



**Avis n° 2018-AV-0302 de l’Autorité de sûreté nucléaire du 6 mars 2018
sur les modalités de gestion du radon dans le cadre du contrôle sanitaire de
la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine**

L’Autorité de sûreté nucléaire,

Vu la directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 modifiée relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine ;

Vu la directive 2013/51/Euratom du Conseil du 22 octobre 2013 fixant des exigences pour la protection de la santé de la population en ce qui concerne les substances radioactives dans les eaux destinées à la consommation humaine ;

Vu le code de la santé publique, notamment ses articles R. 1321-3 et suivants ;

Vu l’arrêté du 12 mai 2004 modifié fixant les modalités de contrôle de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine ;

Vu l’arrêté du 9 décembre 2015 fixant les modalités de mesure du radon dans les eaux destinées à la consommation humaine, y compris dans les eaux conditionnées à l’exclusion des eaux minérales naturelles, et dans les eaux utilisées dans une entreprise alimentaire ne provenant pas d’une distribution publique, dans le cadre du contrôle sanitaire, pris en application des articles R. 1321-10, R. 1321-15 et R. 1321-16 du code de la santé publique, notamment son article 3 ;

Vu l’arrêté du 5 juillet 2016 relatif aux conditions d’agrément des laboratoires pour la réalisation des prélèvements et des analyses du contrôle sanitaire des eaux ;

Vu la circulaire n° 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 ;

Vu la recommandation 2001/928/Euratom de la Commission du 20 décembre 2001 concernant la protection de la population contre l’exposition au radon dans l’eau potable ;

Saisie le 29 décembre 2017 par le directeur général de la santé du rapport intitulé « Contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine : cas du radon », qui a vocation à être diffusé aux agences régionales de santé par instruction ministérielle ;

Considérant que la directive du 22 octobre 2013 susvisée fixe des exigences pour la protection de la santé de la population en ce qui concerne les substances radioactives dans les eaux destinées à la consommation humaine ; qu'elle propose en particulier une valeur paramétrique de 100 Bq/L pour le radon, dite « référence de qualité », ainsi qu'une obligation de contrôle dont la fréquence peut être adaptée aux situations observées ; qu'elle laisse toutefois la possibilité aux États membres le choix du niveau en dessous duquel l'optimisation de la protection devrait être poursuivie, pour autant que ce niveau reste inférieur à 1 000 Bq/L ;

Considérant que l'arrêté du 9 décembre 2015 susvisé fixe la référence de qualité pour le radon de 100 Bq/L et qu'il inclut l'analyse du radon dans le programme de contrôle sanitaire périodique de la qualité radiologique des eaux de consommation humaine ; que cette référence de qualité constitue un objectif cible, dont le dépassement nécessite des investigations, mais ne constitue pas en soi un indicateur de risque sanitaire ;

Considérant que la stratégie de contrôle proposée dans le rapport annexé au présent avis comporte, de façon pertinente, une phase d'investigation préalable, puis la mise en œuvre d'un contrôle sanitaire périodique suivant des fréquences définies réglementairement ; que ces fréquences pourront être augmentées ou réduites par le directeur général de l'agence régionale de santé au vu des résultats des contrôles ; que ce contrôle du radon pourra être supprimé lorsque sa concentration est durablement inférieure à la référence de qualité de 100 Bq/L ;

Considérant qu'en cas de dépassement confirmé de la référence de qualité de 100 Bq/L, les mesures de gestion et les éventuelles actions correctives devront être graduées, en fonction des niveaux de concentration en radon et, qu'au-delà de 1 000 Bq/L, les mesures de gestion et l'information de la population doivent être mises en œuvre de façon impérative ;

Considérant que la principale voie d'exposition au radon n'est pas liée à la consommation d'eau mais à l'inhalation de ce gaz et ce, quelle que soit la voie d'entrée du radon dans l'habitat, *via* le bâti ou *via* le dégazage de l'eau de distribution ;

Considérant en conclusion que le rapport annexé à la lettre de la Direction générale de la santé du 29 décembre 2017 permet de prendre en compte, de façon graduée et proportionnée, le risque lié à la présence de radon dans les eaux de consommation humaine, en tenant compte des risques sanitaires liés au radon dans l'air, en proposant une stratégie de surveillance du radon dans les eaux de consommation humaine, ainsi que des modalités d'action en cas de dépassement de la référence de qualité de 100 Bq/L et d'information de la population,

Rend un avis favorable sur le rapport intitulé « Contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine : cas du radon », dans sa version figurant en annexe.

Souligne que les mesures de gestion à mettre en œuvre pour réduire le risque lié au radon dans l'eau doivent être accompagnées d'une information adéquate de la population et des acteurs locaux sur les risques sanitaires liés au radon dans son ensemble, en particulier au radon dans l'air, ainsi que sur les mesures de prévention recommandées.

Fait à Montrouge, le 6 mars 2018.

Le collège de l'Autorité de sûreté nucléaire*,

Signé par

Pierre-Franck CHEVET

Philippe CHAUMET-RIFFAUD

Lydie EVRARD

Margot TIRMARCHE

* Commissaires présents en séance

**Annexe à l'avis n° 2018-AV-0302 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 6 mars 2018
sur les modalités de gestion du radon dans le cadre du contrôle sanitaire de la qualité
radiologique des eaux destinées à la consommation humaine**

**Contrôle sanitaire de la qualité radiologique
des eaux destinées à la consommation humaine :
cas du radon**

Ont contribué à la rédaction de ce rapport : M. Pierre BARBEY (membre du GPRADE, Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'ouest (ACRO)), M. Philippe BERARD (membre du GPRADE, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives), M. Florian BESSE (Agence régionale de santé Nouvelle Aquitaine, Délégation Départementale de la Haute-Vienne), Mme Claire GRÉAU (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire), M. Jérôme GUILLEVIC (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire), M. Augustin JANSSENS (membre du GPRADE), M. Fabrice LEPRIEUR (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire), M. Antoine MONTIEL (expert « eau »), M. Alain RANNOU (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire)

Table des matières

1	Indicateur de la qualité radiologique des eaux pour le radon.....	4
1.1	Champ de la directive 2013/51/Euratom	4
1.2	Effets sanitaires liés au radon et modalités de fixation de la référence de qualité	6
2	Organisation du contrôle sanitaire du radon dans les EDCH.....	7
2.1	Notion d' « analyse radiologique de référence »	7
2.2	Stratégie de contrôle du radon dans le cadre du contrôle sanitaire des EDCH.....	7
2.3	Modalités de mise en œuvre du contrôle du radon	8
2.3.1	Eaux fournies par un réseau de distribution	8
2.3.2	Eaux utilisées dans les entreprises alimentaires ne provenant pas d'une distribution publique	9
2.3.3	Eaux conditionnées, à l'exclusion des eaux minérales naturelles.....	9
2.4	Modalités de prélèvement, de transport, de conservation des échantillons d'eau et de réalisation des analyses du radon.....	10
2.4.1	Agrément des laboratoires pour le contrôle sanitaire du radon dans l'eau	10
2.4.2	Prélèvement, transport et conservation des échantillons d'eau	10
2.4.3	Méthodes d'analyses du radon dans l'eau.....	12
3	Gestion des dépassements de la référence de qualité du radon pour les eaux fournies par un réseau de distribution	12
3.1	Éléments de contexte	12
3.2	Principes et démarche de gestion	13
3.3	Modalités de gestion des dépassements de la référence de qualité pour les eaux fournies par un réseau de distribution.....	14
3.3.1	Concentration en radon dissous dans l'eau comprise entre 100 et 1 000 Bq/L	15
3.3.2	Concentration en radon dissous dans l'eau supérieure à 1 000 Bq/L.....	15
3.4	Modalités de gestion des dépassements de la référence de qualité pour les eaux utilisées dans les entreprises agroalimentaires ne provenant pas d'une distribution publique	16
3.5	Solutions techniques disponibles.....	17
4	Gestion des dépassements de la référence de qualité pour les eaux conditionnées, à l'exclusion des eaux minérales naturelles.....	17
	Annexes.....	18

Contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine : cas du radon

La réglementation nationale définit la nature et la fréquence du contrôle sanitaire de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH). Les programmes de contrôle mis en œuvre par les Agences régionales de santé (ARS), en application des dispositions de la directive européenne 98/83/CE relative à la qualité des EDCH et du code de la santé publique, portent sur des paramètres microbiologiques, physico-chimiques et radiologiques. Ils permettent de s'assurer que les eaux sont conformes aux exigences de qualité réglementaires et ne présentent pas de risque pour la santé des consommateurs.

S'agissant de la radioactivité dans les EDCH, la circulaire n°DGS/EA4/2007/232 du 3 juin 2007 [1] précise les modalités relatives au contrôle et à la gestion du risque sanitaire lié à la présence de radionucléides dans les eaux fournies par un réseau de distribution.

La directive 2013/51/Euratom du Conseil du 22 octobre 2013 [2] a introduit de nouvelles dispositions en la matière, transposées en droit national fin 2015, notamment en ce qui concerne le radon présent dans les EDCH (valeur indicative, fréquence des contrôles).

