



La qualité radiologique de l'eau mise en distribution en France 2005-2007

- Organisation du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine
- Synthèse des résultats du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux effectué à la ressource et en production entre 2005 et 2007
- Bilan national de la qualité radiologique des eaux distribuées au robinet des consommateurs en 2007
- Résultats des analyses de radionucléides et en particulier d'uranium réalisées par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) entre 2005 et 2007

Le présent travail a été réalisé à partir :

- des données 2005-2007 de la base SISE-Eaux¹ issues du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux, mis en œuvre par les directions départementales des affaires sanitaires et sociales (DDASS) ;
- d'une enquête nationale réalisée en 2008 auprès des DDASS sur la qualité radiologique des eaux au robinet des consommateurs en 2007 ;
- des analyses des radionucléides et notamment des isotopes de l'uranium réalisées entre 2005 et 2007 par l'IRSN dans le cadre du contrôle sanitaire.

Rédaction du rapport et exploitation des données :

Johanna FITTE (Autorité de sûreté nucléaire - ASN, Direction des rayonnements ionisants et de la santé)

Raphaël TRACOL (Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de Basse-Normandie - DRASS Basse-Normandie, Service « Santé-environnement »)

Laure GRAN-AYMERICH, Géraldine GRANDGUILLOT, Laëtitia GUILLOTIN (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 Sûreté Nucléaire - IRSN, Direction de l'environnement et de l'intervention)

¹ Système d'informations en santé-environnement sur les eaux.

Sommaire

Liste des figures.....	i
Liste des tableaux.....	i
Liste des cartes.....	ii
Liste des abréviations.....	iii
Glossaire.....	iv
Résumé.....	vi
1. Introduction : contexte et objectifs.....	1
1.1. Rappel du contexte.....	1
1.1.1 Notion de radioactivité.....	1
1.1.2 Origine de la radioactivité naturelle dans les eaux.....	1
1.1.3 Exposition de la population à la radioactivité naturelle et impact sanitaire.....	2
1.1.4 Indicateurs de la qualité radiologique de l'eau.....	3
1.1.5 L'uranium dans l'eau.....	3
1.2. Objectifs de l'étude.....	4
2. Méthodologie.....	5
2.1. Le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux mis en œuvre par les DDASS.....	5
2.1.1 La distribution de l'eau potable en France.....	5
2.1.2 L'organisation du contrôle sanitaire des eaux.....	6
2.1.3 Le contrôle de la qualité radiologique des eaux.....	6
2.1.4 La gestion du risque sanitaire.....	10
2.2. L'enquête sur la qualité radiologique des eaux au robinet des consommateurs en 2007 réalisée auprès des DDASS.....	13
2.3. Les analyses des radionucléides réalisées pour le calcul de la DTI dans le cadre du contrôle sanitaire.....	14
2.3.1 Analyses des radionucléides naturels et artificiels.....	14
2.3.2 Calcul de la concentration pondérale de l'uranium.....	14
3. Résultats.....	16
3.1. Les résultats du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux mis en œuvre par les DDASS de 2005 à 2007.....	16
3.1.1 Les prélèvements.....	16
3.1.2 Les résultats d'analyses.....	20
3.2. Les résultats de l'enquête réalisée auprès des DDASS sur la qualité de l'eau distribuée au robinet des consommateurs en 2007.....	23
3.2.1 Pourcentage de la population pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a pu être évaluée.....	23
3.2.2 Les résultats de l'enquête sur la qualité radiologique de l'eau distribuée au robinet des consommateurs en 2007.....	23
3.2.3 Les situations où DTI moyenne $\leq 0,1$ mSv/an.....	24
3.2.4 Les situations où DTI moyenne $> 0,1$ mSv/an.....	25
3.3. Les résultats des analyses des radionucléides réalisées pour le calcul de la DTI par l'IRSN entre 2005 et 2007 dans le cadre du contrôle sanitaire.....	28
3.3.1 Les principaux radionucléides à l'origine des situations où la DTI moyenne dépasse la valeur guide de 0,1 mSv/an.....	28
3.3.2 Résultats pour l'uranium.....	28
4. Discussion.....	30
4.1. Facteurs influençant la représentativité des résultats.....	30

4.1.1	<i>Les modalités de prélèvement</i>	30
4.1.2	<i>Les modalités d'analyse</i>	30
4.1.3	<i>La fréquence du contrôle sanitaire</i>	31
4.2.	Uranium : risque chimique et risque radiologique	31
5.	Conclusion	33
	Références bibliographiques	35
	Annexe 1 : Techniques d'analyses de la radioactivité dans les eaux.....	36

Liste des figures

Figure 1 : Origine de l'exposition annuelle moyenne de la population française aux rayonnements ionisants	2
Figure 2 : Lieu de prélèvement pour le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux.....	8
Figure 3 : Gestion des dépassements de la référence de qualité de la DTI et information du public	11
Figure 4 : Stratégie d'analyse de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine	12
Figure 5 : Répartition des prélèvements selon le lieu de contrôle – Données 2005-2007.....	17
Figure 6 : Répartition des prélèvements selon l'origine de l'eau – Données 2005-2007	18
Figure 7 : Répartition de la population en fonction de la qualité radiologique de l'eau distribuée – Données 2007	24
Figure 8 : Pourcentage d'échantillons d'eau dans lesquels les différents radionucléides analysés ont été rencontrés – Année 2007.....	28
Figure 9 : Distribution des concentrations en uranium pondéral mesurées par l'IRSN dans un panel de 472 échantillons d'eau mise en distribution entre 2005 et 2007	29

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition massique des isotopes de l'uranium	3
Tableau 2 : Rapport des activités des isotopes de l'uranium.....	4
Tableau 3 : Nombre d'UDI et population desservie selon la taille de l'UDI – Situation au 29 août 2008	5
Tableau 4 : Les quatre indicateurs de la qualité radiologique de l'eau	6
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 [jj])	9
Tableau 6 : Constantes radioactives des isotopes de l'uranium.....	15
Tableau 7 : Nombre de prélèvements réalisés et d'installations contrôlées entre 2005 et 2007 dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux.....	16
Tableau 8 : Nombre de prélèvements, de mesures et d'installations contrôlées en fonction du lieu de prélèvement dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux – Données 2005-2007	17
Tableau 9 : Nombre de prélèvements réalisés et d'installations contrôlées entre 2005 et 2007 dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux en fonction de l'origine de l'eau.....	18
Tableau 10 : Résultats du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux entre 2005 et 2007	21
Tableau 11 : Répartition du nombre d'analyses inférieures ou supérieures aux indicateurs de la qualité radiologique de l'eau selon l'origine de l'eau – Données 2005-2007	22
Tableau 12 : DTI moyenne dans les eaux au robinet du consommateur - Données 2007	24

Liste des cartes

Carte 1 : Nombre de prélèvements réalisés dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux - Données 2005-2007	19
Carte 2 : Nombre de mesures des activités alpha globale, bêta globale et tritium réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux - Données 2005-2007.....	20
Carte 3 : Pourcentage de la population pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a été évaluée – Année 2007	23
Carte 4 : Pourcentage de la population desservie par une eau pour laquelle : DTI moyenne $\leq 0,1$ mSv/an – Année 2007.....	25
Carte 5 : Population ayant été alimentée par de l'eau pour laquelle : DTI moyenne $> 0,1$ mSv/an – Année 2007	26

Liste des abréviations

- AFSSA** : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
- AIEA** : Agence Internationale de l'Energie Atomique
- ASN** : Autorité de Sûreté Nucléaire
- DDASS** : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
- DGS** : Direction Générale de la Santé
- DRASS** : Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales
- DTI** : Dose Totale Indicative
- IRSN** : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
- ISO** : International Standard Organisation
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- SISE-Eaux** : Système d'Information en Santé-Environnement sur les Eaux
- UDI** : Unité de Distribution
- VTR** : Valeur Toxicologique de Référence

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 de consommation.

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 (SISE-Eaux) : 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.

Résumé

La radioactivité naturelle fait partie de notre environnement et constitue la principale source de notre exposition aux rayonnements ionisants (hors expositions médicales). En France, la dose d'exposition qui lui est due est de l'ordre de 2,4 millisieverts par an et par habitant. Cette dose varie d'une région à l'autre et d'une personne à l'autre en fonction de son mode de vie (séjours en haute montagne, fréquence des voyages en avion, etc.).

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 riches en radionucléides (uranium et ses descendants) et sont à l'origine d'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.

Enfin, l'homme ingère chaque jour des radionucléides présents dans les aliments et l'eau de boisson, en particulier le potassium 40.

Les études épidémiologiques menées jusqu'à présent n'ont pas permis de mettre en évidence d'effet sanitaire à de faibles voire de très faibles doses (de l'ordre du milli ou du microsievert par an). Par précaution et en application du principe d'optimisation, l'exposition aux rayonnements ionisants doit être maintenue à un niveau aussi bas que raisonnablement possible.

Ainsi, même si l'exposition à la radioactivité de l'eau de boisson ne représente qu'une faible part de l'exposition à la radioactivité naturelle, la qualité radiologique de l'eau ne doit pas pour autant être négligée.

Depuis le 1er janvier 2005, en application de l'arrêté du 12 mai 2004, 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 DDASS, services déconcentrés du ministère chargé de la santé.

L'ASN et la DGS, en liaison avec les DDASS et les DRASS, ont souhaité disposer d'un premier bilan national sur la présence de radioactivité dans les eaux distribuées en France.

En outre, l'ASN et la DGS, avec l'appui technique de l'IRSN, ont souhaité porter une attention particulière à la présence d'uranium dans les eaux distribuées en France, en considérant notamment sa concentration massique, en rapport avec la toxicité chimique.

Le présent bilan de la qualité radiologique de l'eau mise en distribution en France a été établi à partir de trois sources de données :

- les résultats du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine, pour les années 2005 à 2007, à la ressource et/ou au point de mise en distribution, réalisé par les services Santé-environnement des DDASS au titre de l'article R. 1321-15 du code de la santé publique (résultats saisis dans la base de données SISE-Eaux).

Le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux repose sur le contrôle de quatre indicateurs :

- l'**activité alpha globale**, dont la valeur guide est de 0,1 Bq/L ;
- l'**activité bêta globale résiduelle**, dont la valeur guide est de 1 Bq/L ;

- l'**activité tritium**, dont la référence de qualité est de 100 Bq/L ;
 - la **Dose Totale Indicative (DTI)**, qui est calculée à partir des analyses des différents radionucléides naturels et éventuellement artificiels recherchés lorsque l'activité alpha globale et/ou l'activité bêta globale résiduelle dépasse(nt) leur valeur guide ou que l'activité tritium dépasse sa référence de qualité.
- les résultats d'une enquête effectuée auprès des services Santé-environnement des DDASS, qui a permis de dresser un bilan de la qualité radiologique des eaux distribuées au robinet des consommateurs durant l'année 2007.

Afin d'évaluer pour chaque consommateur d'eau 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 unité de distribution (UDI). Or, les analyses réalisées au niveau des captages ou de la production dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique de l'eau ne sont pas toujours directement représentatives de la qualité de l'eau d'une UDI, distribuée au robinet des consommateurs. Pour apprécier la valeur de la DTI au niveau de chaque UDI, il est donc apparu indispensable d'utiliser l'expertise locale des services Santé-environnement des DDASS. L'enquête réalisée auprès des services Santé-environnement des DDASS a permis d'apprécier la qualité radiologique des eaux distribuées en 2007 au robinet des consommateurs pour chaque UDI.

