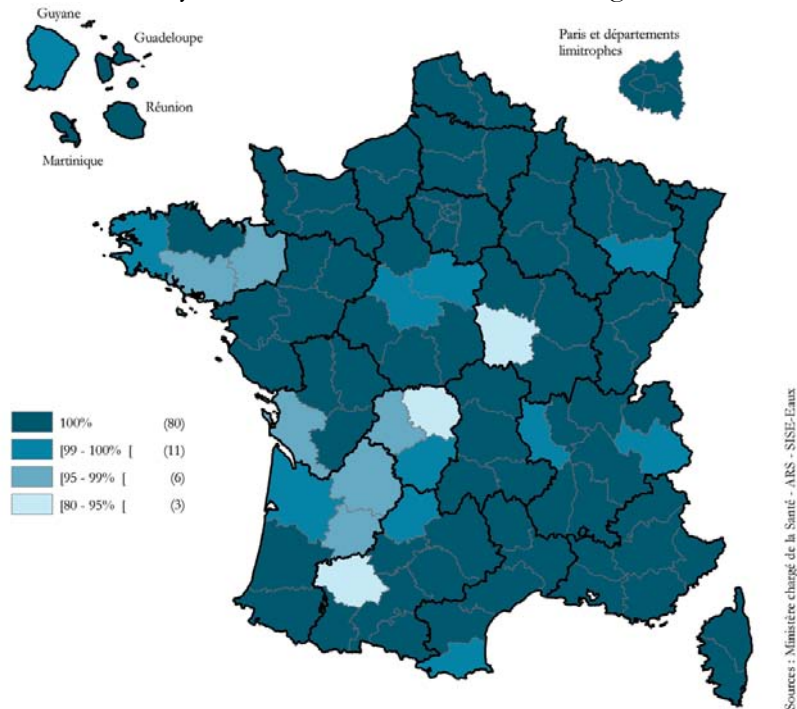
*Source : Ministère chargé de la santé – ARS – SISE-Eaux d'alimentation*

**Figure 7 : Répartition de la population en fonction de la qualité radiologique de l'eau au robinet – Données 2009**

### 3.2.2 Situations où DTI moyenne $\leq 0,1$ mSv/an

Les situations pour lesquelles la DTI moyenne calculée sur l'année 2009 a été inférieure ou égale à  $0,1$  mSv/an ont concerné 20 117 UDI, soit 60,5 millions de personnes.

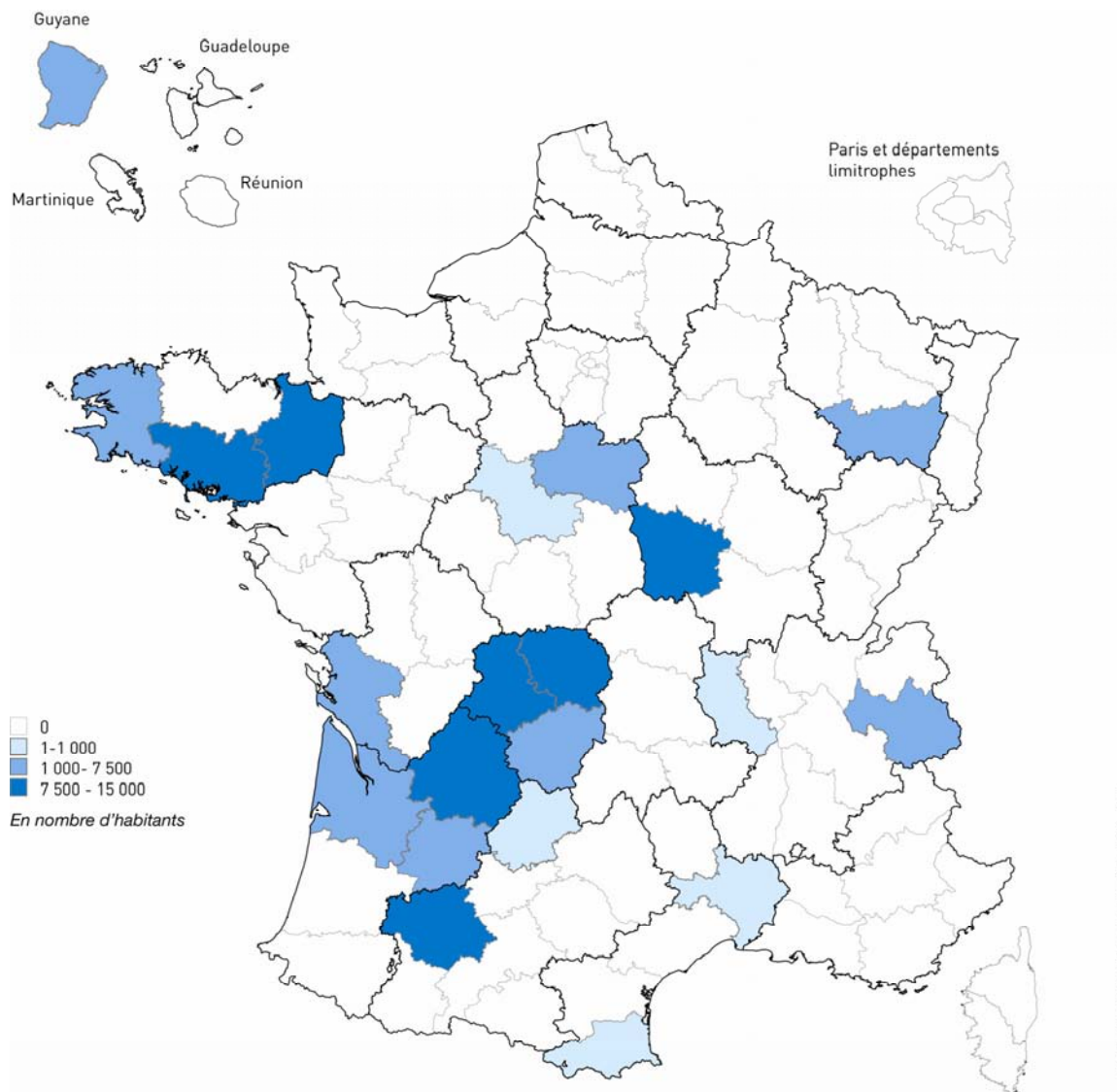
Dans 80 départements, la totalité de la population est desservie par une eau conforme. Dans 97 départements, plus de 95 % de la population pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a été évaluée, a été alimentée par une eau dont la DTI moyenne annuelle était inférieure ou égale à  $0,1$  mSv/an. Dans 3 départements seulement, 80 à 95 % de la population a été alimentée par une eau dont la valeur de la DTI moyenne annuelle était inférieure ou égale à  $0,1$  mSv/an. (Carte 4):