Le radon, gaz radioactif inodore, incolore et inerte, est naturellement présent dans l'atmosphère et dans les sols, plus fortement dans les sous-sols granitiques et volcaniques. Il constitue la première source d'exposition aux rayonnements ionisants d'origine naturelle pour la population française. Les voies d'exposition aux rayonnements ionisants d'origine naturelle sont majoritairement l'inhalation (1,43 mSv/an en moyenne, essentiellement par le radon) puis l'ingestion par consommation d'eau et de denrées alimentaires (0,55 mSv/an en moyenne, hors radon) [3].

Le présent rapport décrit dans sa première partie le champ de la directive Euratom précitée et les effets sanitaires potentiels liés au radon. La seconde partie du rapport porte sur l'organisation du contrôle sanitaire pour la mesure du radon dans l'EDCH. Enfin, les troisième et quatrième parties présentent les modalités de gestion des dépassements de la référence de qualité du radon dans les EDCH, y compris des éléments d'information de la population.

1 Indicateur de la qualité radiologique des eaux pour le radon

1.1 Champ de la directive 2013/51/Euratom

La directive 2013/51/Euratom du Conseil du 22 octobre 2013 [2] fixe des exigences pour la protection de la santé de la population, en ce qui concerne les substances radioactives dans les EDCH. Cette directive concerne, d'une part, les eaux fournies par un réseau de distribution et, d'autre part, les eaux de source et les eaux rendues potables par traitement conditionnées.

Elle fixe des valeurs paramétriques (valeurs indicatives) pour le radon, le tritium et la dose indicative¹ ainsi qu'une obligation de contrôle des substances radioactives dans les EDCH. La directive prévoit des possibilités d'adapter la fréquence de ces contrôles aux situations observées (renforcement ou allègement de la fréquence de recherche du radon dans le cadre du contrôle sanitaire des EDCH).

Au regard de cette directive et des dispositions législatives et réglementaires d'ores et déjà mises en œuvre au niveau national pour contrôler la qualité radiologique des EDCH, **la principale évolution pour la France concerne le paramètre radon, avec la définition d'une référence de qualité et des modalités de contrôle de ce paramètre.**

La directive fixe pour le radon une valeur paramétrique à 100 Bq/L. Une souplesse est néanmoins laissée aux Etats membres pour le choix du niveau considéré comme ne devant pas être dépassé et en dessous duquel l'optimisation de la protection devrait être poursuivie, pour autant qu'il reste inférieur à 1 000 Bq/L.

Les textes français transposant les dispositions relatives au radon de la directive 2013/51/Euratom sont :

- l'arrêté du 9 décembre 2015 fixant les modalités de mesure du radon dans les eaux destinées à la consommation humaine, y compris dans les eaux conditionnées à l'exclusion des eaux minérales naturelles, et dans les eaux utilisées dans une entreprise alimentaire ne provenant pas d'une distribution publique, dans le cadre du contrôle sanitaire, pris en application des articles R. 1321-10, R. 1321-15 et R. 1321-16 du code de la santé publique [5] ;
- l'arrêté du 9 décembre 2015 modifiant plusieurs arrêtés² relatifs aux eaux destinées à la consommation humaine pris en application des articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7, R. 1321-20, R. 1321-21 et R. 1321-38 du code de la santé publique [6] ;
- l'arrêté du 9 décembre 2015 modifiant l'arrêté du 14 mars 2007 relatif aux critères de qualité des eaux conditionnées, aux traitements et mentions d'étiquetage particuliers des eaux minérales naturelles et de source conditionnées ainsi que de l'eau minérale naturelle distribuée en buvette publique [7].

¹ La dose indicative (DI), anciennement dénommée dose totale indicative (DTI), est définie au 1 de l'article 2 de l'arrêté du 12 mai 2004 modifié [4]. La DI correspond à la dose efficace engagée résultant d'une ingestion, pendant un an, de tous les radionucléides naturels et artificiels détectés dans une EDCH, à l'exclusion du tritium, du potassium-40, du radon et de ses descendants à vie courte. Ce calcul de dose est effectué pour des adultes sur la base d'une consommation de 730 litres d'eau par an (soit 2 litres d'eau par jour).

² Arrêté du 17 septembre 2003 relatif aux méthodes d'analyse des échantillons d'eau et à leurs caractéristiques de performance ; arrêté du 12 mai 2004 fixant les modalités de contrôle de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine ; 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 et arrêté du 22 octobre 2013 relatif aux analyses de contrôle sanitaire et de surveillance des eaux conditionnées et des eaux minérales naturelles utilisées à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal ou distribuées en buvette publique.

1.2 Effets sanitaires liés au radon et modalités de fixation de la référence de qualité

Depuis 1987, le radon-222 (ci-après « radon ») est reconnu comme un cancérigène pulmonaire certain pour l'homme par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC - groupe I de la classification). Cette classification s'appuie essentiellement sur les études épidémiologiques et le suivi de cohortes de travailleurs exposés au radon *via* l'inhalation. Le radon est le second facteur de risque du cancer du poumon connu – après le tabac – avec un nombre de décès annuels attribuables à l'exposition domestique au radon en France métropolitaine estimé entre 1 200 et 3 000 [8].

Ainsi, la réglementation nationale, mise en place à partir de 2002, a d'abord porté sur la gestion des risques liés au radon présent dans l'atmosphère, dans les établissements recevant du public (ERP) et les lieux de travail [9][10]. Elle s'est ensuite étendue à de nouveaux champs d'intervention, comme les EDCH. En effet, dans le domaine de l'eau, des études conduites dans les Etats membres de l'Union européenne ont permis d'identifier localement des niveaux d'activités volumiques (ci-après « concentrations ») en radon élevés [11][12]. Il s'agit de prises d'eaux souterraines dans des régions où l'on constate déjà de fortes activités volumiques de radon dans les bâtiments liées au type de sous-sol. Ce phénomène s'explique par le passage du radon dans les interstices du sol et du sous-sol, depuis les grains de minéraux dans lesquels il est produit par désintégration du radium (lui-même issu de la chaîne de désintégration de l'uranium-238). Lorsque les pores du sol ou du sous-sol sont saturés en eau, le radon se dissout dans l'eau qui ensuite le transporte, parfois sur de grandes distances.

En l'état actuel des connaissances, le risque sanitaire consécutif à l'ingestion d'eau contenant du radon est invoqué uniquement sur la base de considérations dosimétriques, reposant sur des calculs théoriques. Les estimations dosimétriques disponibles conduisent à penser que le risque sanitaire lié à l'ingestion de radon est faible ; les doses associées estimées restent inférieures ou du même ordre que celles reçues par l'exposition aux autres sources de rayonnements ionisants d'origine naturelle [11].

Les études épidémiologiques disponibles n'ont pas montré de lien probant entre la consommation d'eau chargée en radon et l'augmentation du risque de cancer de l'estomac ou tout autre type de cancer [13][14]. De plus, aucune étude chez l'animal n'a été menée pour étudier le risque de cancer lié à une exposition au radon par ingestion. Par ailleurs, il n'existe pas à ce jour de consensus de la communauté scientifique sur une valeur de coefficient de dose et la réglementation européenne ne fixe pas de valeur.

En l'absence de données scientifiques permettant de justifier l'adoption d'une valeur plus élevée, tel que permis par la directive européenne, il a été décidé, conformément à l'avis de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) rendu le 31 décembre 2014 [15] et à l'avis de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) rendu le 1^{er} mars 2016 [16], de fixer à 100 Bq/L la référence de qualité pour le radon dans la réglementation nationale, valeur dont le dépassement peut conduire à la mise en œuvre de mesures correctives en application de l'article R. 1321-28 du code de la santé publique (cf. chapitre 3).

2 Organisation du contrôle sanitaire du radon dans les EDCH

La recherche du radon dans les EDCH concerne uniquement les eaux d'origine souterraine, conformément à l'article 1^{er} de l'arrêté du 9 décembre 2015 fixant les modalités de mesure du radon [5]. Les eaux d'origine superficielle visées à l'article R. 1321-37 du code de la santé publique ne sont pas concernées (cours d'eau, canaux, lacs, étangs).

2.1 Notion d' « analyse radiologique de référence »

L'analyse du radon est désormais incluse dans l'analyse radiologique de référence définie par l'arrêté du 12 mai 2004 modifié [4].

Pour les nouveaux systèmes de production et de distribution d'eau, la totalité de l'analyse radiologique de référence doit être jointe au dossier de demande d'autorisation, en application des articles L. 1321-6 et R. 1321-7 du code de la santé publique et de l'arrêté du 20 juin 2007 relatif à la constitution du dossier de la demande d'autorisation d'utilisation d'EDCH [17].