- les résultats des analyses des radionucléides et notamment des isotopes de l'uranium réalisées par l'IRSN dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique de l'eau :

La DTI est supposée inférieure ou égale à 0,1 mSv/an lorsque les valeurs mesurées pour l'activité alpha globale et l'activité bêta globale résiduelle sont respectivement inférieures ou égales à 0,1 Bq/L et 1,0 Bq/L. En cas de dépassement de ces valeurs, il est procédé à des analyses des radionucléides, afin d'identifier et de quantifier les radionucléides naturels (uranium 234, uranium 238, radium 226, radium 228, polonium 210 et plomb 210), puis, si besoin, les radionucléides artificiels (carbone 14, strontium 90, cobalt 60, iode 131, césium 134, césium 137, plutonium 238, plutonium 239, plutonium 240 et américium 241).

De plus, compte tenu de la toxicité chimique de l'uranium, un bilan de la concentration massique en uranium des eaux a été réalisé à partir des analyses faites par l'IRSN dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique de l'eau entre 2005 et 2007.

Les principaux résultats de ce bilan sont les suivants :

A partir des données de la base SISE-Eaux, l'analyse de l'ensemble des résultats du **contrôle sanitaire réalisé aux niveaux de la ressource, de la production et de la distribution entre 2005 et 2007** permet de faire les observations suivantes :

- 51 866 prélèvements d'eau ont été réalisés dans le cadre du contrôle de la qualité radiologique des eaux entre 2005 et 2007 ;
- aucun dépassement de la référence de qualité en tritium (considéré comme un indicateur de contamination radioactive 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 (4,55 % d'échantillons ont présenté une activité alpha globale supérieure à 0,1 Bq/L) ;
- plus de 99,9 % des échantillons prélevés ont présenté une activité bêta globale résiduelle inférieure ou égale à la valeur guide (0,09 % d'échantillons ont présenté une activité bêta globale supérieure à 1 Bq/L) ;

- près de 85 % 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 (121 échantillons, soit 14,36 %, ont présenté une DTI comprise entre 0,1 et 0,3 mSv/an et 12, soit 1,40 %, ont présenté une DTI supérieure à 0,3 mSv/an).

Les dépassements des valeurs guides ou des références de qualité radiologique de l'eau observés entre 2005 et 2007 dans les eaux distribuées par le réseau d'eau potable sont tous dus à la présence de radionucléides naturels.

L'enquête réalisée auprès des services Santé-environnement des DDASS a permis d'obtenir des informations sur **la qualité des eaux au robinet du consommateur** vis-à-vis de la radioactivité pour 15 837 UDI sur 26 218 à l'échelon national, soit environ 60 % des UDI alimentant 86,9 % de la population desservie par le réseau de distribution en 2007.

Dans 60 départements, le pourcentage de la population pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a été évaluée est supérieur ou égal à 95 %. Dans 13 départements, ce pourcentage est inférieur à 50 %.

En 2007, pour 99,6 % des 15 837 UDI pour lesquelles la qualité radiologique de l'eau a été évaluée (soit 99,86 % de la population desservie par le réseau de distribution), l'eau distribuée au robinet a respecté en permanence les valeurs guides et références de qualité fixées par la réglementation.

En outre, les résultats des **analyses des radionucléides** réalisées par l'IRSN entre 2005 et 2007 pour les calculs de DTI 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 ;
- les analyses de radium 228 et de plomb 210 sont désormais réalisées de façon quasi-systématique ;
- 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.

En ce qui concerne la concentration massique de l'uranium estimée à partir des mesures réalisées par l'IRSN entre 2005 et 2007 sur chaque échantillon présentant un dépassement de la valeur guide pour l'activité alpha globale et/ou bêta globale résiduelle (environ 10 % des échantillons reçus par l'IRSN nécessitent de réaliser un calcul de DTI et donc des analyses d'uranium), la valeur moyenne obtenue est de 3,08 µg/L. 17 résultats dépassent la valeur guide provisoire de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) de 15 µg/L, soit 3,6 % des échantillons ayant fait l'objet d'une analyse d'uranium sur la période 2005-2007. Les valeurs se situent dans une fourchette allant de 0,15 à 112,5 µg/L.

Les résultats du contrôle sanitaire doivent être interprétés avec précaution car divers facteurs peuvent avoir un impact, notamment :

- les modalités de prélèvement des échantillons d'eau ;
- les modalités d'analyse ;
- la fréquence du contrôle sanitaire.

Pour conclure, ce premier bilan national a permis de montrer que globalement, le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux a bien été mis en place par les DDASS depuis le 1^{er} janvier 2005. Il subsiste néanmoins des cas (concernant 40 % des UDI alimentant 13,0 % de la population desservie par le réseau de distribution) où il n'y a pas encore eu d'analyse des indicateurs de la qualité radiologique de l'eau. L'effort doit donc être poursuivi.

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).

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 plutoniques² ou métamorphiques³ profondes. Dans les zones de roches magmatiques⁴ riches en uranium et en thorium, la radioactivité est plus élevée que dans les régions sédimentaires⁵ [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 radioactivité naturelle (radon⁶, 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

² Roche magmatique qui s'est mise en place en profondeur et qui présente une structure grenue (ex : granite).

³ Roche qui a subi des transformations minéralogiques et structurales suite à une élévation de température et de pression (ex : marbre, schiste).

⁴ 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).

⁵ 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).

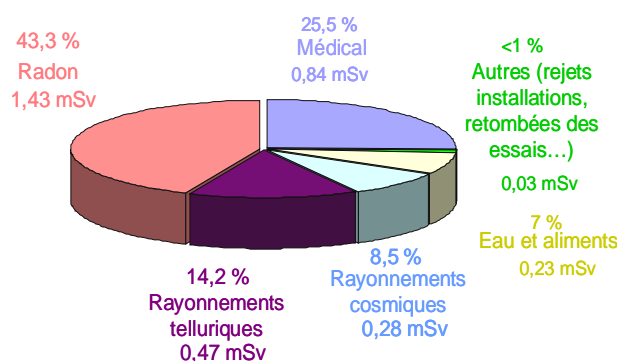
⁶ Le radon, gaz radioactif d'origine naturelle, représente environ le tiers de l'exposition moyenne de la population française aux rayonnements ionisants. Il est présent partout à la surface de la planète à des concentrations variables selon les régions.

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). La radioactivité naturelle de certaines eaux peut aussi résulter de la présence d'autres éléments radioactifs (uranium naturel, radium-226, etc.).

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 fait partie de notre environnement : elle 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 telluriques⁷ et cosmiques⁸, notamment), dont environ 0,3 mSv/an du à l'ingestion d'aliments et d'eau (voir Figure 1) [d].



Source : IRSN, 2006

Figure 1 : Origine de l'exposition annuelle moyenne de la population française aux rayonnements ionisants

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 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.

⁷ La radioactivité naturelle d'origine tellurique est due aux rayonnements terrestres, qui 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).

⁸ Les rayonnements cosmiques proviennent des galaxies lointaines et du soleil, et sont constitués de particules chargées, de hautes énergies, qui traversent l'espace.

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-40⁹ :

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

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

Le **tritium** est considéré comme un indicateur de contamination d'origine anthropique. Sa présence dans l'eau destinée à la consommation humaine, significative (au-delà de 100 Bq/L), témoigne d'une situation anormale justifiant une enquête environnementale et une action corrective.

Enfin, la **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 2004¹¹. 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 L'uranium dans l'eau

L'uranium est un métal naturellement radioactif. Ses trois isotopes naturels sont : ²³⁴U, ²³⁵U et ²³⁸U. Ils appartiennent à deux des trois familles radioactives naturelles (celle du thorium-232, de l'uranium-235 et de l'uranium-238). Les propriétés physiques de l'uranium naturel, tel qu'il est extrait de son minerai sont décrites dans le Tableau 1¹².

Tableau 1 : Composition massique des isotopes de l'uranium

Composition massique (%)	
²³⁸ U	99,275 %
²³⁵ U	0,719 %
²³⁴ U	0,0057%

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

⁹ 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'on calcule l'activité bêta globale résiduelle.

¹⁰ Note technique IRSN/DEI/STEM n° 2008-04, Calcul de la contribution de ⁴⁰K à l'activité bêta globale.

¹¹ 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.

¹² Fiche radionucléide « Uranium naturel et environnement » disponible sur le site Internet 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}U et ^{238}U à l'état d'équilibre (l'activité en ^{234}U est sensiblement la même que l'activité en ^{238}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 µg/L dans une eau de boisson conduirait, dans le cas d'un uranium « naturel », à une DTI de :

- 27,4 µSv/an pour un enfant de moins d'un an consommant annuellement 200 litres de cette eau ;
- 13,2 µSv/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 µSv) par an pour les eaux destinées à la consommation humaine.

1.2. Objectifs de l'étude

L'exposition à la radioactivité par l'eau de boisson 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 1er 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 DDASS, services déconcentrés du ministère chargé de la santé.

L'ASN et la DGS, en liaison avec les DDASS et les DRASS, ont souhaité disposer d'un premier bilan national sur la présence de radioactivité dans les eaux distribuées en France.

Outre l'état des lieux attendu pour le grand public, ce premier bilan doit permettre de soulever les éventuelles difficultés dans la mise en œuvre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux, afin d'en améliorer les résultats, leur synthèse et leur interprétation.

Le présent bilan accompagne par ailleurs l'évolution de ce contrôle sanitaire pour tenir compte du contexte actuel.

En outre, l'ASN et la DGS, avec l'appui technique de l'IRSN, ont souhaité intégrer à ce bilan une première synthèse sur la présence d'uranium dans les eaux distribuées en France.

2. Méthodologie

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

- **le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine, pour les années 2005 à 2007, à la ressource et/ou au point de mise en distribution**, mis en œuvre par les services Santé-environnement des DDASS au titre de l'article R. 1321-15 du code de la santé publique (résultats saisis dans SISE-Eaux) ;
- une enquête spécifique effectuée auprès des services Santé-environnement des DDASS, qui a permis d'évaluer **la qualité radiologique des eaux distribuées au robinet des consommateurs durant l'année 2007** ;
- **les analyses des radionucléides et notamment des isotopes de l'uranium réalisées par l'IRSN, entre 2005 et 2007, à la ressource et/ou au point de mise en distribution**, dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique de l'eau.

Il prend en compte les recommandations de la 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 [k], accompagnée en annexe de la délibération de l'ASN n° 2007-DL-003 du 7 mars 2007 [l].

2.1. Le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux mis en œuvre par les DDASS

2.1.1 La distribution de l'eau potable en France

Près de 26 000 UDI alimentent en eau potable les 61,3 millions de personnes desservies par le réseau de distribution en France (Tableau 3).

3,9 % des UDI alimentent en eau 60,1 % de la population, soit 3 habitants sur 5.

3 UDI sur 5 desservent moins de 500 habitants et alimentent 3,4 % de la population.

**Tableau 3 : Nombre d'UDI et population desservie selon la taille de l'UDI
– Situation au 29 août 2008**

Taille des UDI (en habitants)	UDI		Populations desservies	
	en nombre	en %	en millions d'habitants	en %
moins de 500	15 307	59,5 %	2,080	3,4 %
500 - 1 999	5 591	21,7 %	5,781	9,4 %
2 000 - 4 999	2 646	10,3 %	8,343	13,6 %
5 000 - 9 999	1 193	4,6 %	8,248	13,5 %
10 000 - 49 999	848	3,3 %	17,092	27,9 %
50 000 et plus	149	0,6 %	19,760	32,2 %
Total	25 734	100,0 %	61,304	100,0 %

Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

Les UDI sont alimentées à partir de ressources en eau (environ 30 000 captages ou mélanges de captages) d'origine souterraine et 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.