**Carte 4 : Pourcentage de la population desservie pour une eau pour laquelle DTI moyenne  $\leq 0,1$  mSv/an - Année 2009**

### 3.2.3 Situations où DTI moyenne > 0,1 mSv/an

Au vu des résultats de l'enquête réalisée, les dépassements de la référence de qualité de la DTI moyenne ont concerné 97 UDI en 2009, soit 102 467 personnes réparties dans 21 départements (Carte 5).



**Carte 5 : Population ayant été alimentée par de l'eau pour laquelle DTI moyenne > 0,1 mSv/an – Année 2009**

#### **3.2.3.1. Situations ne nécessitant pas de restriction des usages alimentaires de l'eau**

Parmi les 102 467 personnes approvisionnées avec une eau dont la DTI moyenne a dépassé la référence de qualité en 2009, 101 140 d'entre l'ont été par une eau dont la DTI moyenne était inférieure ou égale à 0,3 mSv/an et n'ont donc pas été concernées par des restrictions d'usage de l'eau du robinet. Cette situation a concerné 94 UDI réparties dans 21 départements français.

### ***3.2.3.2. Situations pour lesquelles des solutions de réduction des expositions devraient, en cas de confirmation, être recherchées au cas par cas***

Parmi les 102 467 personnes alimentées par une eau dont la DTI moyenne a dépassé la référence de qualité en 2009, 1 327 l'ont été par une eau dont la DTI moyenne était strictement supérieure à 0,3 mSv/an. Cette situation a concerné 3 UDI de faible taille (640 habitants en moyenne) situées dans 3 départements : la Guyane, la Haute-Vienne et la Loire. Certaines de ces situations avaient été repérées en 2008.

#### **Guyane**

La Direction de la Santé et du Développement Social ((DSDS, désormais ARS) de Guyane a mis en évidence en 2008 dans l'eau de consommation d'une UDI desservant environ 1700 habitants, une radioactivité d'origine naturelle, supérieure aux valeurs guides pour les paramètres indicateurs de la qualité radiologique (DTI évaluée à 0,46 mSv/an). Le radium 226, le radium 228 et le thorium 228 sont à l'origine de ces valeurs élevées. La consommation d'eau et son utilisation pour la préparation des aliments ont été déconseillées pour les nourrissons, les enfants et les femmes enceintes. Des mesures de substitution ont été mises en œuvre : en 2008, une distribution d'eau embouteillée et depuis 2009 une alimentation en eau pour ces usages à partir de citernes remplies quotidiennement et dont la qualité de l'eau est suivie par la DSDS.

Parallèlement, l'ASN, la Direction générale de l'alimentation<sup>19</sup> et la DGS ont saisi l'IRSN pour mener une évaluation de l'impact dosimétrique des différents usages de l'eau (eau de boisson, préparation des aliments, irrigation de légumes, baignade, alimentation du bétail). Cette évaluation a conduit à maintenir pour les populations concernées les restrictions de consommation ; aucune autre recommandation vis-à-vis des autres usages n'a été faite.

Une solution pérenne d'alimentation de substitution est actuellement en cours de réalisation pour être opérationnelle en mars 2011.

#### **Loire**

Dans le département de la Loire, une UDI desservant 105 habitants a présenté en 2009 une DTI moyenne annuelle de 0,38 mSv (moyenne calculée sur 3 analyses). L'activité du polonium 210 est responsable du dépassement de la DTI. Le contrôle sanitaire de la qualité radiologique met en évidence une augmentation de l'activité du polonium 210 depuis 2007, ce qui est à l'origine de l'augmentation de la valeur de la DTI jusqu'à des valeurs supérieures à 0,3 mSv/an.

Une information du public est réalisée par la commune engageant à des restrictions d'usage de l'eau pour les nourrissons, les enfants et les femmes enceintes.

En janvier 2010, la collectivité a engagé une étude visant à mieux comprendre l'origine de l'augmentation de l'activité du polonium 210.

#### **Haute-Vienne**

Dans le département de la Haute-Vienne, une UDI desservant 120 habitants a présenté une DTI moyenne de 0,35 mSv/an pour la période 2006-2009 (sur la base de trois résultats). Les résultats d'analyse semblent fluctuer entre 0,686 mSv/an (valeur maximale en 2009) et 0,217 mSv/an (valeur de 2010). L'activité du plomb 210 principalement, et du polonium 210, sont responsables du dépassement de la DTI. L'information du public est assurée par l'ARS via les bulletins d'analyses.

---

<sup>19</sup> Rattachée au Ministère chargé de l'agriculture et de l'alimentation

Devant ces variations importantes de la DTI sans évolution temporelle cohérente (augmentation ou diminution continue), dues quasi-exclusivement aux variations des activités en plomb 210 et polonium 210, il a été décidé de procéder à un prélèvement mensuel pour le calcul de la DTI, afin de disposer d'une valeur moyenne plus représentative.