Pour les systèmes de production et de distribution d'eau existants et autorisés au titre de l'article L.1321-7 du code de la santé publique, **la première analyse de radon réalisée sur l'eau de la ressource ou à l'émergence pour les eaux conditionnées (hors eaux minérales) doit être considérée comme analyse de référence.**

Compte tenu de la fréquence de contrôle (cf. chapitre 0), **il est recommandé que la première mesure du radon soit réalisée :**

- **pour les systèmes de production/distribution alimentant moins de 500 habitants, au plus tard le 31 décembre 2020 ;**
- **pour les systèmes de production/distribution alimentant plus de 500 habitants, au plus tard le 31 décembre 2019 ;**
- **pour les eaux conditionnées, au plus tard le 31 décembre 2019 ;**
- **pour les eaux utilisées dans une entreprise alimentaire ne provenant pas d'une distribution publique, au plus tard le 31 décembre 2019.**

2.2 Stratégie de contrôle du radon dans le cadre du contrôle sanitaire des EDCH

Dans sa recommandation du 20 décembre 2001 [11], la Commission Européenne souligne que dans le cadre du système de contrôle du radon dans les EDCH, l'attention doit se concentrer sur les expositions les plus élevées et les zones dans lesquelles une action est susceptible d'être la plus efficace. A ce jour, l'arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux modalités de gestion du risque lié au radon dans les lieux ouverts au public [9] définit des départements prioritaires au niveau national pour la réalisation de mesure de concentration volumique du radon dans l'air pour les ERP et les lieux de travail. Ces dispositions réglementaires devraient évoluer vers la mise en place d'une classification des communes selon leur potentiel radon, sur la base des travaux de l'IRSN [18].

L'arrêté du 9 décembre 2015 [5] fixe les fréquences de prélèvements des échantillons d'eau et des analyses du radon pour les EDCH. Toutefois, la fréquence des prélèvements d'échantillons d'eau et des analyses du radon peut être augmentée par le directeur général de l'ARS dans les conditions

fixées à l'article R. 1321-16 du code de la santé publique (article 4.I de l'arrêté du 9 décembre 2015 [5]). Inversement, le directeur général de l'ARS peut réduire la fréquence, voire supprimer la mesure du radon dans le cadre du contrôle sanitaire, lorsque le radon n'est pas susceptible d'être présent dans l'eau, à des concentrations qui pourraient dépasser la référence de qualité de 100 Bq/L (article 4.II de l'arrêté du 9 décembre 2015 [5]).

En raison des éventuelles incertitudes de mesure, liées aux conditions de prélèvement des échantillons d'eau et d'analyse (cf. chapitre 0), et des possibles variations temporelles de la concentration en radon dans l'eau, une vérification fiable du respect de la référence de qualité ne peut reposer uniquement sur un seul résultat analytique. Il convient donc de mettre en œuvre une stratégie de contrôle spécifique dans le cadre du contrôle sanitaire des EDCH en distinguant deux phases :

- 1/ une phase préalable, dite phase d'investigation, qui intègre l'analyse radiologique de référence ;
- 2/ le contrôle sanitaire périodique aux fréquences réglementaires ou adaptées.

Pour les eaux fournies par un réseau de distribution et pour celles utilisées dans les entreprises alimentaires ne provenant pas d'une distribution publique, la stratégie de contrôle proposée en Annexe 2 s'appuie notamment sur les résultats des analyses de radon réalisées au cours de la phase d'investigation conduisant ensuite à la mise en œuvre ou non d'un contrôle périodique du radon dans l'eau. Au cours de la phase d'investigation, la recherche de radon dans l'eau peut être répétée, à des périodes hydrogéologiques différentes, à la ressource et au point de mise en distribution. Les résultats du contrôle périodique, réalisé au point de mise en distribution, comparés à la référence de qualité permettent de déterminer les actions préventives et correctives consécutives.

Les résultats de l'étude de l'IRSN actuellement en cours sur les fluctuations temporelles des concentrations en radon (en ressource et dans l'eau distribuée), ainsi que les retours d'expérience des ARS, pourront conduire, dans le futur, à ajuster la stratégie de mise en œuvre du contrôle sanitaire du radon dans les eaux fournies par un réseau de distribution.

Pour les eaux conditionnées (hors eaux minérales naturelles), la stratégie de contrôle proposée, similaire à celle des eaux fournies par un réseau de distribution, figure en Annexe 3.

2.3 Modalités de mise en œuvre du contrôle du radon

2.3.1 Eaux fournies par un réseau de distribution

La référence de qualité de 100 Bq/L doit être respectée au(x) robinet(s) normalement utilisé(s) par le consommateur (point de conformité au sens de l'article R.1321-5 du code de la santé publique). Cependant, conformément à la note du tableau 1 de l'annexe 1 de l'arrêté du 9 décembre 2015 [5], les échantillons d'eau peuvent être prélevés (cf. Annexe 4) :

- au niveau de la ressource (eau brute),
- au point de mise en distribution.

Conformément à l'arrêté du 11 janvier 2007 modifié relatif au programme de prélèvements et d'analyses du contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de distribution [19], **les autres analyses de radioactivité sont réalisées aux points de mise en distribution** (analyses de type P2). **Pour des raisons de représentativité du prélèvement et de facilité de mise en œuvre, il est fortement recommandé d'effectuer, à ce même point, le contrôle périodique du radon (pour les eaux d'origine souterraine et pour les mélanges d'eaux d'origine souterraine avec des eaux d'origine superficielle).** La concentration en radon dans l'eau ne pouvant que décroître tout au long du réseau de distribution de l'eau, **si la référence de qualité est respectée à ce point, elle le sera aussi au point de conformité (c'est-à-dire au robinet du consommateur).**

Les fréquences de prélèvements des échantillons d'eau et des analyses du radon pour les EDCH fournies à partir d'un réseau de distribution sont fixées dans le tableau 1 de l'annexe 1 de l'arrêté du 9 décembre 2015 [5] et repris au tableau A de l'Annexe 5 du présent rapport. Pour les analyses réalisées au point de mise en distribution, le débit d'eau préconisé pour fixer les fréquences du contrôle sanitaire (contrôle périodique) est le débit moyen journalier. Les contrôles sont réalisés de préférence à différentes périodes de l'année, par exemple à des trimestres différents, afin d'obtenir une meilleure représentativité temporelle de la concentration en radon dans l'eau.

Les programmes de prélèvements des échantillons d'eau et d'analyses pourront être modifiés selon les conditions précisées au chapitre 2.2 et en Annexe 2.

2.3.2 Eaux utilisées dans les entreprises alimentaires ne provenant pas d'une distribution publique

L'arrêté du 9 décembre 2015 [5] fixe les modalités d'organisation du contrôle sanitaire du radon dans les eaux d'origine souterraine ne provenant pas du réseau de distribution public et utilisées par les entreprises alimentaires.

La référence de qualité de 100 Bq/L doit être respectée aux points où l'eau est utilisée dans l'entreprise (point de conformité, article R.1321-5 du code de la santé publique). Cependant, conformément à la note du tableau 2 de l'annexe 1 de l'arrêté du 9 décembre 2015 [5], les échantillons d'eau peuvent également être prélevés à la ressource. La répartition des prélèvements entre les différents points de contrôle est fixée par le directeur général de l'ARS en fonction des dangers potentiellement identifiés.

S'agissant du contrôle périodique, les fréquences de prélèvements des échantillons d'eau et des analyses du radon sont fixées au tableau 2 de l'annexe 1 de l'arrêté du 9 décembre 2015 [5] (cf. tableau B de l'Annexe 5 du présent rapport). Les fréquences de contrôle du radon sont identiques aux fréquences de contrôle du programme d'analyses complémentaires (C) fixés dans l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif au programme de prélèvements et d'analyses du contrôle sanitaire pour les eaux utilisées dans une entreprise alimentaire ne provenant pas d'une distribution publique [20].

2.3.3 Eaux conditionnées, à l'exclusion des eaux minérales naturelles

L'arrêté du 22 octobre 2013 relatif aux analyses de contrôle sanitaire et de surveillance des eaux conditionnées et des eaux minérales naturelles utilisées à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal ou distribuées en buvette publique [21] et la partie III de l'annexe 1 de l'arrêté

du 9 décembre 2015 [5] prévoient une première analyse obligatoire du radon à l'émergence pour les eaux de source et les eaux rendues potables par traitement d'origine souterraine, puis une recherche du radon une fois tous les 5 ans.

S'agissant du contrôle périodique, les éventuelles analyses sont réalisées sur l'eau embouteillée (article 3 de l'arrêté du 9 décembre 2015 [5]), prélevée sur la chaîne de conditionnement, afin de prendre en compte le possible dégazage du radon au cours du conditionnement de l'eau.

Les programmes de prélèvements des échantillons d'eau et d'analyses pourront être modifiés selon les conditions précisées au chapitre 2.2 et en Annexe 3.

2.4 Modalités de prélèvement, de transport, de conservation des échantillons d'eau et de réalisation des analyses du radon

2.4.1 Agrément des laboratoires pour le contrôle sanitaire du radon dans l'eau

L'arrêté du 5 juillet 2016 relatif aux conditions d'agrément des laboratoires pour la réalisation des prélèvements et des analyses du contrôle sanitaire des eaux [22] définit notamment les conditions d'agrément des laboratoires pour l'analyse du radon.