Au total, environ 18,5 millions de m³ d'eau sont produits chaque jour.

Avant mise en distribution, les eaux peuvent subir un traitement pouvant aller d'une simple désinfection, dans le cas d'eaux d'origine souterraine de bonne qualité, jusqu'à des traitements plus poussés (filtration, ozonation, charbon actif, etc.) dans le cas d'eaux d'origine superficielle.

2.1.2 L'organisation du contrôle sanitaire des eaux

Le code de la santé publique, en ses articles R. 1321-1 à R. 1321-63, transposant notamment la Directive 98/83/CE [f], définit les modalités du contrôle sanitaire des eaux mis en œuvre par les services Santé-environnement des DDASS.

Le contrôle sanitaire des eaux est effectué de façon systématique sur l'ensemble des unités de distribution, quelle que soit leur taille. Les prélèvements sont réalisés, soit par des agents des DDASS ou des services communaux d'hygiène et de santé, 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 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.

2.1.3 Le contrôle de la qualité radiologique des eaux

2.1.3.1. Les 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 sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Les quatre indicateurs de la qualité radiologique de l'eau

Indicateur	Nature	Valeur indicative	Référence réglementaire	
			historique	actuelle
Activité alpha globale	Valeur guide	0,1 Bq/L	Arrêté du 12 mai 2004 [e]	Arrêté du 11 janvier 2007 [g]
Activité bêta globale résiduelle		1 Bq/L		
Tritium	Référence de qualité	100 Bq/L	Annexe 13-1 du code de la santé publique	
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'OMS en 2006 [h] et qui conduirait à une dose efficace de l'ordre de

0,1 mSv/an pour la consommation quotidienne de 2 litres d'une eau à cette concentration. 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, puis transposée en droit français dans l'article R.1321-20 du code de la santé publique [f]. Cet indicateur ne peut être apprécié que par référence à un modèle type de consommation et non aux seules caractéristiques intrinsèques de l'eau. Sa valeur 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 [i], en sus de la dose due aux expositions naturelles (rayonnements cosmiques, telluriques, radon, etc.).

2.1.3.2. Les 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 l'IRSN, considéré comme le laboratoire national de référence pour les analyses de radioactivité, ou par des laboratoires agréés par le ministère chargé de la santé, conformément aux conditions fixées par l'arrêté du 24 janvier 2005 modifié.

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, les techniques d'analyses mises en œuvre par les laboratoires agréés sont détaillées en Annexe 1 et les limites de détection¹³ des méthodes sont définies par l'arrêté du 17 septembre 2003.

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 un avis sur le dossier à la DGS, qui 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 santé¹⁴.

En 2008, 8 laboratoires étaient agréés pour la réalisation d'analyses de radioactivité dans les eaux dans le cadre du contrôle sanitaire (cf- arrêté du 9 juillet 2008), dont 5 avaient des agréments pour analyser certains des radionucléides pris en compte dans le calcul de la DTI.

¹³ Limite de détection : plus petite valeur vraie du mesurande qui est détectable par la méthode de mesure mise en œuvre sur un échantillon donné.

¹⁴ A l'adresse <http://www.sante.gouv.fr> : rubrique « Les dossiers de la santé de A à Z », dossier « Eau / Le contrôle sanitaire des eaux ».

2.1.3.3. Les lieux de prélèvement pour le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux

Avant le 11 janvier 2007, les analyses des activités en alpha et bêta globales devaient être effectuées à la ressource (superficielle ou profonde) et en production, c'est-à-dire juste après le traitement, au point de mise en distribution, et celles de tritium devaient être réalisées en production uniquement.

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 [j] a modifié ces lieux de prélèvement ; les analyses des indicateurs de la qualité radiologique des eaux doivent désormais être effectuées uniquement en production, en un point représentatif de la qualité des eaux distribuées (Figure 2).

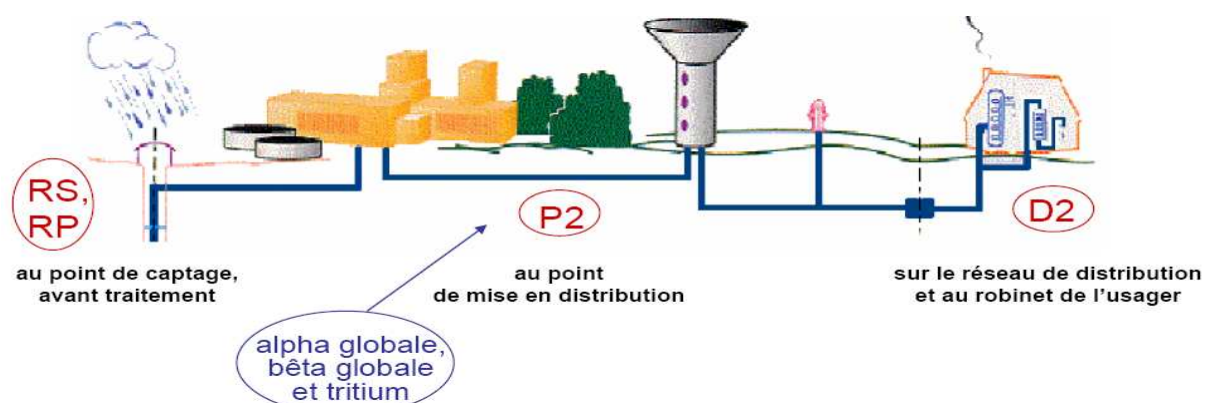


Figure 2 : Lieu de prélèvement pour le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux

2.1.3.4. La fréquence du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux

- Les analyses réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire

Les fréquences des analyses des indicateurs de la qualité radiologique sont fixées par l'arrêté du 11 janvier 2007 [j]. 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 [j])

Population desservie (habitants)	Débit (m ³ /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 m³/j du volume total.

Pour les unités de production alimentant en eau potable une population de 200 000 à 299 999 habitants, 8 mesures des indicateurs de la qualité radiologique de l'eau doivent être réalisés chaque année.

A minima, pour les unités alimentant moins de 500 habitants, ce contrôle doit être réalisé tous les 5 ans, voire tous les 10 ans pour celles alimentant moins de 50 habitants.

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 le préfet. 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 distribuées sont susceptibles de ne pas les contenir.

- *Les analyses réalisées dans le cadre d'une éventuelle adaptation du contrôle sanitaire*

S'il l'estime nécessaire, le préfet peut modifier par arrêté préfectoral le programme d'analyses du contrôle sanitaire, notamment si la qualité de l'eau le nécessite (article R. 1321-16 du code de la santé publique).

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, le préfet peut 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 distribuées 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 La gestion du risque sanitaire

La gestion des dépassements des valeurs guides ou des références de qualité par les DDASS s'appuie sur les recommandations émises dans la circulaire du 13 juin 2007 [k], [l].

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 de ces valeurs, il est procédé à des analyses des radionucléides, afin d'identifier et de quantifier les radionucléides naturels¹⁵ (dont les isotopes de l'uranium), puis artificiels¹⁶ présents dans l'échantillon (Figure 4).

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 4).

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 distribuées 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 distribuées est comprise entre 0,3 mSv/an et 1 mSv/an, des solutions de réduction des expositions sont recherchées au cas par cas, en 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.

¹⁵ Uranium 234, uranium 238, radium 226, radium 228, polonium 210 et plomb 210.

¹⁶ 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.

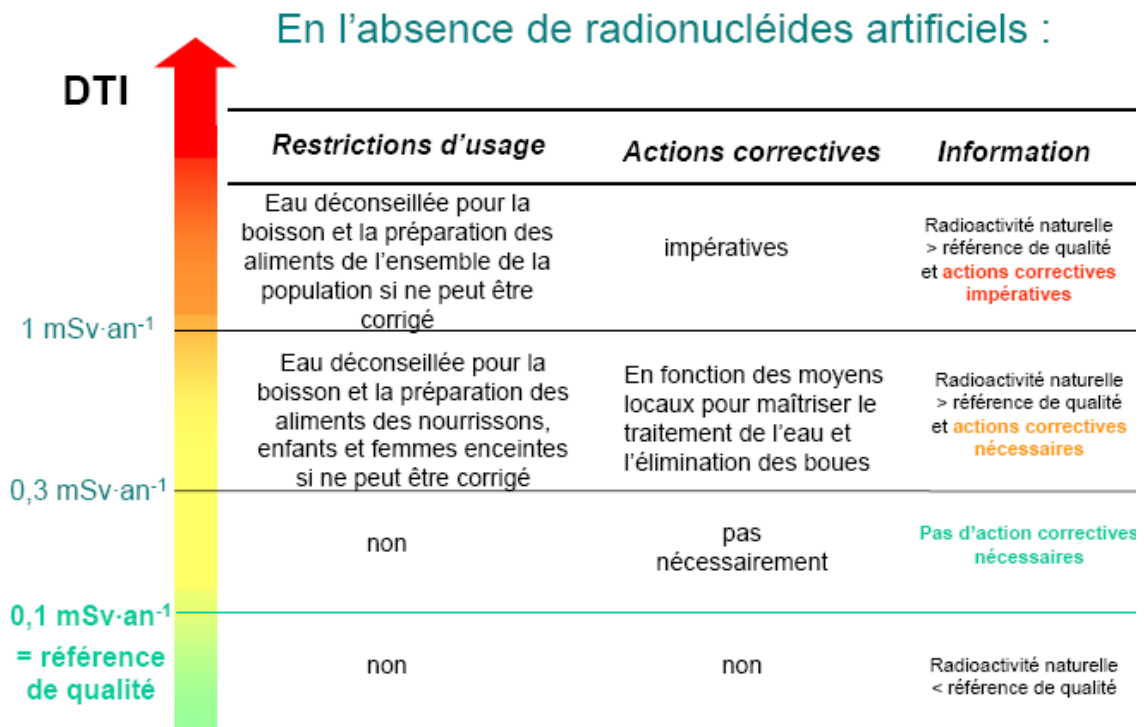
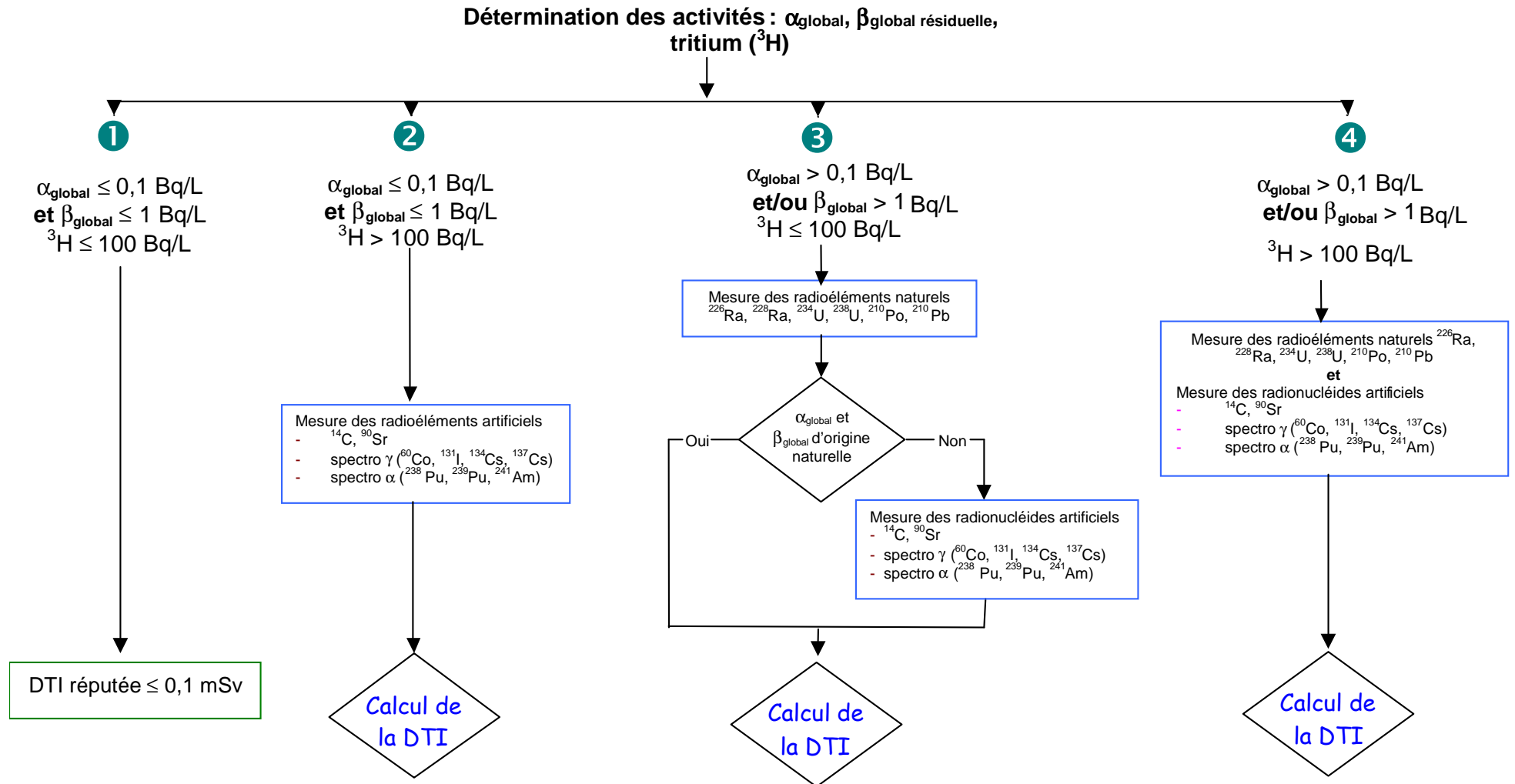