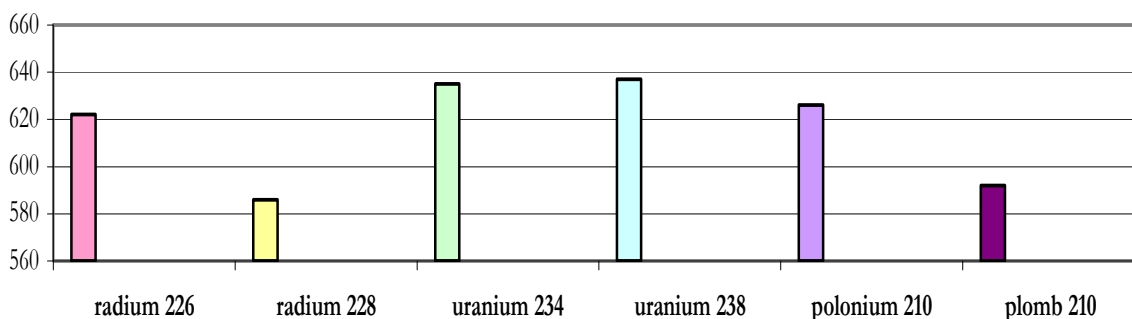
Ces situations (Guyane, Loire, Haute Vienne) où la DTI est supérieure à 0,3 mSv/an s'expliquent par la présence de radionucléides d'origine naturelle (plomb 210, polonium 210 et radium 228).

### 3.3. Résultats des analyses des radionucléides

#### 3.3.1 Mesure de l'ensemble des radionucléides d'origine naturelle ou d'origine artificielle

Les radionucléides d'origine naturelle ou artificielle sont recherchés en cas de dépassement des indicateurs de qualité. La stratégie d'analyse décrite plus haut doit conduire à réaliser (sauf exception) un même nombre d'analyses pour, d'une part, la série des 6 radionucléides d'origine naturelle et la série des 9 radionucléides d'origine artificielle d'autre part. Les Figure 8 et 9 ci-dessous présentent le nombre d'échantillons pour lesquels les analyses des radionucléides naturels et des radionucléides artificiels ont été engagées.

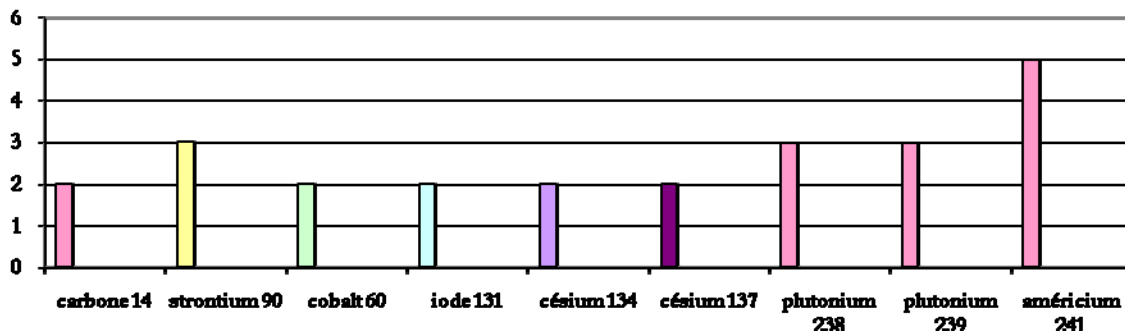
**Figure 8 : Nombre d'échantillons dans lesquels ont été mesurés les 6 radionucléides naturels prévues par la stratégie d'analyse de la qualité radiologique des eaux mises en distribution – Données 2008-2009**



*Source des données : Ministère chargé de la Santé – ARS- SISE-Eaux d'alimentation*

Pour ces radionucléides d'origine naturelle, il apparaît un déficit d'analyses pour le radium 228 et le plomb 210. L'IRSN dresse le même constat, sur la base des analyses qu'il réalise. Or, l'analyse de ces deux radionucléides se distingue des autres par les grands volumes d'eau qu'elle nécessite de prélever. Une explication pourrait être liée à de mauvaises pratiques des laboratoires qui assurent le prélèvement. Ce déficit d'analyses est susceptible de conduire à des sous-estimations de certaines DTI, puisque les mesures de l'activité de deux radionucléides (plomb 210 et radium 228) ne peuvent être intégrées au calcul de la DTI.

**Figure 9 : Nombre d'échantillons dans lesquels ont été mesurés les 9 radionucléides artificiels prévues par la stratégie d'analyse de la qualité radiologique des eaux mises en distribution – Données 2008-2009**



*Source des données : Ministère chargé de la Santé – ARS- SISE-Eaux d'alimentation*

La recherche de radionucléides artificiels concerne deux départements ; elle a été mise en œuvre pour les raisons suivantes :

- surveillance renforcée sur trois points de contrôle sur la Loire en aval du Centre National de Production d'Electricité (CNPE) de Chinon, conformément aux dispositions de l'arrêté du 17 août 2005 d'autorisation de ce même CNPE,
- recherche du strontium spécifiquement à l'initiative du laboratoire d'analyses agréé, après le constat du déséquilibre de la balance ionique de certains résultats d'analyses.

Cette recherche de radionucléides artificiels n'est pas liée au dépassement des valeurs guides ou références de qualité d'un indicateur de la qualité radiologique (activité alpha globale, activité bêta globale résiduelle, tritium).