Jusqu'au 31 décembre 2019, les laboratoires doivent uniquement justifier de leur capacité technique à réaliser les mesures selon les normes en vigueur et avec une méthode disposant d'un dossier de validation établi par ce laboratoire (article 7-II de l'arrêté du 5 juillet 2016 [22]). A compter du 1^{er} janvier 2020, les laboratoires souhaitant être agréés pour l'analyse du radon dans le cadre du contrôle sanitaire des eaux, devront être accrédités et avoir participé à des essais inter-laboratoires.

2.4.2 Prélèvement, transport et conservation des échantillons d'eau

Contrairement aux paramètres physico-chimiques, il n'existe pas d'agrément spécifique relatif aux prélèvements d'EDCH pour les analyses de radon. L'impact du prélèvement et du transport sur l'intégrité de l'échantillon d'eau peut cependant être important. Toutefois, une norme relative à la mesure du radon dans l'eau existe et inclut des spécifications générales pour le prélèvement, le conditionnement et le transport des échantillons d'eau en vue de l'analyse du radon (norme NF ISO 13164-1).

Les éléments ci-après devront être demandés par l'ARS auprès du(des) laboratoire(s) agréé(s) chargé(s) du prélèvement des échantillons d'eau et de la mesure du radon dans les EDCH, dans le cadre du contrôle sanitaire.

- Echantillonnage

Il doit être effectué conformément aux normes NF EN ISO 5667-1 et NF EN ISO 5667-3 [23] (cf. Annexe 6). Il doit être réalisé de manière à limiter au maximum les échanges avec l'atmosphère, ceci pour maintenir le radon en solution dans l'échantillon d'eau et pour limiter le risque de contamination de l'échantillon par un éventuel apport extérieur.

- Flaconnage

L'étanchéité du flaconnage constitue un critère majeur de la qualité de l'échantillonnage. Les récipients utilisés sont en matériau non poreux au radon. Généralement, des flacons en aluminium sont utilisés. Ils doivent être munis de systèmes de fermeture étanches dont l'intégrité doit être vérifiée préalablement au prélèvement de l'échantillon d'eau et immédiatement après. Cette vérification permet d'identifier, sur site, s'il est nécessaire de procéder à un nouveau prélèvement d'échantillon d'eau.

- Méthodes de prélèvement

Pour les prélèvements d'échantillons d'eau réalisés directement à un robinet (ou à l'émergence d'une ressource), le débit de prélèvement ne doit pas être trop élevé afin de minimiser les turbulences à la sortie du robinet et sur les parois du récipient susceptibles de favoriser le dégazage du radon. Par ailleurs, de manière générale, l'eau prélevée doit être représentative de l'eau mise en distribution ou de l'eau de la ressource ; une purge peut donc être nécessaire en fonction de la configuration du réseau alimentant le robinet de prélèvement (l'eau prélevée ne doit pas avoir stagné).

Pour les prélèvements au niveau de la ressource en eau, il convient également de s'assurer, qu'au moment du prélèvement, le pompage de l'eau dans le forage est en fonctionnement, et cela depuis 2 heures dans l'idéal.

Pour les points de prélèvement qui ne disposent pas de robinet (eau circulante, bêche de stockage), les prélèvements d'échantillons d'eau sont réalisés par immersion progressive du flacon dans l'eau, de manière à faire couler doucement l'eau le long des parois sans créer de turbulences.

En fonction des techniques d'analyse du radon mises en œuvre, les échantillons doivent parfois être prélevés en double exemplaire.

- Conservation

Les échantillons d'eau sont conservés au frais jusqu'à leur analyse en laboratoire. La température de transport et de conservation de l'échantillon doit être inférieure à celle de l'eau au moment du remplissage, tout en restant supérieure à 0°C.

- Transport

Les récipients doivent être protégés et emballés afin d'éviter tout échange entre l'échantillon et l'atmosphère extérieure et notamment toute fuite par l'ouverture pendant le transport et assurer ainsi l'intégrité de l'échantillon d'eau jusqu'au laboratoire d'analyse.

- Délai de mise en analyse

Compte tenu de la courte période radioactive du radon ($T = 3,8$ jours), les échantillons doivent être transmis rapidement au laboratoire afin de pouvoir quantifier avec exactitude l'activité volumique du radon au moment du prélèvement : **le délai entre la fin du prélèvement et l'analyse doit être le plus court possible (inférieur à 48 heures dans l'idéal), notamment pour les échantillons d'eau dont l'activité en radon est susceptible d'être proche des limites de détection.**

2.4.3 Méthodes d'analyses du radon dans l'eau

Des méthodes d'analyses normalisées concernant les valeurs d'activité volumique du radon dans les échantillons d'eau sont nécessaires pour les laboratoires réalisant ces mesures. Les méthodes d'analyses relèvent de deux catégories :

- la mesure par spectrométrie gamma sans préparation de la prise d'essai : cette méthode se base sur la détermination de l'activité d'un des descendants du radon, le bismuth-214 ;
- la mesure impliquant le transfert du radon de la phase aqueuse vers une autre phase avant d'effectuer la mesure (émanométrie, scintillation en milieu liquide, perméation).

Les incertitudes de mesures courantes sont d'environ 25% pour une concentration en radon dans l'eau de 100 Bq/L.

L'arrêté du 19 octobre 2017 relatif aux méthodes d'analyse utilisées dans le cadre du contrôle sanitaire des eaux [23] fixe la limite de détection du radon pour la méthode d'analyse utilisée à 10 Bq/L.

Dans le cadre de mesures de routine ne nécessitant pas de préparation de l'échantillon, les deux principales techniques d'analyse utilisées par les laboratoires d'analyse sont la spectrométrie gamma et la scintillation en milieu liquide (cf. annexe 6).

3 Gestion des dépassements de la référence de qualité du radon pour les eaux fournies par un réseau de distribution

3.1 Eléments de contexte

En l'état actuel des connaissances, il est estimé que l'ingestion d'une eau chargée en radon constituerait un risque faible pour la santé humaine (cf. chapitre 0). A ce jour, le risque associé à l'exposition domestique au radon est en premier lieu celui du cancer du poumon lié à l'exposition par inhalation et ce, quelle que soit la voie d'entrée du radon dans l'habitat : *via* le bâti ou *via* le dégazage³ de l'eau du robinet⁴.

Les augmentations de la concentration en radon dans l'air dues à un soutirage d'eau du robinet sont ponctuelles et locales (salle de bain, buanderie, cuisine), et bien souvent ne se répercutent pas sur l'ensemble d'une habitation. Toutefois, bien que le dégazage du radon de l'eau dans l'air puisse être

³ On parle de dégazage lors du passage du radon dissous dans l'eau à l'air, résultant de la différence de pression entre l'eau dans les canalisations et la pression atmosphérique. Le radon ainsi émis vient s'ajouter au radon présent dans l'air ambiant émis par les terrains sur lesquels l'habitation est construite.

⁴ Il n'existe pas de méthode simple permettant de connaître la contribution du radon présent dans l'eau à l'activité volumique du radon dans l'air. Toutefois, le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) estime qu'une valeur de 10 Bq/L de radon dans l'eau de distribution conduirait à une augmentation de la concentration de radon dans l'air à l'intérieur d'un bâtiment de l'ordre de 1 Bq/m³ [24].

localement important (douche par exemple), les temps d'exposition sont réduits et concernent normalement des espaces aérés naturellement ou *via* des extractions d'air.

Dans les espaces clos mal ventilés, le radon peut se concentrer. Des actions simples, telles que l'aération quotidienne, permettent de réduire la concentration en radon dans les bâtiments.

Comme l'a souligné la Commission Européenne dès 2001 [11], les mesures de gestion mises en œuvre face au risque lié au radon doivent être accompagnées d'une information adéquate de la population pour améliorer les possibilités de limitation de l'exposition et pour sensibiliser les populations aux risques sanitaires liés au radon.

Cette démarche s'inscrit plus largement dans les actions d'information mises en œuvre dans le cadre des plans nationaux de gestion du risque lié au radon, le plan national 2016-2019 ayant inscrit en première priorité la définition d'une stratégie d'information et de sensibilisation du public et des acteurs concernés [25]. De plus, la directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 [26] confère une dimension réglementaire au plan national de gestion du risque lié au radon. Le 3^{ème} plan national santé environnement [27] comporte également des actions (actions 4 à 7) visant à mieux prendre en compte le risque lié au radon dans les bâtiments. Enfin, le radon a également été introduit dans le champ du dispositif de gestion de la qualité de l'air intérieur en rendant notamment obligatoire l'information des acquéreurs et locataires de biens immobiliers sur les risques sanitaires liés au radon dans l'habitat⁵.

3.2 Principes et démarche de gestion

En matière de radioprotection, le niveau des expositions des populations aux rayonnements ionisants doit être maintenu au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de l'état des techniques ainsi que des facteurs économiques et sociaux (principe d'optimisation).

Par ailleurs, « *doivent être justifiées, en ce sens qu'elles doivent présenter plus d'avantages que d'inconvénients, les décisions d'engager les actions destinées à (...) prévenir ou réduire un risque lié à une exposition à une source naturelle de rayonnements ionisants* » (article L.1333-3 du code de la santé publique) (principe de justification).