Figure 3 : Gestion des dépassements de la référence de qualité de la DTI et information du public

En cas de présence anormale de radionucléides d'origine naturelle et/ou artificielle, la conduite à tenir est fondée sur les recommandations fournies au cas par cas par l'ASN.



Source : Délibération de l'ASN n° 2007-DL-003 du 7 mars 2007 [1]

Figure 4 : Stratégie d'analyse de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine

2.2. L'enquête sur la qualité radiologique des eaux au robinet des consommateurs en 2007 réalisée auprès des DDASS

L'appréciation portée sur la qualité radiologique d'une eau est fondée sur le calcul de la DTI (voir la définition de la DTI, § 1.1.4).

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, et plus précisément au robinet des consommateurs.

Depuis le 11 janvier 2007, les analyses des activités alpha et bêta globales doivent être réalisées uniquement en production, autrement dit au point de mise en distribution. Auparavant, elles devaient aussi être effectuées à la ressource (cf- les lieux de prélèvement, § 2.1.3.3). De plus, la structure des réseaux d'eau potable est parfois complexe, certaines UDI étant alimentées par plusieurs captages ou plusieurs unités de production. Les analyses réalisées ne sont donc pas toujours directement représentatives de la qualité de l'eau d'une UDI. C'est pourquoi, à l'heure actuelle, la valeur de la DTI ne peut être estimée automatiquement pour chaque UDI à partir des résultats des analyses intégrés dans la base de données SISE-Eaux.

En outre, avant même l'instauration du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux le 1^{er} janvier 2005, des « études préalables » avaient été initiées dans certains départements pour évaluer la qualité radiologique des eaux. Ces études, anticipant la réglementation, ont permis une approche locale de la qualité radiologique des eaux distribuées, mais n'ont pas fait l'objet d'une intégration systématique dans la base SISE-Eaux.

Pour apprécier la qualité radiologique des eaux distribuées en 2007 au robinet des consommateurs à travers la valeur de la DTI, il est donc apparu indispensable et nécessaire d'utiliser l'expertise locale des services Santé-environnement des DDASS.

Une enquête a donc été lancée par circulaire du 14 mars 2008, demandant aux DDASS d'évaluer la DTI au robinet des consommateurs. En fonction de leur connaissance des UDI (mélanges possibles) et en supposant que la radioactivité de l'eau ne variait pas dans le réseau, les DDASS ont eu recours à une extrapolation des valeurs de DTI calculées pour les prélèvements réalisés, au cours de l'année 2007 ou des années antérieures le cas échéant et des suivis spécifiques éventuels, à la ressource et en production (point de mise en distribution), et parfois en distribution.

Lorsque cette extrapolation était possible, les UDI et les populations alimentées ont été classées selon trois situations distinctes :

- la DTI moyenne calculée sur l'année 2007 est inférieure ou égale à 0,1 mSv/an, qui constitue la référence de qualité fixée par le décret du 11 janvier 2007 ;
- la DTI moyenne calculée sur l'année 2007 est strictement supérieure à 0,1 et inférieure ou égale à 0,3 mSv/an (valeur considérée en France comme étant la dose efficace moyenne annuelle due à l'ingestion d'aliments naturellement faiblement radioactifs) ;
- la DTI moyenne calculée sur l'année 2007 est strictement supérieure à 0,3 mSv/an. Les UDI comptabilisées dans cette catégorie ne doivent pas l'être dans la catégorie précédente, même si une partie de l'année elles étaient dans cette situation.

L'ensemble des tableaux récapitulatifs, colligés par les services Santé-environnement des DRASS, a été retourné début mai 2008 à la DRASS de Basse-Normandie chargée de la synthèse nationale.

2.3. Les analyses des radionucléides réalisées pour le calcul de la DTI dans le cadre du contrôle sanitaire

2.3.1 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.

Ces analyses sont réalisées par l'IRSN (pour la plupart) ou par un laboratoire agréé par le ministère chargé de la santé (cf- § 2.1.3.2).

Dans ce bilan, seuls les résultats des analyses issus de la base de données de l'IRSN ont été considérés, car les résultats des analyses des radionucléides pris en compte dans le calcul de la DTI ne sont pas intégrés dans la base de données SISE-Eaux à l'heure actuelle.

2.3.2 Calcul de la concentration pondérale de l'uranium

Il existe plusieurs techniques d'analyse de l'uranium : il est possible de déterminer sa concentration pondérale ou de rechercher les activités de ses différents isotopes. Les méthodes de mesure dans les eaux sont normalisées sous la référence « NF M60-805 : Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement – Eaux » :

- partie 1 : mesure de la concentration de l'uranium dans l'eau par fluorimétrie ;
- partie 2 : mesure de la concentration de l'uranium dans l'eau par spectroscopie d'émission atomique avec plasma couplé par induction ;
- partie 3 : mesure de la concentration de l'uranium dans l'eau par scintillation liquide alpha ;
- partie 4 : mesure de l'uranium dans l'eau par spectrométrie de masse avec plasma couplé par induction ;
- partie 5 : mesure de l'activité et de la concentration de l'uranium dans l'eau par spectrométrie alpha.

Sur la base des activités des différents isotopes de l'uranium mesurées, il est possible 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 (λ) caractéristique de chaque radionucléide selon la formule : $A = \lambda \cdot N$

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

où m : masse d'un composé X

N_{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

	²³⁴ U	²³⁸ U	²³⁵ U
Période T (ans)	2,46.10 ⁵	4,47.10 ⁹	7,04.10 ⁸
λ (s ⁻¹)	8,95.10 ⁻¹⁴	4,92.10 ⁻¹⁸	3,12.10 ⁻¹⁷

Par exemple, il est possible de calculer l'équivalence suivante :

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

3. Résultats

3.1. Les résultats du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux mis en œuvre par les DDASS de 2005 à 2007

3.1.1 Les prélèvements

3.1.1.1. Nombre de prélèvements réalisés sur la période de l'étude

Le contrôle sanitaire de la qualité radiologique de l'eau a été mis en place à partir du 1^{er} janvier 2005. En 2005, 17 846 prélèvements ont été réalisés, puis 19 321 en 2006.

Compte-tenu des fréquences du contrôle sanitaire applicables (1 analyse de radioactivité tous les 5 à 10 ans pour les plus petites UDI), certaines UDI ne font pas l'objet d'une analyse chaque année. Cela peut expliquer la diminution du nombre de prélèvements réalisés en 2007 (14 696).

En moyenne, environ 17 300 prélèvements ont été réalisés annuellement entre 2005 et 2007 dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux, correspondant à plus de 50 000 analyses des indicateurs de la qualité radiologique des eaux mesurés chaque année (Tableau 7).

Tableau 7 : Nombre de prélèvements réalisés et d'installations contrôlées entre 2005 et 2007 dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux

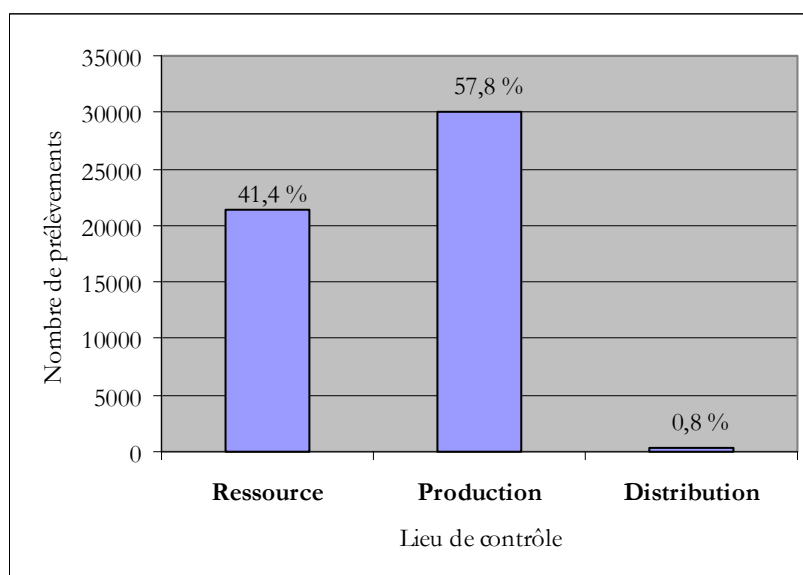
	2005		2006		2007		Nombre total de prélèvements (2005-2007)
	Nombre de prélèvements	Nombre d'installations contrôlées	Nombre de prélèvements	Nombre d'installations contrôlées	Nombre de prélèvements	Nombre d'installations contrôlées	
Activité alpha globale	17 718	13 896	19 185	14 564	14 417	11 003	51 320
Activité bêta globale résiduelle	17 713	13 895	19 205	14 558	14 403	10 991	51 321
Activité tritium	10 728	8 492	11 423	8 625	10 591	8 001	32 742
DTI	246	233	317	294	271	245	834
Total	17 846	13 964	19 321	14 611	14 699	11 180	51 866

Remarque : Certains prélèvements peuvent avoir servi à faire plusieurs analyses ; c'est pourquoi, le nombre total de prélèvements ne correspond pas à la somme des prélèvements effectués pour l'analyse de chacun des quatre indicateurs de la qualité radiologique de l'eau.

Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

La majorité des prélèvements (57,8 %) pour analyse des indicateurs de la qualité radiologique des eaux a été réalisée en production, juste après la station de traitement.

Les autres prélèvements ont principalement été réalisés au niveau de la ressource (41,4 %), c'est-à-dire avant la station de traitement, sur l'eau brute (Figure 5 et Tableau 8).



Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

Figure 5 : Répartition des prélèvements selon le lieu de contrôle – Données 2005-2007

Tableau 8 : Nombre de prélèvements, de mesures et d'installations contrôlées en fonction du lieu de prélèvement dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux – Données 2005-2007

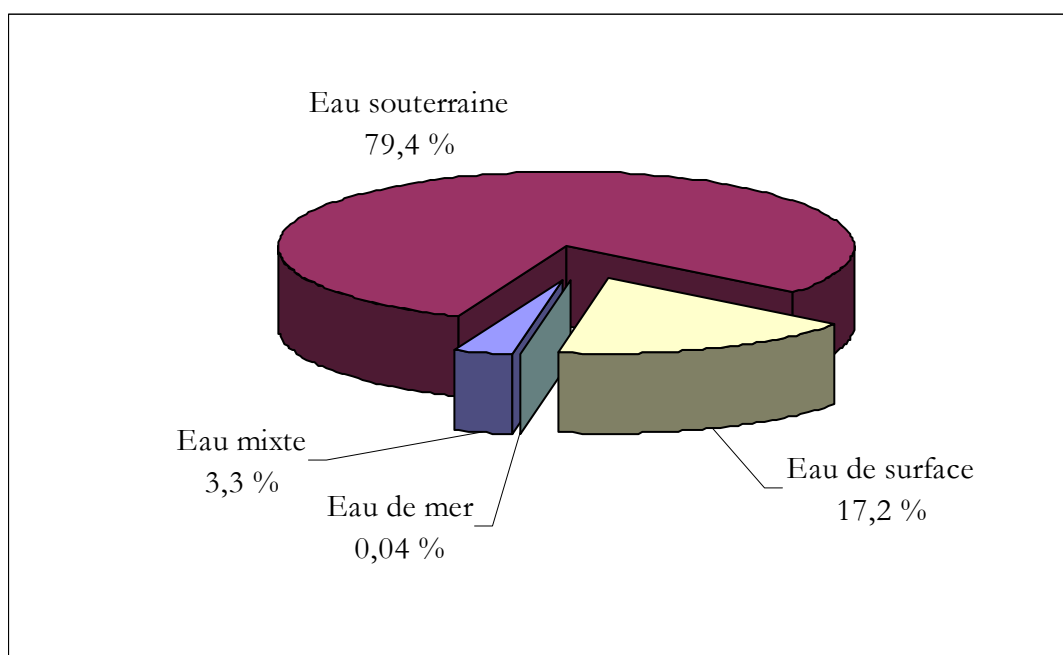
	Lieux de prélèvement						Total	
	Ressource		Production		Distribution			
	en nombre	en %	en nombre	en %	en nombre	en %	en nombre	en %
Prélèvements	21 474	41,4 %	29 969	57,8 %	423	0,8 %	51 866	100,0 %
Mesures	54 470	35,9 %	95 921	63,3 %	1 213	0,8 %	151 604	100,0 %
Installations contrôlées	13 145	52,3 %	11 675	46,5 %	301	1,2 %	25 121	100,0 %

Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

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 17 % sur des eaux d'origine superficielle.

Un peu plus de 3 % 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 9).



Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

Figure 6 : Répartition des prélèvements selon l'origine de l'eau – Données 2005-2007

Bien que les prises d'eau superficielle ne représentent que 5 % du nombre total de captages, un peu plus de 17 % des prélèvements sont réalisés sur des eaux mises en distribution 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 9 : Nombre de prélèvements réalisés et d'installations contrôlées entre 2005 et 2007 dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux en fonction de l'origine de l'eau

	Eau souterraine		Eau de surface		Eau mélangée		Eau de mer		Nombre total de prélèvements (2005-2007)
	Nombre de prélèvements	Nombre d'installations contrôlées	Nombre de prélèvements	Nombre d'installations contrôlées	Nombre de prélèvements	Nombre d'installations contrôlées	Nombre de prélèvements	Nombre d'installations contrôlées	
Activité alpha globale	40 518	22 854	9 224	1 711	1 474	381	30	5	51 320
Activité bêta globale résiduelle	40 501	22 838	9 237	1 711	1 479	380	30	5	51 321
Activité tritium	26 815	13 652	4 529	966	1 356	365	2	2	32 742
DII	795	638	16	13	23	12	0	0	834
Total	40 993	22 964	9 268	1 714	1 499	384	30	5	51 866

Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

Remarque : La différence entre la somme des prélèvements réalisés dans chacune des quatre catégories d'eau et le total 2005-2007 est due à quelques prélèvements d'eau d'origine inconnue.

3.1.1.3. Répartition géographique des contrôles

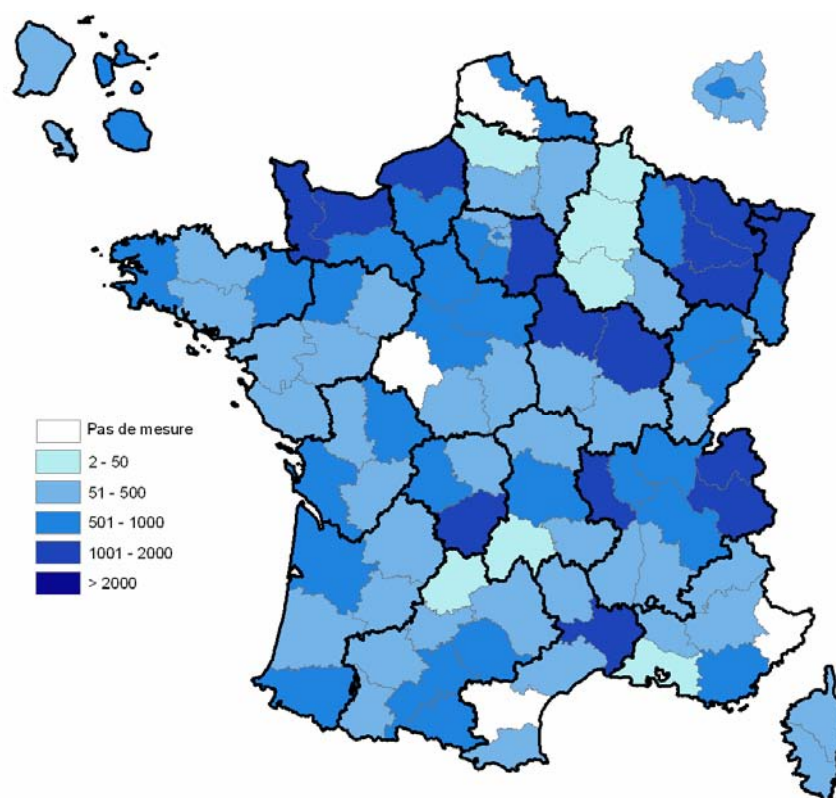
Dans quinze départements (Calvados, Corrèze, Côte-d'Or, Gard, Loire, Manche, Meurthe-et-Moselle, Moselle, Bas-Rhin, Savoie, Haute-Savoie, Seine-Maritime, Seine-et-Marne, Vosges et Yonne), le nombre de prélèvements réalisés et intégrés dans la base SISE-Eaux au cours de la période 2005 - 2007 est supérieur à 1 000.

Dans sept départements (Ardennes, Aube, Bouches-du-Rhône, Cantal, Lot, Marne et Somme) le nombre de prélèvements réalisés et intégrés dans la base SISE-Eaux au cours de la même période est inférieur à 50.

Pour 4 départements (Alpes-Maritimes, Aude, Indre-et-Loire et Pas-de-Calais), aucune donnée n'est disponible, car selon les cas :

- aucune analyse n'a été réalisée ;
- les données n'ont pas été intégrées dans la base SISE-Eaux.

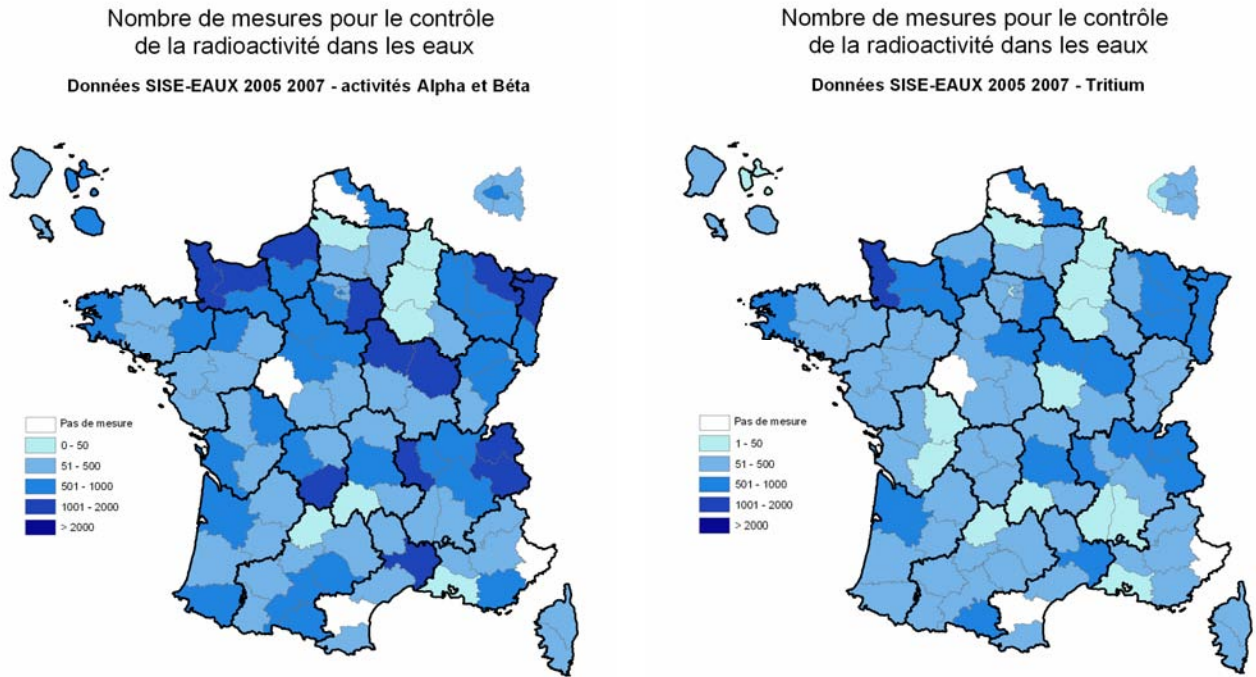
En moyenne, environ 170 prélèvements par département (soit environ 500 mesures d'activités alpha et bêta globale, de tritium et de calculs de DTI) ont été réalisés chaque année entre 2005 et 2007 (Carte 1).



Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

Carte 1 : Nombre de prélèvements réalisés dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux - Données 2005-2007

Le nombre d'analyses des activités alpha globale, bêta globale et tritium réalisées par département sur la période 2005-2007 est illustré ci-dessous (Carte 2).



Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

Carte 2 : Nombre de mesures des activités alpha globale, bêta globale et tritium réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux - Données 2005-2007

3.1.2 Les résultats d'analyses

3.1.2.1. Les résultats d'analyse du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux

Les résultats du contrôle sanitaire réalisé aux niveaux de la ressource, de la production et de la distribution entre 2005 et 2007 sont présentés dans le Tableau 10 ci-après.

Ils permettent de faire 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 (4,55 % des échantillons ont présenté une activité alpha globale supérieure à 0,1 Bq/L) ;
- plus de 99,9 % des échantillons prélevés ont présenté une activité bêta globale résiduelle inférieure ou égale à la valeur guide (0,09 % des échantillons ont présenté une activité bêta globale supérieure à 1 Bq/L) ;
- près de 85 % 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 (14,36 % des échantillons ont présenté une DTI comprise entre 0,1 mSv/an et 0,3 mSv/an et 1,40 % des échantillons ont présenté une DTI supérieure à 0,3 mSv/an).

Les dépassements des valeurs guides ou des références de qualité radiologique de l'eau observés entre 2005 et 2007 dans les eaux distribuées par le réseau d'eau potable sont tous dus à la présence de radionucléides naturels.

Tableau 10 : Résultats du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux entre 2005 et 2007

		2005		2006		2007		Total (2005-2007)					
		Nombre de prélèvements	Dépassements des valeurs guides ou références de qualité		Nombre de prélèvements	Dépassements des valeurs guides ou références de qualité		Nombre de prélèvements	Dépassements des valeurs guides ou références de qualité				
			Nombre	%		Nombre	%		Nombre	%	Nombre	%	
Activité alpha globale		17 718	717	4,05 %	19 185	929	4,89 %	14 417	685	4,75 %	51 320	2 331	4,55 %
Activité bêta globale résiduelle		17 713	14	0,08 %	19 205	21	0,11 %	14 403	13	0,09 %	51 321	48	0,09 %
Activité tritium		10 728	0	0,00 %	11 423	0	0,00 %	10 591	0	0,00 %	32 742	0	0,00 %
DTI (mSv/an)	0,1 < DTI ≤ 0,3	246	25	10,16%	317	47	14,83%	271	49	18,08%	834	121	14,36%
	0,3 < DTI		1	0,41 %		5	1,58 %		6	2,21 %		12	1,40 %
Total		17 846	730	-	19 321	951	-	14 699	728	-	51 866	2 409	-

Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

3.1.2.2. L'influence de l'origine des eaux sur leur qualité radiologique

Dans les eaux souterraines, les dépassements des valeurs des indicateurs de la qualité radiologique sont un peu plus fréquents pour l'activité alpha globale (5,34 %, soit 2 164 dépassements) et la DTI (16,10 %, soit 128 dépassements) que dans les eaux superficielles (respectivement 1,01 % et 0,00 % de dépassements, soit 93 et 0 dépassements) (Tableau 11).

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

Les valeurs de l'activité bêta globale résiduelle sont, quant à elles, sensiblement égales dans les eaux souterraines (0,04 %, soit 17 dépassements) et dans les eaux superficielles (0,12 %, soit 11 dépassements).

Tableau 11 : Répartition du nombre d'analyses inférieures ou supérieures aux indicateurs de la qualité radiologique de l'eau selon l'origine de l'eau – Données 2005-2007

	Eau souterraine	Eau de surface
Activité alpha globale	<p>94,66%</p> <p>5,34%</p> <p>■ Activité alpha globale ≤ 0,1 Bq/L ■ Activité alpha globale > 0,1 Bq/L</p>	<p>98,99%</p> <p>1,01%</p> <p>■ Activité alpha globale ≤ 0,1 Bq/L ■ Activité alpha globale > 0,1 Bq/L</p>
Activité bêta globale résiduelle	<p>99,96%</p> <p>0,04%</p> <p>■ Activité bêta globale résiduelle ≤ 1 Bq/L ■ Activité bêta globale résiduelle > 1 Bq/L</p>	<p>99,88%</p> <p>0,12%</p> <p>■ Activité bêta globale résiduelle ≤ 1 Bq/L ■ Activité bêta globale résiduelle > 1 Bq/L</p>
DTI	<p>83,90%</p> <p>16,10%</p> <p>■ DTI ≤ 0,1 mSv/an ■ DTI > 0,1 mSv/an</p>	<p>100,00%</p> <p>0,00%</p> <p>■ DTI ≤ 0,1 mSv/an ■ DTI > 0,1 mSv/an</p>

Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

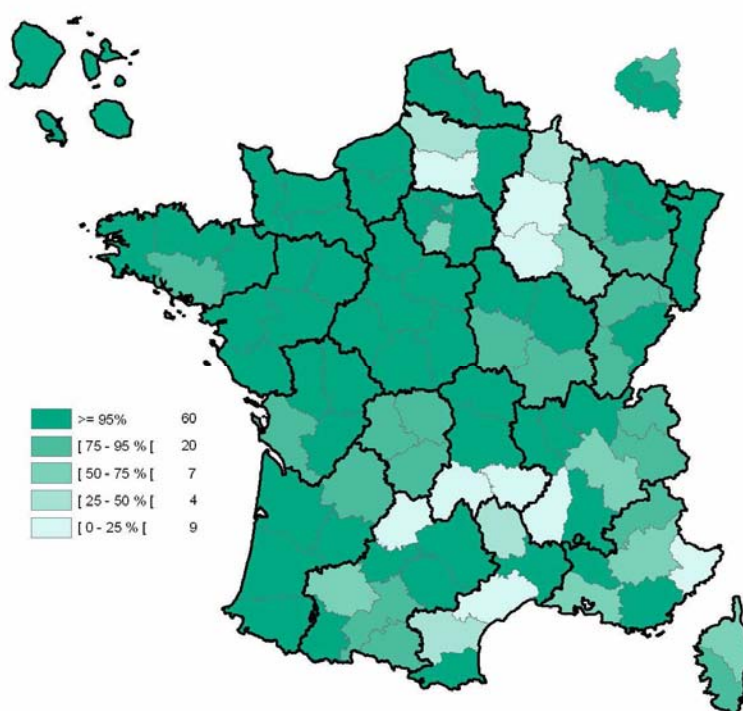
3.2. Les résultats de l'enquête réalisée auprès des DDASS sur la qualité de l'eau distribuée au robinet des consommateurs en 2007

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

Des informations sur la qualité des eaux au robinet du consommateur vis-à-vis de la radioactivité ont été obtenues à l'échelon national pour 15 837 UDI sur 26 218, soit environ 3 sur 5 (60,41 %) alimentant 87,00 % de la population (soit près de 53,2 millions d'habitants) desservie par le réseau de distribution (61,1 millions d'habitants au total) en 2007 (Tableau 12).

Dans 60 départements (Carte 3), le pourcentage de la population pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a été évaluée est supérieur ou égal à 95 %.

Dans 13 départements, ce pourcentage est inférieur à 50 %.



Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

Carte 3 : Pourcentage de la population pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a été évaluée – Année 2007

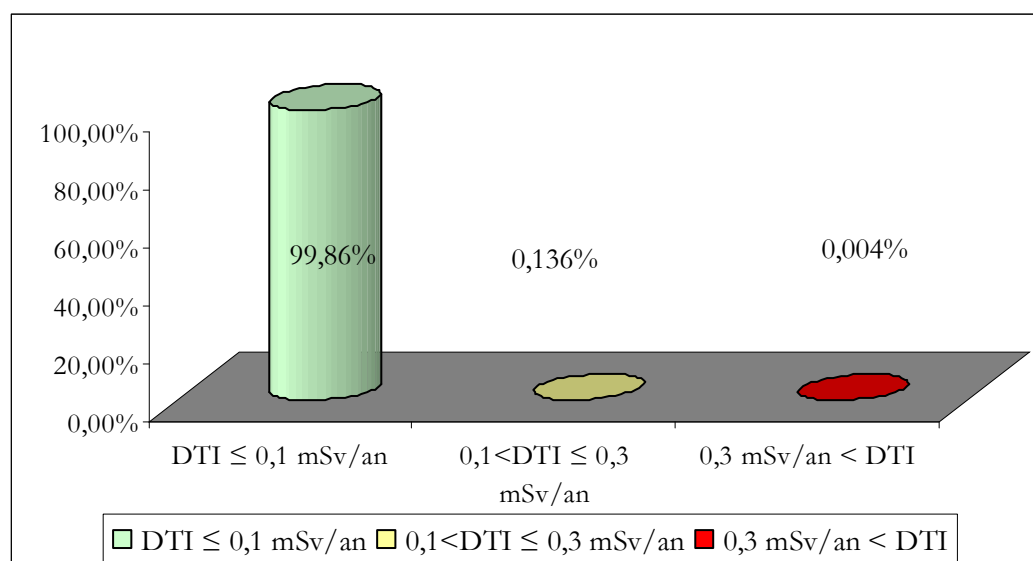
3.2.2 Les résultats de l'enquête sur la qualité radiologique de l'eau distribuée au robinet des consommateurs en 2007

Les résultats de l'enquête sur la qualité radiologique de l'eau distribuée au robinet des consommateurs en 2007 sont présentés dans le Tableau 12.

Tableau 12 : DTI moyenne dans les eaux au robinet du consommateur - Données 2007

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	15 773	99,60 %	53 113 028	99,86 %	3 367
0,1 < DTI ≤ 0,3	60	0,38 %	72 033	0,14 %	1 201
0,3 < DTI	4	0,03 %	1 961	0,004 %	490
Données non disponibles	10 381	-	7 942 808	-	765

Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux



Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

Figure 7 : Répartition de la population en fonction de la qualité radiologique de l'eau distribuée – Données 2007

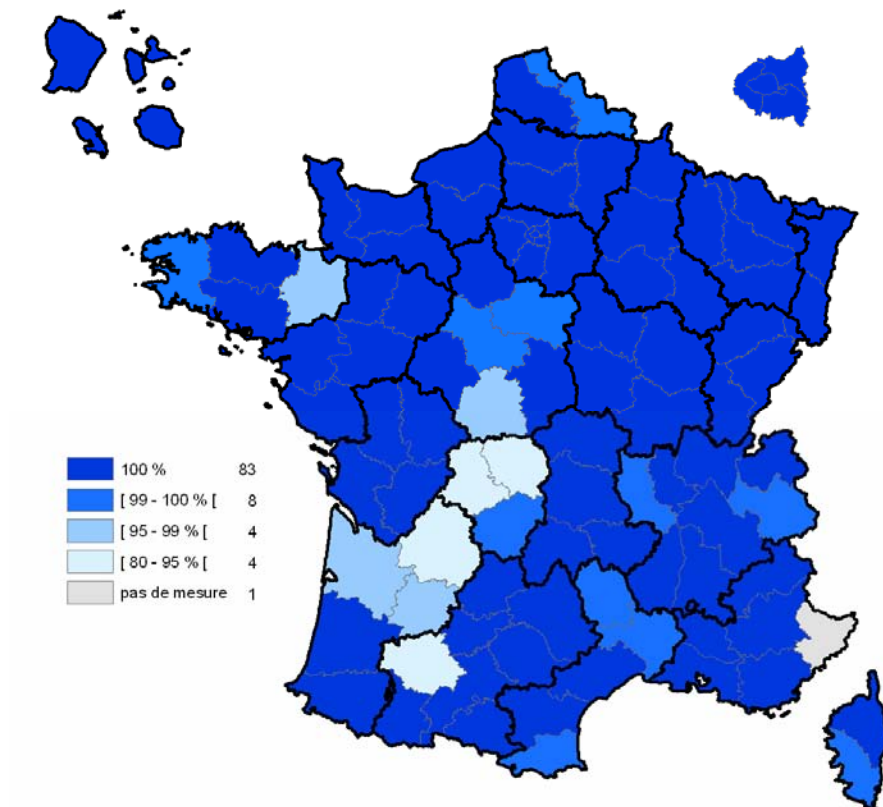
3.2.3 Les situations où DTI moyenne ≤ 0,1 mSv/an

Les situations où la DTI moyenne calculée sur l'année 2007 a été inférieure ou égale à 0,1 mSv/an pendant toute l'année ont concerné 15 773 UDI, soit 53,1 millions de personnes (Figure 7).