### 3.3.2 Principaux radionucléides mesurés en cas de situation de dépassement d'un indicateur de la qualité radiologique des eaux du robinet

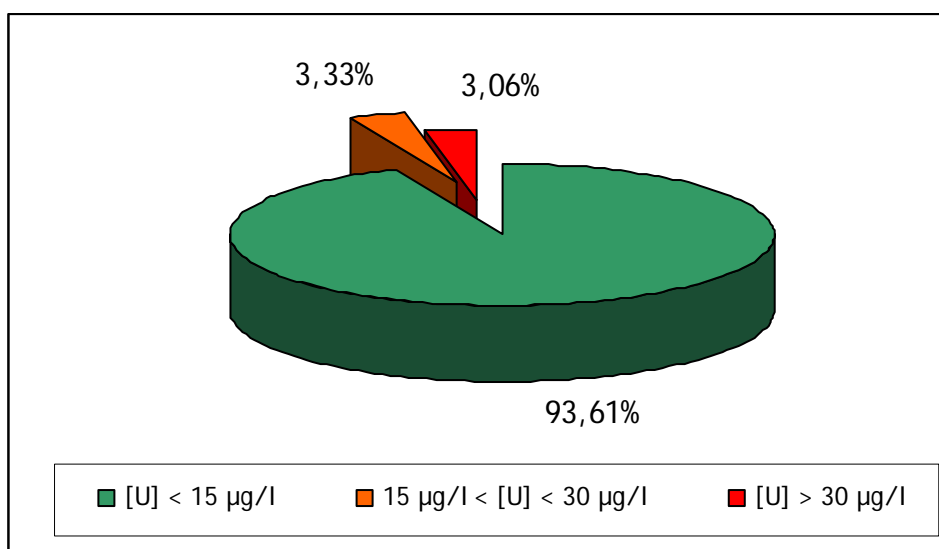
Les analyses de radionucléides réalisées par l'IRSN en 2008 et 2009 [p] lorsque la mesure de l'activité alpha globale est supérieure 0,1 Bq/L ont permis d'observer que :

- le radium 226 et les isotopes de l'uranium (234 et 238) sont les principaux contributeurs à une activité alpha globale supérieure à 0,1 Bq/L ;
- le plomb 210 est présent à des activités importantes dans certains échantillons et parfois sans autre radionucléide d'activité significative dans certaines zones géographiques ;
- il est fréquent de mettre en évidence un déséquilibre entre les activités mesurées pour les isotopes 234 et 238 de l'uranium ;
- très peu de prélèvements présentent une activité significative en polonium 210.

Dans ce contexte, l'IRSN n'a réalisé aucune mesure d'activité de radionucléides d'origine artificielle. En effet, aucune activité supérieure à 100 Bq/L en tritium n'a été mise en évidence et le bilan des activités mesurées en radionucléides naturels a permis dans tous les cas d'expliquer les dépassements de la valeur guide pour l'activité alpha globale.

### 3.3.3 Résultats pour l'uranium

A partir des mesures d'activités réalisées par l'IRSN en 2008 et 2009 sur chaque échantillon présentant un dépassement de la valeur guide pour l'activité alpha globale et/ou bêta globale résiduelle (360 échantillons), la concentration en uranium pondéral des échantillons a été calculée à partir des formules présentées précédemment (cf § 2.2.2). Les valeurs se situent dans une fourchette allant de 0,14 à 114 µg/L. La valeur moyenne obtenue est de 2,22 µg/L. Vingt-trois résultats dépassent la valeur guide provisoire de l'OMS (15 µg/L), soit 6,39 % des échantillons ayant fait l'objet d'une analyse d'uranium en vue d'un calcul de DTI.



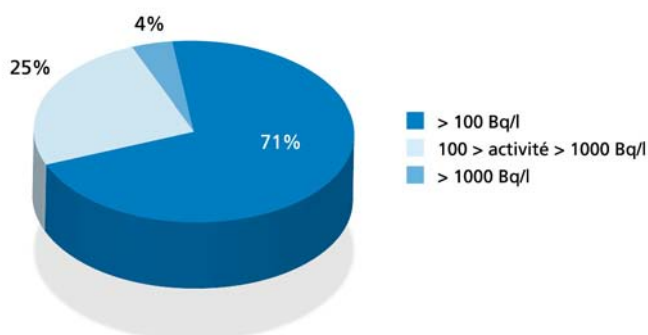
**Figure 10 : Répartition des concentrations en uranium pondéral mesurées par l'IRSN présentant une activité alpha globale supérieure à 0,1 Bq/L dans un panel de 360 échantillons d'eau mise en distribution entre 2008 et 2009**

### 3.4. Résultats des investigations conduites pour estimer la présence de radon dans l'eau

Le bilan historique 1977-2003 réalisé par l'IRSN en 2010 a porté notamment sur 603 valeurs significatives de mesures de radon 222 dans des ressources en eau utilisées pour la production d'eau du robinet (parmi 2 000 valeurs recensées). La répartition des valeurs d'activité significatives en radon 222 montre que 4% des mesures de radon dans l'eau des ressources dépassent la valeur de 1 000 Bq/L. Elles se situent en majorité dans des départements prioritaires pour procéder à des mesures d'activité volumique de radon dans les bâtiments (arrêté du 22 juillet 2004 relatif à la gestion du risque radon dans les lieux ouverts au public).

La Figure 11 présente la répartition des valeurs d'activités significatives en radon 222 mesurées par l'IRSN entre 1977 et 2003 dans les ressources en eau utilisées pour la production d'eau du robinet.

**Répartition des valeurs d'activités significatives en radon 222  
mesurées par l'IRSN dans les eaux des captages utilisés  
pour la production d'eau du robinet - Bilan historique 1977-2003**



**Figure 11 : Répartition des valeurs d'activité significatives en radon 222 mesurées par l'IRSN dans les ressources en eau utilisées pour la production d'eau du robinet – Bilan historique entre 1977 et 2003**

A la suite du recensement effectué par la DGS en 2010, seules les délégations territoriales (DT) de Corrèze et de la Haute-Vienne de l'ARS Limousin ont transmis des résultats portant sur des analyses effectuées entre 2008 et 2009.

**En Corrèze**, une étude a été conduite en 2009 sur l'eau de 16 unités de distribution. Les points de prélèvement sont les captages, les réservoirs et le robinet du consommateur. Parmi les 24 captages analysés, 9 ont montré des valeurs supérieures à 1 000 Bq/L. Toutefois, pour ces UDI, une seule valeur a été mesurée à plus de 1 000 Bq/L au robinet du consommateur. Le Tableau 14 présente une synthèse de ces résultats.