Les modalités de gestion en cas de dépassement de la référence de qualité du radon dans les EDCH doivent s'appuyer sur ces deux principes. Lorsqu'une action de réduction de l'exposition au radon dans l'eau est envisagée, il convient donc de s'interroger :

- **sur le bénéfice attendu en prenant en compte les inconvénients potentiels (par exemple : la mise en œuvre d'un traitement de la radioactivité est susceptible de produire des déchets, risque d'exposition des travailleurs...),**
- **sur les coûts et les difficultés de mise en œuvre de cette action pour réduire la concentration en radon dans l'eau.**

⁵ Dispositif introduit par la loi n°2016-41 du 26 janvier 2016 de modernisation de notre système de santé et l'ordonnance n°2016-128 du 10 février 2016 portant diverses dispositions en matière nucléaire.

S'agissant de la gestion du risque sanitaire en cas de dépassement des références de qualité fixées par la réglementation pour le tritium ou la dose indicative ou des valeurs guides portant sur les activités alpha globale ou bêta globale résiduelle, les ARS interviennent sur la base de la circulaire n°DGS/EA4/2007/232 du 3 juin 2007 relative au contrôle et à la gestion du risque sanitaire liés à la présence de radionucléides dans les EDCH [1], elle-même fondée sur les recommandations de l'ASN (délibération 2007-DL-003 du 7 mars 2007 [28]).

De manière analogue, il convient de définir les mesures de gestion (interdiction ou restrictions d'usage) et d'information des populations à diffuser lors de dépassements de la référence de qualité pour le radon.

3.3 Modalités de gestion des dépassements de la référence de qualité pour les eaux fournies par un réseau de distribution

Deux valeurs sont retenues pour la gestion des dépassements de la référence de qualité du radon dissous dans les EDCH :

- 100 Bq/L ;
- 1 000 Bq/L.

Lorsque la concentration en radon dissous dans l'eau est inférieure à 100 Bq/L, aucune action spécifique n'est à entreprendre. L'information spécifique de la population ne s'avère pas nécessaire.

En cas de dépassement de la référence de qualité confirmé (plusieurs analyses non conformes), les actions mises en œuvre par les ARS et les responsables de la distribution devront être proportionnées en fonction notamment de leur faisabilité technico-économique et être graduées selon les niveaux de concentration en radon mesurés. Les modalités de gestion, définies selon deux niveaux (concentration en radon comprise entre 100 et 1 000 Bq/L ou supérieure à 1 000 Bq/L) s'appuient sur cette graduation de l'action.

Comme indiqué précédemment, la Commission Européenne, dans sa recommandation du 20 décembre 2001 [11], souligne que dans le cadre du contrôle du radon dans les EDCH, l'attention doit se concentrer sur les expositions les plus élevées et les zones dans lesquelles une action est susceptible d'être la plus efficace.

La nécessité d'information des populations varie en fonction des concentrations en radon dans les EDCH et par rapport aux valeurs retenues pour la gestion des dépassements de la référence de qualité (100 Bq/L et 1 000 Bq/L). En cas d'information délivrée aux consommateurs, il apparaît pertinent de la replacer dans le contexte du risque sanitaire lié au radon en général. Des recommandations relatives à une bonne ventilation des locaux concernés (salle de bain, buanderie, cuisine) pourront être délivrées. Cette mise en perspective est d'autant plus importante lorsqu'il est déconseillé de boire l'eau du robinet.

En cas de présence de radon dans l'eau, il n'est pas recommandé de traiter l'EDCH à domicile compte tenu du possible transfert du radon de l'eau vers l'air intérieur par dégazage.

Dans les zones à potentiel radon significatif, l'attention des particuliers sera attirée sur le fait que l'eau des puits privés peut être contaminée par le radon (cette information pourra être conduite de manière analogue à celle réalisée pour la gestion du radon domestique dans l'air).

Les modalités de gestion des dépassements de la référence de qualité pour le radon sont détaillées ci-après et synthétisées en Annexe 7.

3.3.1 Concentration en radon dissous dans l'eau comprise entre 100 et 1 000 Bq/L

La valeur de 100 Bq/L est, au sens réglementaire, une référence de qualité et non une limite de qualité, mais elle constitue un objectif cible. Le dépassement de cette valeur constitue une alerte sans caractère d'urgence dès lors que la concentration en radon dissous dans l'eau reste en deçà de 1 000 Bq/L.

Des réflexions s'avèrent nécessaires dès que la concentration en radon dissous dans l'eau est supérieure à 100 Bq/L, avec, éventuellement, la mise en œuvre d'actions au regard du contexte local et des éléments issus des principes d'optimisation et de proportionnalité.

Compte tenu du principe de graduation de la démarche, le responsable de la distribution devra procéder à cet examen d'autant plus rapidement que la concentration en radon s'approche du niveau de 1 000 Bq/L.

Le dépassement de la référence de qualité, en deçà de 1 000 Bq/L, n'implique pas que la mise en œuvre de restrictions d'usages ou d'un traitement spécifique soit impérative.

Toutefois, dès que la concentration du radon dissous dans l'eau dépasse le niveau de référence de 100 Bq/L, le responsable de la distribution examine, au cas par cas, les moyens disponibles pour réduire la concentration en radon dissous dans l'eau (analyse technico-économique, calendrier prévisionnel de mise en œuvre des actions proposées le cas échéant, etc.), dans un délai qui sera d'autant plus court que la concentration en radon dissous dans l'eau sera proche de 1 000 Bq/L.

Pour les unités de distribution situées en zone à potentiel radon significatif [18], les bulletins d'analyses affichés en mairie et, le cas échéant, la note de synthèse annuelle sur la qualité de l'eau, comportent une information sur la gestion du risque lié au radon dans son ensemble (expositions *via* l'eau et *via* l'air). Cette information est facultative pour les unités de distribution situées en dehors de ces zones. De façon générale, il n'apparaît pas justifié de procéder à des restrictions d'usage.

3.3.2 Concentration en radon dissous dans l'eau supérieure à 1 000 Bq/L

En cas de dépassement du niveau de 1 000 Bq/L :

- le responsable de la distribution engage une action corrective impérative et immédiate dans l'objectif d'atteindre dans les meilleurs délais une concentration en radon dissous dans l'eau inférieure à 1 000 Bq/L et de revenir à une gestion décrite au point 0 ; l'ARS veillera à ce que le calendrier de mise en œuvre des mesures correctives par le responsable de la distribution soit raisonnable et respecté ;

- il est déconseillé de boire l'eau du robinet de manière régulière, surtout s'il ressort des informations fournies par le responsable de la distribution que ce dépassement pourrait perdurer ;
- il n'y a en revanche pas lieu de limiter l'utilisation de l'eau pour l'hygiène corporelle et le brossage des dents ;
- il n'y a pas lieu de limiter l'utilisation de l'eau pour la préparation des aliments (y compris pour les soupes, café, thé ...) compte tenu des phénomènes de dégazage au cours de la préparation (cuisson, ébullition,...) ;
- des recommandations relatives à une bonne aération des locaux et à un entretien régulier des systèmes de ventilation, le cas échéant, pourront être délivrées (risque sanitaire lié au radon en général) ;
- l'attention des particuliers sera attirée sur le fait que l'eau des puits privés peut aussi être contaminée par le radon, particulièrement s'ils se situent dans une zone à potentiel radon significatif.

Une information directe aux consommateurs est dispensée de façon immédiate et systématique par le responsable de la distribution en lien avec l'ARS (article R.1321-30 du code de la santé publique). Cette information comprendra les éléments d'information et les recommandations au consommateur figurant en Annexe 8 ainsi que des informations sur les mesures envisagées par le responsable de la distribution pour améliorer la qualité de l'eau et le calendrier de leur mise en œuvre.

3.4 Modalités de gestion des dépassements de la référence de qualité pour les eaux utilisées dans les entreprises agroalimentaires ne provenant pas d'une distribution publique

Le dépassement de la référence de qualité, en deçà de 1 000 Bq/L, n'implique pas la mise en œuvre de restrictions d'usages ou d'un traitement spécifique.

En cas de dépassement du niveau de 1 000 Bq/L, la mise en place systématique de restrictions de l'usage de l'eau ne paraît pas justifiée, eu égard au comportement du radon dans l'eau (dégazage, temps de demi-vie court). Toutefois, dans le cadre de l'application des règlements européens relatifs

à l'hygiène alimentaire (dits « Paquet Hygiène »⁶), le responsable de l'entreprise agroalimentaire doit réaliser une analyse des risques afin d'évaluer les conséquences de l'utilisation de cette eau dans le processus de fabrication sur la salubrité de la denrée finale.

⁶ Notamment les règlements n°178/2002 du Parlement européen et du Conseil du 28 janvier 2002 établissant les principes généraux et les prescriptions générales de la législation alimentaire, instituant l'Autorité européenne de sécurité des aliments et fixant des procédures relatives à la sécurité des denrées alimentaires ; n°852/2004 du parlement européen et du conseil du 29 avril 2004 relatif à l'hygiène des denrées alimentaires ; n°853/2004 du parlement européen et du conseil du 29 avril 2004 fixant des règles spécifiques d'hygiène applicables aux denrées alimentaires d'origine animale.