Dans 95 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 (Carte 4).

Dans 4 départements, 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 la référence de qualité.

Dans le département des Alpes-Maritimes, la DTI moyenne de l'eau distribuée au robinet des consommateurs en 2007 n'a pas encore été évaluée au moment de l'élaboration du présent rapport.

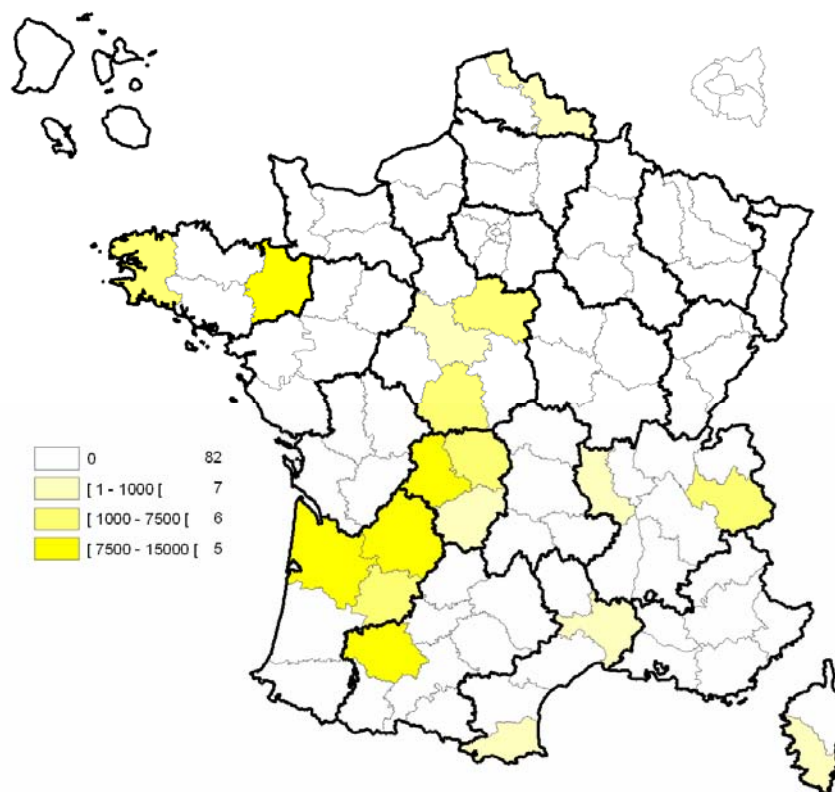


Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

**Carte 4 : Pourcentage de la population desservie par une eau pour laquelle :
DTI moyenne \leq 0,1 mSv/an – Année 2007**

3.2.4 Les 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 64 UDI en 2007, soit 73 994 personnes (Tableau 12 et Carte 5).



Source : Ministère chargé de la santé – DDASS – SISE-Eaux

**Carte 5 : Population ayant été alimentée par de l'eau pour laquelle :
DTI moyenne > 0,1 mSv/an – Année 2007**

3.2.4.1. Les situations n'ayant pas nécessité une restriction des usages alimentaires de l'eau

Sur les 73 994 personnes approvisionnées avec une eau dont la DTI moyenne a dépassé la référence de qualité en 2007, 72 033 d'entre l'ont été avec une eau dont la DTI moyenne était inférieure ou égale à 0,3 mSv/an.

Cette situation a concerné 60 UDI réparties dans 18 départements français, notamment la Dordogne, le Gers, la Gironde, l'Ille-et-Vilaine et la Haute-Vienne (Carte 5).

Conformément à la circulaire du 13 juin 2007 [k], il n'y a pas eu de restriction des usages alimentaires de l'eau.

3.2.4.2. Les situations pour lesquelles des solutions de réduction des expositions devraient, en cas de confirmation, être recherchées au cas par cas

Sur les 73 994 personnes alimentées par une eau dont la DTI moyenne a dépassé la référence de qualité en 2007, 1 961 l'ont été par de l'eau dont la DTI moyenne était supérieure à 0,3 mSv/an.

Cette situation a concerné 4 UDI de faible taille (490 habitants en moyenne) situées dans 2 départements : la Corrèze et la Savoie (Carte 5).

En Corrèze, de nouveaux prélèvements ont été programmés pour l'année 2008, afin de confirmer ou d'infirmer les résultats obtenus en 2007 à partir d'une unique analyse (qui met en évidence la

présence de plomb-210 et, dans une moindre mesure, d'uranium-234 et -238 et de polonium-210).

De plus, des notes à joindre à la facture d'eau doivent être diffusées aux exploitants pour informer les consommateurs sur la qualité de l'eau distribuée, conformément aux consignes de la circulaire du 13 juin 2007 [k].

Une position sanitaire sera adoptée en fonction des résultats des contrôles sanitaires réalisés en 2008 sur l'UDI concernée qui alimente 11 personnes (ces résultats ne sont pas connus au moment de la rédaction du présent rapport).

En Savoie, les trois dépassements ont été observés en fin d'année 2007. Des analyses de confirmation sur les trois points de surveillance en dépassement ont été réalisées fin 2008.

Les nouveaux résultats concluent pour deux sites à une activité alpha globale d'origine naturelle (présence d'uranium naturel : uranium-234 et uranium-238), les ressources se situant dans un massif granitique où la recherche d'uranium a été envisagée il y a plusieurs dizaines d'années.

Dans deux des cas, la nouvelle DTI mesurée est inférieure à la référence de qualité de 0,1 mSv/an (la mise en place d'un filtre au GEH pour traiter l'arsenic peut expliquer la baisse de la DTI sur l'une des deux UDI).

Pour le troisième site, la nouvelle DTI mesurée est comprise entre 0,1 et 0,3 mSv/an, conformément à la circulaire du 13 juin 2007 [k], il n'y a pas eu de restriction des usages alimentaires de l'eau, une simple information de la population a été effectuée.

Dans les 4 cas ci-dessus, la radioactivité est d'origine naturelle et un contrôle sanitaire renforcé a été instauré, afin de mieux caractériser la variabilité de la DTI dans le temps.

Par ailleurs, un nouveau cas de dépassement pour lequel la DTI est supérieure à 0,3 mSv/an (en raison de la présence de radium-228) a d'ores et déjà été identifié en Guyane pour l'année 2008. Après confirmation des résultats par un laboratoire agréé, des restrictions de consommation ont été prononcées pour les nourrissons, les enfants (de moins de 17 ans) et les femmes enceintes. De plus, la fréquence du contrôle sanitaire de la qualité radiologique de l'eau a été augmentée. Par ailleurs, la recherche d'une autre ressource en eau pour alimenter la population (environ 2 000 habitants concernés) est actuellement à l'étude.

3.3. Les résultats des analyses des radionucléides réalisées pour le calcul de la DTI par l'IRSN entre 2005 et 2007 dans le cadre du contrôle sanitaire

3.3.1 Les principaux radionucléides à l'origine des situations où la DTI moyenne dépasse la valeur guide de 0,1 mSv/an

Les résultats des analyses des radionucléides réalisées pour le calcul de la DTI appellent les commentaires suivants :

- il apparaît 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 ;
- les analyses de radium 228 et de plomb 210 sont désormais réalisées de façon quasi-systématique ;
- le plomb 210 est présent à des activités importantes est constatée 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.

La Figure 8 illustre le pourcentage d'échantillons d'eau dans lesquels les différents radionucléides analysés ont été rencontrés.

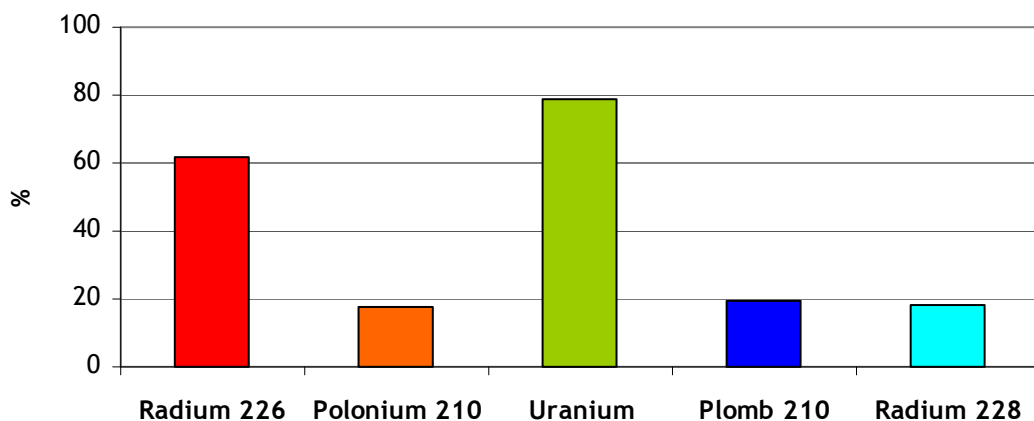


Figure 8 : Pourcentage d'échantillons d'eau dans lesquels les différents radionucléides analysés ont été rencontrés – Année 2007

3.3.2 Résultats pour l'uranium

L'IRSN dispose d'un panel de 472 valeurs d'uranium mesurées dans des eaux mises en distribution entre 2005 et 2007, en vue d'un calcul de DTI, sur un total de 1 926 échantillons reçus pour analyse de la radioactivité.

La mesure pratiquée en routine est celle des isotopes 234 et 238 de l'uranium par radiochimie suivie d'une spectrométrie alpha. Les valeurs en uranium 235 sont, en général, non significatives et ne seront donc pas présentées ni prises en compte dans la suite du document.

Sur la base des mesures d'activités, la concentration en uranium pondéral des échantillons a été calculée à partir des formules présentées précédemment (cf- § 2.3.2).