**Tableau 14 : Résultats de la campagne de prélèvements de radon en Corrèze –  
Données 2009**

Activité en radon	Nombre d'analyses			
	< 100 Bq/L	< 100 Bq/L et < 1000 Bq/L	> 1000 Bq/L	Total
Captage	0	15	9	24
Réseau de distribution	0	6	2	8
Robinet du consommateur (UDI)	2	13	1	16

*Source : ARS Limousin – DT Corrèze*



Faisant suite à ces résultats, la DT de Corrèze de l'ARS Limousin a engagé un plan d'actions vis-à-vis des Personnes Responsables de la Production et de la Distribution d'Eau (PRPDE) concernées. Les actions demandées à chacune des PRPDE, modulables selon la qualité radiologique de l'eau, sont notifiées par un courrier qui précise notamment la mise en place d'un suivi renforcé sur la DTI, et les résultats des mesures de radon assortis d'une préconisation de réalisation d'une étude technique pour la mise en place d'un dégazage.

**En Haute-Vienne**, une étude a été conduite en partenariat entre l'ASN, la DT de Haute-Vienne de l'ARS Limousin et le laboratoire Pe@rl, en 2008. Cette étude a permis d'estimer (par interprétation de spectres d'analyses obtenus lors de la réalisation d'analyses du contrôle sanitaire ; méthode non normalisée) la teneur en radon à partir de 20 points de mesure sélectionnés par la DT de Haute-Vienne de l'ARS Limousin. Ces 20 points ont été sélectionnés sur la base de dépassements des valeurs guides pour les paramètres indicateurs de la radioactivité : ils ne sont pas représentatifs de l'ensemble du département mais d'une situation la plus défavorable. Les prélèvements et analyses ont été réalisés principalement au niveau des captages et des réservoirs (réseaux de distribution). Le Tableau 15 présente une synthèse de ces résultats.

**Tableau 15 : Résultats de la campagne de prélèvements de radon en Haute-Vienne – Données 2008**

Activité en radon	< 100 Bq/L	< 100 Bq/L et < 1000 Bq/L	> 1000 Bq/L	Nb total d'analyses
Captage	0	8	4	12
Réseau de distribution	1	5	1	7
Robinet du consommateur	0	1	0	1

*Source : ARS Limousin – DT Haute-Vienne*

## 4. Discussion

### 4.1. Facteurs influençant la représentativité des résultats

La signification de chaque résultat de mesure peut souffrir de biais, parmi lesquels les suivants ont été identifiés dans le cadre de l'élaboration du présent rapport.

#### 4.1.1 Modalités de prélèvement

La représentativité des prélèvements d'eau est entachée d'incertitudes pour différentes raisons telles que :

- les causes propres au conditionnement des échantillons et à leur méthode de conservation : flaconnage inadapté à la substance recherchée, opérations de conditionnement préservant mal les échantillons d'un dégazage, absence d'opération de filtration ou inadéquation de celle-ci, perturbation thermique, etc. ;
- la période choisie pour le prélèvement : pression atmosphérique, température, pluviométrie, etc.

Le lieu du prélèvement est également important. Par exemple, la teneur en radon-222 (gaz très volatile) dans les eaux peut varier entre la ressource, l'installation de traitement et le robinet des consommateurs du fait d'un possible dégazage. Les analyses réalisées sur des prélèvements effectués à la ressource ne sont donc pas forcément représentatives des activités des descendants du radon-222 présents dans l'eau du robinet.

#### 4.1.2 Modalités d'analyse

Les résultats d'analyse sont également entachés d'incertitudes liées notamment à la statistique de comptage, aux appareils de mesure, à l'homogénéité ou à la stabilité de l'échantillon, à la main d'œuvre, etc. L'incertitude finale doit être calculée et fournie par le laboratoire d'analyse. Elle est calculée pour chaque mode opératoire mis en œuvre et est généralement de l'ordre de plus ou moins 20 % sur la valeur du résultat.

En outre, du point de vue métrologique, l'activité en plomb 210, émetteur bêta de faible énergie (17 keV) non détectable au niveau de l'activité bêta globale résiduelle, rend la détermination spécifique du plomb 210 indispensable.

Il est impossible de faire *a priori* une quelconque hypothèse d'équilibre ou de déséquilibre entre les 2 isotopes de l'uranium, l'analyse isotopique (plutôt qu'une analyse d'uranium pondéral) dans le but d'un calcul de dose prend donc tout son sens.

Le polonium 210 est très rarement en équilibre avec son précurseur, le plomb 210, lorsqu'il est présent : là encore, on en déduit que l'équilibre séculaire n'est quasiment jamais atteint dans les échantillons analysés et qu'aucune hypothèse sur les états d'équilibre ne permet de s'affranchir de l'analyse des radionucléides.

Comme le proposent certains auteurs<sup>20</sup>, il est possible de faire un calcul du rapport des activités significatives en radium 226 et en radium 228 mesurées afin d'établir si une tendance se dessine :

---

<sup>20</sup> Institut scientifique de santé publique de Bruxelles, Rapport D/2505/2007/40, Mesure de la radioactivité naturelle dans les eaux destinées à la consommation humaine.

les résultats obtenus montrent qu'il n'est pas possible de faire une hypothèse sur l'un de ces deux radionucléides pour en déduire l'activité du second, bien qu'ils aient *a priori* le même comportement chimique (solubilité par exemple).

#### 4.2. Généralisation de la mise en place du contrôle sanitaire

L'acquisition de données relatives à la qualité radiologique des eaux du robinet permet de dresser un bilan sur une période plus longue (2005-2009) et d'examiner les évolutions survenues entre les périodes 2005-2007 et 2008-2009.