3.5 Solutions techniques disponibles

Les techniques de réduction de la concentration en radon dissous dans les EDCH ont pour objectif de réduire l'exposition des personnes par ingestion de radon dissous dans l'eau d'une part, et par inhalation suite au dégazage de radon dans l'air intérieur des habitations, d'autre part.

Différentes techniques existent (cf. Annexe 9, [15]). La technique apparaissant comme la plus adaptée est l'aération, forcée ou non (dégazage du radon).

Lorsqu'elles sont mises en œuvre, ces solutions techniques doivent être mises en place le plus en amont possible sur le réseau de distribution, le consommateur n'ayant pas vocation à mener des actions de gestion par lui-même (cf. chapitre 0). Ces traitements peuvent conduire à des expositions des travailleurs au radon ; l'évaluation et, le cas échéant, la surveillance de l'exposition professionnelle de ces travailleurs, sont de la responsabilité de leur employeur.

Par ailleurs, les moyens mis en œuvre pour réduire les expositions au radon *via* les eaux de consommation devront être proportionnés. Il convient également de rappeler que toute solution technique mise en œuvre pour diminuer la concentration en radon dissous dans les EDCH doit engendrer plus de bénéfices que de risques.

La dilution avec une eau dont la concentration en radon est plus faible peut également permettre de réduire la concentration en radon de l'eau distribuée.

4 Gestion des dépassements de la référence de qualité pour les eaux conditionnées, à l'exclusion des eaux minérales naturelles

Les principes et démarches de gestion à retenir sont les mêmes que pour les eaux fournies par un réseau de distribution. Toutefois, contrairement à ces dernières, peu de mesures de radon à l'émergence ou dans les eaux conditionnées ont déjà été effectuées.

Dans le cadre de l'élaboration du bilan de la qualité radiologique des eaux conditionnées produites en France, l'IRSN a procédé à des analyses de radon sur plusieurs eaux conditionnées dans des bouteilles en verre (une eau de source et quatre eaux minérales naturelles) [29]. Le radon a été quantifié uniquement dans l'eau de source, la concentration en radon mesurée était de 5,9 Bq/L. A ce jour, aucune autre donnée spécifique nationale n'a été identifiée.

Ces éléments étant insuffisants à ce stade pour établir des mesures de gestion détaillées en cas de dépassement de la référence de qualité pour les eaux de source et les eaux rendues potables par traitement conditionnées, la démarche suivante est retenue :

- réalisation d'une analyse de radon à l'émergence pour l'ensemble des eaux concernées, au plus tard le 31 décembre 2019, et mise en œuvre de la démarche proposée en Annexe 3 ;
- réalisation d'un bilan par la Direction générale de la santé courant 2020 en vue de définir des modalités de gestion spécifiques, le cas échéant.

Annexes

Annexe 1 : Textes et documents de référence	19
Annexe 2 : Stratégie de contrôle du radon dans les eaux fournies par un réseau de distribution et dans les eaux ne provenant pas d'une distribution publique utilisées dans une entreprise alimentaire.....	22
Annexe 3 : Stratégie de contrôle du radon dans les eaux conditionnées (hors eaux minérales naturelles).....	25
Annexe 4 : Localisation des points de contrôle de la qualité des eaux	27
Annexe 5 : Fréquences des prélèvements d'échantillons d'eaux destinées à la consommation humaine	28
Annexe 6 : Références normatives	30
Annexe 7 : Modalités de gestion des dépassements de la référence de qualité pour le radon dans les eaux fournies par un réseau de distribution.....	31
Annexe 8 : Exemple d'éléments d'information des populations et des recommandations à délivrer aux consommateurs en cas de dépassement de la référence de qualité de 1 000 Bq/L [15].....	32
Annexe 9 : Solutions techniques pour le traitement du radon dans l'eau	33

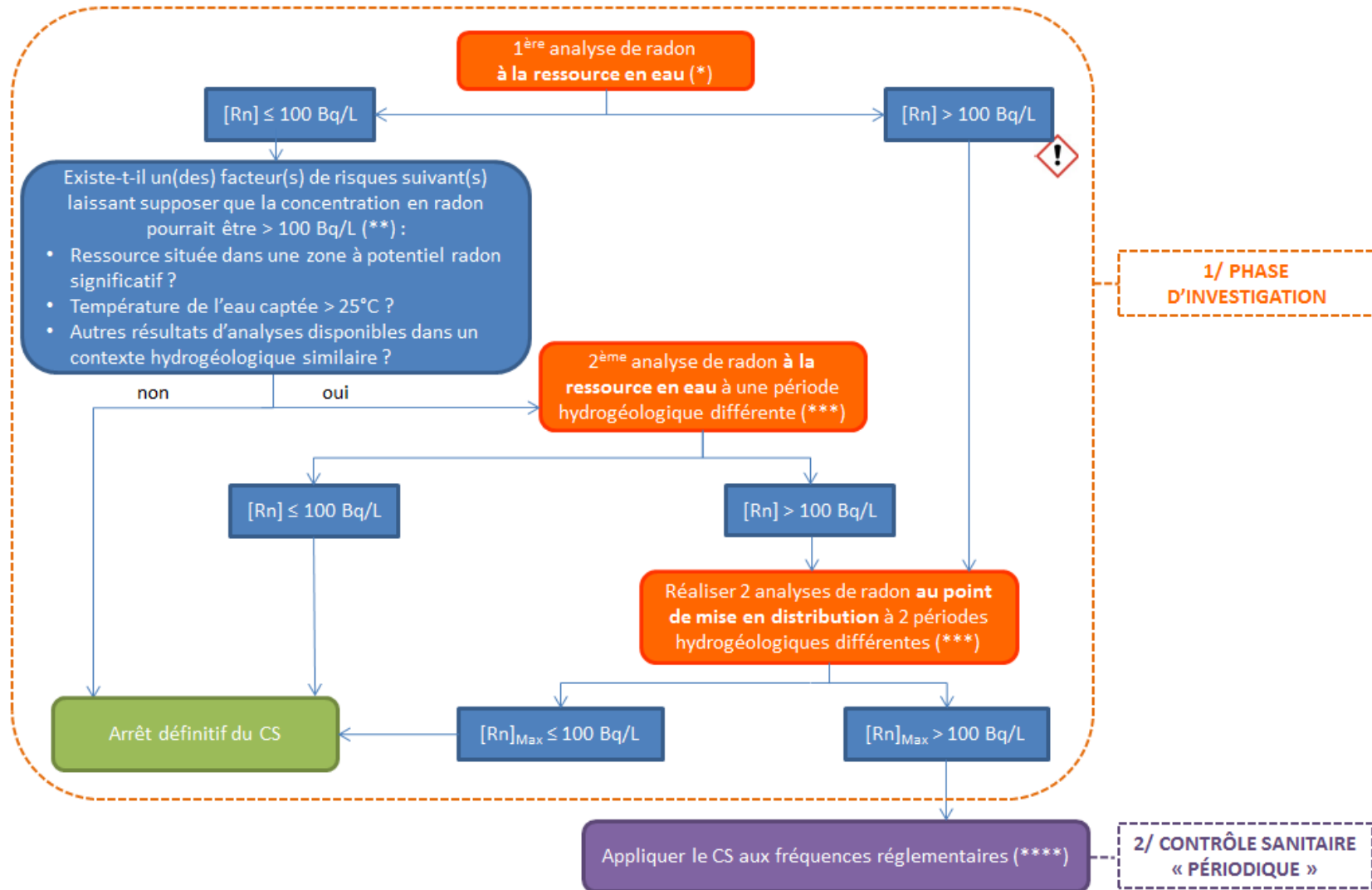
Annexe 1 : Textes et documents de référence

- [1] Circulaire n°DGS/EA4/2007/232 du 3 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
- [2] Directive 2013/51/Euratom du Conseil du 22 octobre 2013 fixant des exigences pour la protection de la santé de la population en ce qui concerne les substances radioactives dans les eaux destinées à la consommation humaine
- [3] Rapport IRSN 2015-00001 « Exposition de la population française aux rayonnements ionisants »
- [4] Arrêté du 12 mai 2004 modifié fixant les modalités de contrôle de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine
- [5] Arrêté du 9 décembre 2015 fixant les modalités de mesure du radon dans les eaux destinées à la consommation humaine, y compris dans les eaux conditionnées à l'exclusion des eaux minérales naturelles, et dans les eaux utilisées dans une entreprise alimentaire ne provenant pas d'une distribution publique, dans le cadre du contrôle sanitaire, pris en application des articles R. 1321-10, R. 1321-15 et R. 1321-16 du code de la santé publique
- [6] Arrêté du 9 décembre 2015 modifiant plusieurs arrêtés relatifs aux eaux destinées à la consommation humaine pris en application des articles R.1321-2, R.1321-3, R.1321-7, R.1321-20, R. 1321-21 et R.1321-38 du code de la santé publique
- [7] Arrêté du 9 décembre 2015 modifiant l'arrêté du 14 mars 2007 relatif aux critères de qualité des eaux conditionnées, aux traitements et mentions d'étiquetage particuliers des eaux minérales naturelles et de source conditionnées ainsi que de l'eau minérale naturelle distribuée en buvette publique
- [8] Catelinois O. *et al.*, Évaluation de l'impact sanitaire de l'exposition domestique au radon en France, BEH 2007
- [9] Arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux modalités de gestion du risque lié au radon dans les lieux ouverts au public
- [10] Arrêté du 7 août 2008 relatif à la gestion du risque lié au radon dans les lieux de travail
- [11] Recommandation de la Commission du 20 décembre 2001 concernant la protection de la population contre l'exposition au radon dans l'eau potable (JOUE, 28 décembre 2001, L 344/85)
- [12] Bilan du plan national d'action 2011-2015 pour la gestion du risque lié au radon
- [13] Laurent O. *et al.*, Conséquences dosimétriques et sanitaires de l'ingestion de radon *via* l'eau de boisson, Radioprotection 2010, vol. 45, n°4, pages 551 à 559