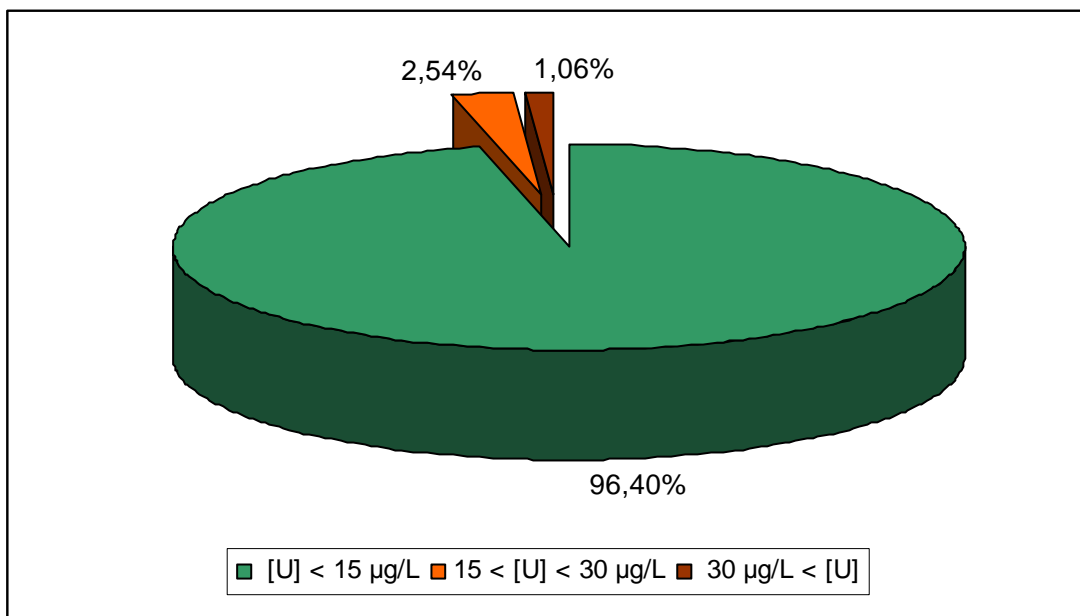


Figure 9 : Distribution des concentrations en uranium pondéral mesurées par l'IRSN dans un panel de 472 échantillons d'eau mise en distribution entre 2005 et 2007

La valeur moyenne des données est de 3,08 µg/L. Les valeurs se situent dans une fourchette allant de 0,15 à 112,5 µg/L.

455 résultats sont inférieurs à la valeur guide provisoire de l'OMS de 15 µg/L et 17 résultats sont supérieurs, soit respectivement 96,40 % et 3,60 % des échantillons ayant fait l'objet d'une analyse d'uranium sur la période de 3 ans (Figure 9).

Les échantillons concernés par les valeurs supérieures à 15 µg/L sont des cas isolés qui proviennent des départements suivants : Cantal, Gard, Haute-Garonne, Gironde, Hérault, Isère, Loire, Lozère, Manche, Nord, Orne et Tarn.

Ces résultats ne sont pas représentatifs de la qualité radiologique de toutes les eaux distribuées en France, mais seulement des analyses réalisées par l'IRSN pour le calcul de la DTI, c'est-à-dire seulement lorsqu'il y avait un dépassement des valeurs guide de l'activité alpha globale et/ou de l'activité bêta globale résiduelle (cf- § 2.1.4).

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 Les 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. En effet, 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 distribuée.

4.1.2 Les 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 auteurs¹⁷, 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 : les résultats obtenus montrent qu'il n'est pas possible de faire une hypothèse sur l'un de ces deux

¹⁷ 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.

radionucléides pour en déduire l'activité du second, bien qu'ils aient a priori le même comportement chimique (solubilité par exemple).

Certains résultats d'analyses entrés dans SISE-Eaux entre 2005 et 2007 n'ont pas été obtenus par des laboratoires agréés par le ministère chargé de la santé. En effet, le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux est obligatoire depuis le 1^{er} janvier 2005 et les laboratoires n'ont commencé à être agréés pour ces analyses qu'à la même époque. Dans l'attente d'un nombre suffisant de laboratoires agréés pour réaliser toutes les analyses du contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux, certaines DDASS ont dû avoir recours à d'autres laboratoires. Lors des analyses des radionucléides réalisées pour calculer la DTI, certains des laboratoires non agréés ont fait des hypothèses d'équilibre entre les radionucléides au lieu de les mesurer directement.

Cependant, le recours à des laboratoires agréés se généralise progressivement, ce qui améliore au fur et à mesure les méthodes de prélèvements et d'analyses.

Enfin, dans certains départements, les résultats du contrôle sanitaire n'ont pas été intégrés à la base de données SISE-Eaux. Ceci est souvent dû au fait que les modalités de transfert des données relatives à la DTI par voie informatique entre les laboratoires agréés et les laboratoires qui sous-traitent les analyses ou les services Santé-environnement des DDASS n'ont pas encore été définies, ce qui ne facilite pas les transferts de données vers la base SISE-Eaux.

4.1.3 La fréquence du contrôle sanitaire

Globalement, le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux a bien été mis en place par les DDASS depuis le 1^{er} janvier 2005, il subsiste cependant des cas (concernant 2 UDI sur 5 alimentant 13,0 % de la population desservie par le réseau de distribution) où il n'y a pas encore eu d'analyse des indicateurs de la qualité radiologique de l'eau.

En effet, compte-tenu des fréquences du contrôle sanitaire applicables, les UDI les plus petites ne font pas l'objet d'une analyse annuelle. A minima, pour les unités alimentant moins de 500 habitants, ce contrôle doit être réalisé tous les 5 ans, voire tous les 10 ans pour celles alimentant moins de 50 habitants. Néanmoins, conformément aux objectifs fixés par la circulaire du 13 juin 2007 [k], une analyse de référence devra être réalisée pour caractériser la qualité radiologique des eaux dans l'ensemble des UDI en juin 2009 au plus tard.

A l'exception d'UDI importantes, la fréquence du contrôle sanitaire ne permet pas une surveillance précise des fluctuations de la qualité radiologique des eaux constatées sur le terrain (dues aux mélanges d'eau, aux dégazages de radon dans les réservoirs, aux variations saisonnières etc.). Un recul de 1 à 2 ans de résultats ne saurait être suffisant, en particulier dans les secteurs où le sous-sol est marqué par une concentration significative en radon ou en uranium par exemple.

La faible fréquence du contrôle sanitaire de la qualité radiologique ne suffit toutefois pas à expliquer l'absence totale d'analyses dans certains départements.

4.2. **Uranium : risque chimique et risque radiologique**

Dans ses dernières recommandations de 2004 relatives à la qualité des eaux de boisson¹⁸, l'OMS indique que l'uranium est un métal présentant une toxicité chimique. En effet, à une concentration donnée, sa toxicité chimique est supérieure à sa toxicité radiologique. Son action est la plus significative au niveau des reins et du tube digestif. Sur la base d'études d'ingestion

¹⁸ *Guidelines for Drinking Water Quality – Third Edition – Volume 1 – WHO, 2004* (http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/uranium290605.pdf).

chez le rat¹⁹, la concentration d'uranium la plus faible susceptible d'induire des lésions a été évaluée à 60 µg/kg de poids corporel/jour. L'extrapolation de ces résultats à l'Homme, en retenant un facteur de sécurité arrondi à 100, a permis de déterminer une valeur toxicologique de référence pour l'uranium, basée sur sa toxicité chimique, et de proposer une valeur guide provisoire dans l'eau de boisson égale à 15 µg/L.

Aux Etats-Unis, la valeur maximale dans l'eau de boisson est actuellement fixée à 30 µg/L (2000)²⁰ et au Canada, à 20 µg/L (2001)²¹.

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, actuellement en vigueur [f], ni dans le code de la santé publique²².

En l'absence de valeur réglementaire, l'interprétation d'analyses chimiques de l'uranium requiert de faire appel à l'expertise de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) pour, d'une part, fixer une exigence de qualité pour l'uranium dans les eaux destinées à la consommation humaine et, d'autre part, préciser les risques sanitaires liés aux situations de dépassement de cette exigence, afin de définir les modalités de gestion des situations où la concentration en uranium dans l'eau de boisson est anormalement élevée.

¹⁹ Toxicol Sci n°41, Gilman et al. (1998) ; Health Physics n°44, Sullivan et al. (1983).

²⁰ *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>).

²¹ 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).

²² 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.

5. Conclusion

A partir des données de SISE-Eaux, les résultats du contrôle sanitaire réalisé au niveau de la ressource, de la production et de la distribution entre 2005 et 2007 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 (4,55 % des échantillons ont présenté une activité alpha globale supérieure à 0,1 Bq/L) ;
- plus de 99,9 % des échantillons prélevés ont présenté une activité bêta globale résiduelle inférieure ou égale à la valeur guide (0,09 % des échantillons ont présenté une activité bêta globale supérieure à 1 Bq/L) ;
- près de 85 % 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 (14,36 % des échantillons ont présenté une DTI comprise entre 0,1 mSv/an et 0,3 mSv/an et 1,40 % des échantillons ont présenté une DTI supérieure à 0,3 mSv/an).

Les dépassements des valeurs guides ou des références de qualité radiologique de l'eau observés entre 2005 et 2007 sont tous dus à la présence de radionucléides naturels.

Les analyses à la ressource et en production ont permis, par extrapolation, d'évaluer la qualité radiologique des eaux distribuées en 2007 au robinet des consommateurs pour 15 837 UDI sur 26 218 (soit 60,4 %) alimentant 87,0 % de la population desservie par le réseau de distribution. Cette évaluation montre que l'eau distribuée en France en 2007 était de qualité radiologique très satisfaisante :

- 99,86 % de la population desservie par le réseau de distribution et pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a été évaluée (53,1 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 ;
- 0,14 % de la population desservie par le réseau de distribution et pour laquelle la qualité radiologique de l'eau a été évaluée (73 994 personnes concernées) n'a pas été alimentée par une eau dont la qualité respectait en permanence les valeurs guides et références de qualité fixées par la réglementation :
 - 72 033 personnes ont reçu une eau dont la DTI moyenne était inférieure ou égale à 0,3 mSv/an. Pour les 60 UDI concernées, conformément à la circulaire du 13 juin 2007 [k], il n'y a pas eu de restriction des usages alimentaires de l'eau.
 - 1 961 personnes ont reçu une eau dont la DTI moyenne était supérieure à 0,3 mSv/an. Pour les 4 UDI concernées, le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux a été renforcé et des solutions de réduction des expositions seront recherchées au cas par cas si ces dépassements sont confirmés en 2008.

Enfin, les analyses de radionucléides réalisées par l'IRSN entre 2005 et 2007 pour le calcul de la DTI ont permis d'observer notamment 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.

En ce qui concerne la concentration massique de l'uranium estimée à partir des mesures réalisées par l'IRSN entre 2005 et 2007 sur chaque échantillon présentant un dépassement de la valeur guide pour l'activité alpha globale et/ou bêta globale résiduelle, la valeur moyenne obtenue est de 3,08 µg/L. 17 résultats dépassent la valeur guide provisoire de l'OMS (15 µg/L), soit 3,6 % des échantillons ayant fait l'objet d'une analyse d'uranium en vue d'un calcul de DTI. Les valeurs se situent dans une fourchette allant de 0,15 à 112,5 µg/L.

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 (J.O. du 18 juin 2004).
- 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 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 (J.O. du 6 février 2007).
- h. World Health Organization (WHO) 2006, Guidelines for drinking-water quality, third edition.
- i. Décret n° 2001-215 du 8 mars 2001 modifiant le décret n° 66-450 du 20 juin 1966 relatif aux principes généraux de protection contre les rayonnements ionisants.
- j. 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, pris en application des articles R. 1321-10, R. 1321-15 et R. 1321-16 du code de la santé publique (J.O. du 11 février 2007).
- k. 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.
- l. 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.
- m. 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.

Annexe 1 : Techniques d'analyses de la radioactivité dans les eaux

- **Détermination de l'indice de radioactivité alpha global sur dépôt par évaporation et mesure par scintillation solide (norme NF M 60-801)** : 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 M 60-800)** : 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 (méthode interne inspirée de NF M60-807)** : 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 (méthode interne pour l'IRSN)** : 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 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).**