Le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux de distribution publique est désormais opérationnel. Ainsi, la Figure 12 permet d'observer l'évolution du nombre de prélèvements au cours du temps. Un pic d'activité est observé en 2005-2006, lié à la mise en place par les DDASS du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux mises en distribution. Le volume de prélèvements diminue les années suivantes et se stabilise autour de 12 000 prélèvements annuels. En 2009, le nombre de prélèvements pour la mesure du tritium rejoint le nombre de prélèvements pour la mesure de l'activité alpha globale, ce qui est satisfaisant compte tenu de la stratégie d'analyse décrite plus haut. Ces tendances peuvent s'interpréter comme la mise en place durable et stabilisée du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux de distribution publique.

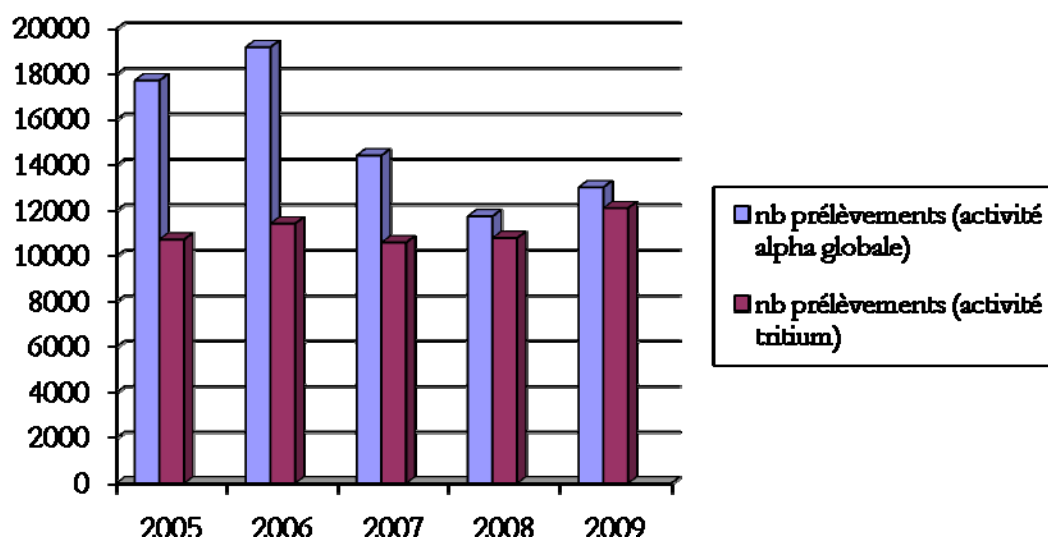


Figure 12 : Evolution du nombre de prélèvements annuels pour la mesure des activités alpha globale et du tritium (2005-2009)

Le contrôle sanitaire étant désormais en place, il est indispensable de s'assurer de la qualité des données intégrées dans la base SISE-Eaux d'alimentation afin d'améliorer encore la fiabilité des résultats et de leur interprétation.

A cet effet, plusieurs remarques doivent être émises :

- en cas de dépassement des valeurs guides pour les indicateurs activité alpha globale et activité bêta globale résiduelle, il faut rappeler que l'intégralité des radionucléides naturels, puis artificiels le cas échéant, doit être recherchée ;
- l'intégration du paramètre « DTI » dans la base SISE-Eaux d'alimentation doit être dissociée selon qu'il s'agit d'une DTI estimée ou d'une DTI calculée ;

- il convient de rappeler que la valeur guide porte sur l'activité bêta globale résiduelle (et non sur l'activité bêta globale) et que ce paramètre doit être intégré dans la base SISE-Eaux d'alimentation avec la codification ad hoc.

Ainsi, l'ASN, la DGS et l'IRSN souhaitent engager une action spécifique d'une part vis-à-vis des ARS et d'autre part vis-à-vis des laboratoires agréés afin d'améliorer la qualité des données du contrôle sanitaire intégrées dans la base SISE-Eaux d'alimentation, en rappelant les points précisés ci-dessus.

#### 4.3. **Qualité radiologique des eaux du robinet globalement satisfaisante**

Ce second bilan 2008-2009, comme le premier bilan portant sur les années 2005-2007, indique que la qualité radiologique des eaux du robinet est globalement satisfaisante.

Les situations de dépassement de la DTI ( $DTI > 0,1$  mSv/an) ont concerné un nombre de personnes plus important en 2008-2009 (73 994 en 2005-2007 et 102 467 en 2008-2009), mais réparties sur un nombre d'UDI semblable (97 UDI en 2005-2007 et 94 UDI en 2008-2009).

Les situations conduisant à des restrictions d'usage ( $DTI > 0,3$  mSv) concernent en 2005-2007 comme en 2008-2009, un petit nombre de personnes (1 961 en 2005-2007 et 1 327 en 2008-2009), alimentées par des UDI de taille faible (taille moyenne : 490 personnes en 2005-2007 ; 640 personnes en 2008-2009).

#### 4.4. **Risque chimique de l'uranium supérieur au risque radiologique**

Dans ses dernières recommandations de 2004 relatives à la qualité des eaux de boisson [h], l'OMS indique que l'uranium est un métal présentant une toxicité chimique et, sur cette base, fixe une valeur guide provisoire de 15 µg/L. Aux Etats-Unis, la valeur maximale dans l'eau de boisson est actuellement fixée à 30 µg/L (2000)<sup>21</sup> et au Canada, à 20 µg/L (2001)<sup>22</sup>. A ce jour, il n'existe pas d'exigence de qualité pour l'uranium dans la directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine [f], actuellement en vigueur, ni dans le code de la santé publique<sup>23</sup>.