- [14] Fiche d'information de l'IRSN « Radon dans l'eau – Conséquences dosimétriques et sanitaires de l'ingestion de radon dissous dans l'eau de boisson » : <http://www.irsn.fr/radon>
- [15] Avis IRSN n°2014-00422 du 31 décembre 2014
- [16] Avis ASN n°2016-AV-0260 du 1^{er} mars 2016
- [17] Arrêté du 20 juin 2007 relatif à la constitution du dossier de la demande d'autorisation d'utilisation d'eau destinée à la consommation humaine mentionnée aux articles R. 1321-6 à R. 1321-12 et R. 1321-42 du code de la santé publique
- [18] Cartographie du potentiel radon disponible à l'adresse suivante : www.irsn.fr/carte-radon
- [19] Arrêté du 11 janvier 2007 modifié relatif au programme de prélèvements et d'analyses 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
- [20] Arrêté du 11 janvier 2007 relatif au programme de prélèvements et d'analyses du contrôle sanitaire pour les eaux utilisées dans une entreprise alimentaire ne provenant pas d'une distribution publique, pris en application des articles R. 1321-10, R. 1321-15 et R. 1321-16 du code de la santé publique
- [21] Arrêté du 22 octobre 2013 modifié relatif aux analyses de contrôle sanitaire et de surveillance des eaux conditionnées et des eaux minérales naturelles utilisées à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal ou distribuées en buvette publique
- [22] Arrêté du 5 juillet 2016 relatif aux conditions d'agrément des laboratoires pour la réalisation des prélèvements et des analyses du contrôle sanitaire des eaux
- [23] Arrêté du 19 octobre 2017 relatif aux méthodes d'analyse utilisées dans le cadre du contrôle sanitaire des eaux
- [24] Exposure from natural sources of radiation. UNSCEAR 1993 Report, annex A. United Nations, New York. 1993
- [25] Plan national d'action 2016-2019 pour la gestion du risque lié au radon (<http://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/plan-national-d-actions-pour-la-gestion-du-risque-lie-au-radon>)
- [26] Directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom
- [27] 3^e plan national santé environnement 2015-2019 (http://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnse3_v_finale.pdf)

- [28] Délibération 2007-DL-003 du 7 mars 2007 de l'Autorité de sûreté nucléaire relative au contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine
- [29] Rapport DGS/ASN/IRSN relatif à la qualité radiologique des eaux conditionnées produites en France, Septembre 2013
- [30] « La qualité de l'eau du robinet en France, données 2013 », Ministère chargé de la Santé, 2016 (<http://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/eaux/article/eau-du-robinet>)

Annexe 2 : Stratégie de contrôle du radon dans les eaux fournies par un réseau de distribution et dans les eaux ne provenant pas d'une distribution publique utilisées dans une entreprise alimentaire



(*) Première analyse de radon dans l'eau :

La 1^{ère} analyse est réalisée à la ressource afin de s'affranchir des éventuels effets du traitement et de la distribution sur la concentration en radon dans l'eau. En conformité avec la réglementation, la 1^{ère} analyse à la ressource peut ne pas être réalisée si des données **fiables** sur la concentration en radon de l'eau de la ressource sont disponibles : par exemple pour un champ captant (eau prélevée de qualité similaire), une analyse de radon au niveau d'un des puits peut suffire, dans certains cas, pour l'ensemble des puits.

[Rn] > 100 Bq/L



Si la teneur en radon dans l'eau de la ressource est largement supérieure à 100 Bq/L, il convient de s'assurer rapidement de la qualité de l'eau au point de mise en distribution et de mettre en œuvre rapidement le contrôle sanitaire aux fréquences réglementaires au point de mise en distribution.

(**) Facteurs de risques laissant supposer que la concentration en radon dans l'eau pourrait être supérieure à 100 Bq/L :

- Ressource située dans une zone à potentiel radon significatif (zone 3)[18].
- Température de l'eau captée supérieure à 25°C (à l'exception des captages des départements d'Outre-mer) ; cette information renseigne indirectement et en partie sur la profondeur du captage d'eau.
- Existence d'autres résultats d'analyses supérieurs à 100 Bq/L, dans un contexte hydrogéologique similaire.

(***) Période hydrogéologique :

Compte tenu de la possible variation de la concentration en radon dans l'eau liée à la variation des niveaux des nappes, il est recommandé de réaliser l'analyse (ou les analyses) ultérieure(s) à des périodes hydrogéologiques différentes (hautes eaux / basses eaux).

(****) Application du contrôle sanitaire « périodique » :

Le contrôle sanitaire est mis en œuvre selon les fréquences prévues au tableau 1 de l'annexe 1 de l'arrêté du 9 décembre 2015 [5], au point de mise en distribution. Pour les UDI de plus de 5 000 habitants, les analyses doivent être réparties tout au long de l'année ; pour les UDI de moins de 5 000 habitants, l'analyse annuelle doit être réalisée lors d'une période défavorable (basses eaux).

En conformité avec la réglementation, les fréquences réglementaires du contrôle sanitaire peuvent être modifiées dans les conditions suivantes :

○ Allègement

La fréquence des prélèvements d'échantillons d'eau et d'analyse dans le cadre du contrôle sanitaire peut être réduite lorsque les concentrations en radon de 4 analyses consécutives réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire sont toutes inférieures ou égales à 100 Bq/L :

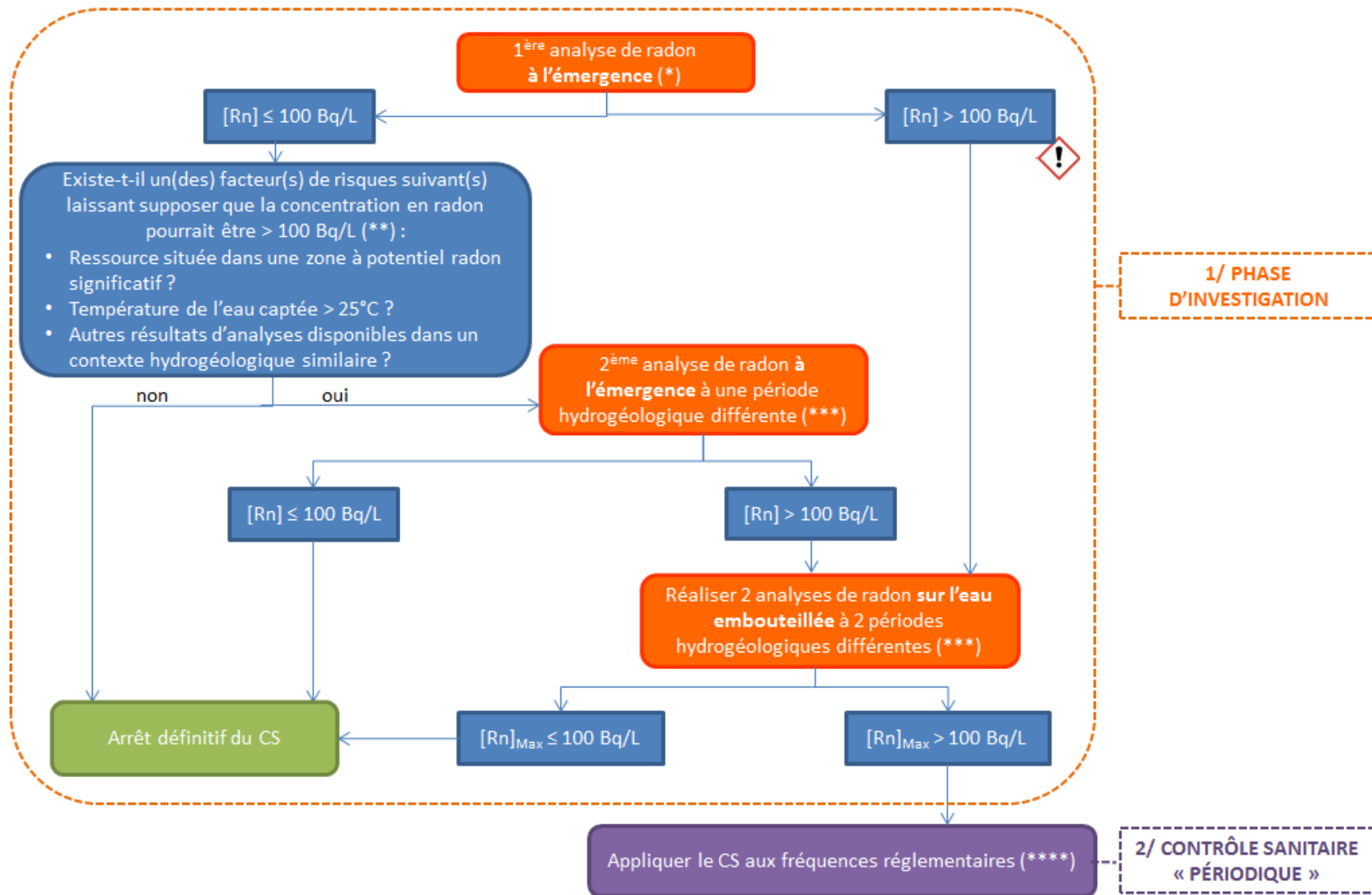
- Pour les unités de distribution alimentant plus de 30 000 habitants, il convient de maintenir *a minima* deux analyses de radon dans l'eau par an dans le cadre du contrôle sanitaire « périodique », à répartir à deux périodes hydrogéologiques différentes (hautes eaux / basses eaux) ;
- Pour les unités de distribution alimentant moins de 30 000 habitants, la réduction appliquée sera appréciée par l'ARS, en fonction de la situation locale (ampleurs des dépassements constatés dans le passé, mesures de gestion mises en place,...).