En l'absence de valeur réglementaire, l'interprétation d'analyses chimiques de l'uranium requiert de faire appel à l'expertise de l'Anses qui a estimé dans son avis du 31 janvier 2010 qu'une exigence de qualité, équivalente à la valeur guide de l'OMS, pourrait être fixée dans la réglementation française. L'ASN et la DGS ont porté cette position dans le cadre des discussions portant sur la révision de la directive européenne relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

L'IRSN indique [p] que sur le plan de la radiotoxicité, la présence d'uranium pondéral à hauteur de 15 µg/L dans une eau de boisson conduit à une DTI de :

- 27,4 µSv/an pour un enfant de moins d'un an consommant annuellement 200,75 litres de cette eau ;

---

<sup>21</sup> *National Primary Drinking Water Regulations; Radionuclide; Notice of Data Availability Federal Register / Vol. 65, No. 78 / Friday, April 21, 2000* (<http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-WATER/2000/April/Day-21/w9654.pdf>).

<sup>22</sup> Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada – Uranium - Santé Canada, 2001 ([http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt\\_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/uranium/uranium-fra.pdf](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/uranium/uranium-fra.pdf)).

<sup>23</sup> Cf. arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique.

- 13,2 µSv/an pour une adulte de plus de 17 ans consommant annuellement 730 litres de cette eau.

L'IRSN rappelle que « ces valeurs sont à mettre en regard de la valeur paramétrique de 0,1 mSv par an relative aux eaux destinées à la consommation humaine, fixée par l'OMS, reprise par l'Union européenne dans la directive 98/83/CE et transposée en droit français dans l'article R.1321-20 du code de la santé publique ».

#### 4.5. Pour une meilleure prise en compte de l'exposition au radon par ingestion

Le risque associé à l'exposition domestique au radon est en premier lieu celui du cancer du poumon (par inhalation), et ce, quelle que soit la voie d'entrée du radon dans les locaux : *via* le bâti ou *via* le dégazage de l'eau du robinet.

Même si la présence de radon dans l'eau du robinet ne présente pas d'enjeu sanitaire immédiat, ce sujet devrait être traité sur la base des principes de radioprotection (justification et optimisation) applicables dans le cas des faibles doses d'exposition aux rayonnements ionisants.

Ainsi, l'ASN, la DGS et l'IRSN s'accordent sur la nécessité de prendre en compte la problématique liée à la présence de radon dans l'eau du robinet.

La prise en compte de cette problématique doit tenir compte des éléments suivants :

- des incertitudes persistent au niveau scientifique sur le risque lié à l'ingestion de radon ; les estimations disponibles conduisent cependant à penser qu'il s'agit d'un risque faible dans la mesure où les doses estimées restent inférieures à la dose annuelle moyenne reçue par la population du fait des rayonnements ionisants d'origine naturelle ;
- des expertises préalables sont néanmoins nécessaires pour parvenir à une réglementation ciblée qui tiendrait compte de la nature géologique du sous-sol et de la configuration des réseaux de distribution.

## 5. Conclusion

A partir des données de SISE-Eaux d'alimentation, les résultats du contrôle sanitaire réalisé majoritairement niveau de la production entre 2008 et 2009 permettent de faire principalement les observations suivantes :

- aucun dépassement de la référence de qualité en tritium (considéré comme un indicateur de contamination d'origine anthropique) n'a été observé ;
- plus de 95 % des échantillons prélevés ont présenté une activité alpha globale inférieure ou égale à la valeur guide (4,8 % des échantillons ont présenté une activité alpha globale supérieure à 0,1 Bq/L) ;
- plus de 99 % des échantillons prélevés ont présenté une activité bêta globale résiduelle inférieure ou égale à la valeur guide (0,1 % des échantillons ont présenté une activité bêta globale supérieure à 1 Bq/L) ;
- plus de 99 % des échantillons pour lesquels l'activité alpha globale et/ou l'activité bêta globale résiduelle était supérieure à la valeur guide et pour lesquels la DTI a été calculée ont présenté une DTI inférieure ou égale à la référence de qualité (0,7 % des échantillons ont présenté une DTI comprise entre 0,1 mSv/an et 0,3 mSv/an et 0,07 % des échantillons ont présenté une DTI supérieure à 0,3 mSv/an).

Les dépassements de la valeur guide pour l'activité alpha globale, analysés par l'IRSN en 2009, sont tous dus à la présence de radionucléides naturels.

Les analyses effectuées principalement en production ont permis, par extrapolation, d'évaluer en 2009 la qualité radiologique des eaux au robinet des consommateurs pour 20 214 UDI sur 25 495 (soit 60,4 %) alimentant 96,6 % de la population desservie par le réseau de distribution.

Cette évaluation montre que l'eau distribuée en France en 2009 était de qualité radiologique très satisfaisante :

- 99,83 % de la population desservie par le réseau de distribution et pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a été évaluée (soit 60,5 millions de personnes concernées) a été alimentée par une eau dont la qualité respectait en permanence les valeurs guides et références de qualité fixées par la réglementation ;
- 102 467 personnes ont été alimentées par une eau dont la DTI moyenne a dépassé la référence de qualité, 1 327 d'entre elles l'ont été par de l'eau dont la DTI moyenne était supérieure à 0,3 mSv/an. Pour ces dernières, des dispositions spécifiques (information, recherche des causes et de solutions techniques) ont été mises en œuvre par les ARS.

Ce second bilan 2008-2009, comme le premier bilan portant sur les années 2005-2007, met en évidence une qualité radiologique des eaux du robinet globalement satisfaisante. Les situations de dépassement de la référence de qualité de la DTI ont concerné un nombre plus important de personnes sur la période 2008-2009 ; toutefois les situations conduisant à des restrictions d'usage ( $DTI > 0,3$  mSv) présentent les mêmes caractéristiques entre les deux périodes (faible nombre de personnes, desservies par de petites UDI).

Des problématiques comme la présence de radon dans l'eau doivent faire l'objet de travaux complémentaires.

## Références bibliographiques

Les références bibliographiques sont indiquées comme suit dans le texte : [a], [b] etc.

- a. IRSN, février 2002, <http://www.irsn.fr/> « Qu'est-ce que la radioactivité ? ».
- b. BRGM, juillet 2000, Eau minérale et radioactivité, note technique n° 15.
- c. OMS, juin 2005, Radon et cancer, Aide-mémoire N°291.
- d. IRSN (Direction de la radioprotection de l'homme), 2006, Exposition de la population française aux rayonnements ionisants.
- e. Arrêté du 12 mai 2004 fixant les modalités de contrôle de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine.
- f. Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.
- g. Arrêté du 11 janvier 2007 modifié relatif au programme de prélèvement et d'analyse du contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de distribution, pris en application des articles R. 1321-10, R. 1321-15 et R. 1321-16 du code de la santé publique.
- h. World Health Organization (WHO) 2004, Guidelines for drinking-water quality, third edition.
- i. Arrêté du 24 janvier 2005 modifié relatif aux conditions d'agrément des laboratoires pour la réalisation des prélèvements et des analyses du contrôle sanitaire des eaux.
- j. Arrêté du 17 septembre 2003 relatif aux méthodes d'analyse des échantillons d'eau et à leurs caractéristiques de performance.
- k. Arrêté du 8 juillet 2009 fixant la liste des laboratoires agréés par le Ministère chargé de la santé pour la réalisation des prélèvements et des analyses du contrôle sanitaire des eaux.
- l. Circulaire DGS/EA4/2007/232 du 13 juin 2007 relative au contrôle et à la gestion du risque sanitaire liés à la présence de radionucléides dans les eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des eaux conditionnées et des eaux minérales naturelles.
- m. Délibération de l'ASN n° 2007-DL-003 du 7 mars 2007 relative au contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine.
- n. Note technique. Mesure du radon 222 dans l'eau des captages AEP : bilan historique des mesures réalisées entre 1977 et 2003. IRSN/DEI/STEME. Mars 2010.
- o. Note de service n° DGS/EA4/2010/151 du 6 mai 2010 relative aux bilans nationaux de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine vis-à-vis des pesticides en 2009 et des radionucléides pour la période 2008-2009.
- p. Analyse de la radioactivité des eaux. Bilan des résultats obtenus en 2009 pour les eaux d'adduction et pour les eaux minérales et thermales. IRSN/DEI/STEME.

## **Annexe 1 : Techniques d'analyses couramment utilisées pour mesurer la radioactivité dans les eaux**

- **Détermination de l'indice de radioactivité alpha global sur dépôt par évaporation et mesure par scintillation solide (norme NF ISO 10704) :** une aliquote d'eau est évaporée doucement sur une coupelle en inox, le résidu est ensuite recouvert d'un scintillateur solide et un comptage alpha est réalisé sur la base d'un étalonnage en plutonium 239.
- **Détermination de l'indice de radioactivité bêta global sur dépôt par évaporation et mesure en compteur type Geiger (norme NF ISO 10704) :** une aliquote d'eau est évaporée doucement sur une coupelle en inox, le résidu fait ensuite l'objet d'un comptage bêta global sur la base d'un étalonnage en strontium 90 - yttrium 90.
- **Détermination de la concentration en potassium par émission de flamme (NF T 90 019).**
- **Détermination de l'activité du tritium par scintillation liquide (norme NF M 60-802-1) :** une aliquote d'eau est mélangée à un volume de liquide scintillant et mesurée en scintillation liquide.
- **Détermination de l'activité du carbone 14 par scintillation liquide (norme M 60-802-2) :** une aliquote d'eau est mélangée à un volume de liquide scintillant et mesurée en scintillation liquide.
- **Détermination de l'activité en radium 226 par émanométrie et comptage alpha (norme NF M 60-803) :** une aliquote d'eau est minéralisée et mise en barboteur étanche en attendant la croissance du radon 222, le radon 222 émané est transféré dans une géométrie de comptage alpha recouverte d'un scintillateur solide.
- **Détermination de l'activité en radium 228 et plomb 210 par spectrométrie gamma après concentration :** une aliquote d'eau est évaporée doucement à sec et le résidu est conditionné dans une géométrie de comptage en spectrométrie gamma.
- **Détermination de l'activité en uranium isotopique par séparation chimique et spectrométrie alpha (norme NF M 60-805-5) :** une aliquote d'eau est minéralisée puis purifiée par des étapes successives de radiochimie, les isotopes de l'uranium sont co-précipités avant mesure par spectrométrie alpha.
- **Détermination de l'activité en polonium 210 par séparation chimique et spectrométrie alpha (norme NF M60-808) :** une aliquote d'eau est minéralisée puis purifiée par des étapes successives de radiochimie, les isotopes recherchés sont co-précipités ou déposés avant mesure par spectrométrie alpha.
- **Détermination de l'activité en thorium isotopique par séparation chimique et spectrométrie alpha :** une aliquote d'eau est minéralisée puis purifiée par des étapes successives de radiochimie, les isotopes recherchés sont co-précipités ou déposés avant mesure par spectrométrie alpha.
- **Détermination de l'activité des radionucléides émetteurs de rayonnements gamma (norme NF ISO 10703) :** par spectrométrie en container à géométrie normalisée.
- **Détermination de l'activité en plutonium 238, 239+240, américium 241 par séparation chimique et spectrométrie alpha (norme NF M 60-804) :** une aliquote d'eau est



minéralisée puis purifiée par des étapes successives de radiochimie, les isotopes du plutonium sont co-précipités avant mesure par spectrométrie alpha.

- **Détermination de l'activité en strontium 90 par séparation chimique et comptage bêta (norme NF M 60-806-1) :** une aliquote d'eau est minéralisée puis purifiée par des étapes successives de radiochimie, le strontium 90 est séparé de son descendant l'yttrium 90, suite à la recroissance de ce dernier un précipité d'oxalate est mesuré par comptage bêta.
- **Détermination de l'activité en radon 222 par spectrométrie gamma (norme NF M 60-761).**