En cas de mise en place d'un traitement visant à réduire la concentration en radon dans l'eau, la fréquence des prélèvements d'échantillons d'eau et d'analyse peut être réduite dans les conditions précitées. En revanche, il convient de maintenir un suivi *a minima* du radon dans le cadre du contrôle sanitaire afin de s'assurer de l'efficacité du traitement.

- Renforcement

Le renforcement éventuel de la fréquence des prélèvements d'échantillons d'eau et des analyses dans le cadre du contrôle sanitaire est laissé à l'appréciation de l'ARS. Il peut notamment être étudié lorsque les captages d'eau souterraine identifiés sont situés dans une zone à potentiel radon significatif.

Annexe 3 : Stratégie de contrôle du radon dans les eaux conditionnées (hors eaux minérales naturelles)



(*) Première analyse de radon dans l'eau :

La 1^{ère} analyse est réalisée à l'émergence afin de s'affranchir des éventuels effets de la chaîne de conditionnement sur la concentration en radon dans l'eau.

[Rn] > 100 Bq/L



Si la concentration en radon dans l'eau de la ressource est largement supérieure à 100 Bq/L, il convient de s'assurer rapidement de la qualité de l'eau embouteillée et de mettre en œuvre rapidement le contrôle sanitaire aux fréquences réglementaires au niveau de l'eau embouteillée.

(**) Facteurs de risques laissant supposer que la concentration en radon dans l'eau pourrait être supérieure à 100 Bq/L :

- Ressource située dans une zone à potentiel radon significatif (zone 3) [18].
- Température de l'eau captée supérieure à 25°C (à l'exception des captages des départements d'Outre-mer) ; cette information renseigne indirectement et en partie sur la profondeur du captage d'eau.
- Existence d'autres résultats d'analyses supérieurs à 100 Bq/L, dans un contexte hydrogéologique similaire (concentration en radon dans l'eau conditionnée, résultats antérieurs, résultats d'analyses de radon dans l'eau fournie par un réseau de distribution publique si de même origine,...) ?

(***) Période hydrogéologique :

Compte tenu de la possible variation de la concentration en radon dans l'eau liée à la variation des niveaux des nappes, il est recommandé de réaliser l'analyse (ou les analyses) ultérieure(s) à des périodes hydrogéologiques différentes (hautes eaux / basses eaux).

(****) Application du contrôle sanitaire « périodique » :

Le contrôle sanitaire est mis en œuvre, sur l'eau conditionnée, selon la fréquence prévue à la partie III de l'annexe 1 de l'arrêté du 9 décembre 2015 [5]. Il est possible d'augmenter la fréquence du contrôle du radon dans l'eau embouteillée afin d'obtenir le nombre d'analyses nécessaires plus rapidement (article 4.II de l'arrêté du 9 décembre 2015 [5]).

En conformité avec la réglementation, les fréquences réglementaires du contrôle sanitaire peuvent être modifiées dans les conditions suivantes :

○ Allègement

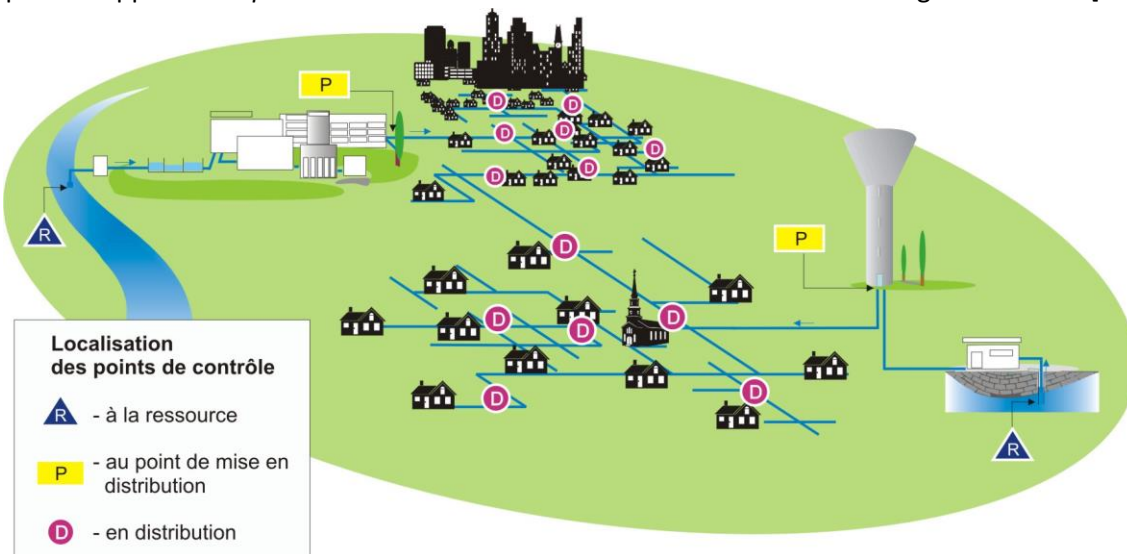
La fréquence des prélèvements d'échantillons d'eau et d'analyse dans le cadre du contrôle sanitaire peut être réduite lorsque les concentrations en radon de 4 analyses consécutives réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire sont toutes strictement inférieures à 100 Bq/L. Une analyse doit être réalisée *a minima* tous les 10 ans.

○ Renforcement

Le renforcement éventuel de la fréquence des prélèvements d'échantillons d'eau et des analyses dans le cadre du contrôle sanitaire est laissé à l'appréciation de l'ARS.

Annexe 4 : Localisation des points de contrôle de la qualité des eaux

D'après le rapport « *La qualité de l'eau du robinet en France* » du Ministère chargé de la Santé [29]



▲ **A la ressource** (au niveau des captages) : le contrôle permet d'évaluer la qualité de l'eau brute et de contrôler son évolution au cours du temps. La fréquence du contrôle est fonction du débit des installations. Certaines ressources superficielles et souterraines peuvent être inexploitable pour la production d'eau potable en cas de qualité trop dégradée.

■ **Au point de mise en distribution** (en sortie de la station de traitement ou sur le réseau de distribution) : le contrôle à ce niveau permet de vérifier la bonne gestion des installations de traitement et les paramètres qui n'évoluent pas au cours de la distribution ou dont la concentration diminue au cours de la distribution. La fréquence de ce contrôle est fonction du débit moyen journalier délivré ou du nombre de personnes alimentées.

● **A la distribution** (au robinet du consommateur) : le contrôle à ce niveau permet de vérifier le respect des exigences de qualité de l'eau au robinet et d'identifier une éventuelle dégradation de la qualité de l'eau dans les canalisations, liée à des phénomènes de corrosion par exemple. La fréquence de ces prélèvements varie selon la population alimentée par le réseau de distribution ; à noter que les paramètres analysés au point de mise en distribution ne sont pas systématiquement analysés au robinet, leur concentration n'augmentant pas durant le transport de l'eau jusqu'au robinet.

Annexe 5 : Fréquences des prélèvements d'échantillons d'eaux destinées à la consommation humaine

Tableau A : EDCH fournies à partir d'un réseau de distribution (arrêté du 9 décembre 2015 [5], annexe 1, tableau 1)

Population desservie	Débit m ³ /jour	Fréquence annuelle (1)
De 0 à 49 habitants	De 0 à 9	0,1
De 50 à 499 habitants	De 10 à 99	0,2
De 500 à 1 999 habitants	De 100 à 399	1
De 2 000 à 4 999 habitants	De 400 à 999	1
De 5 000 à 14 999 habitants	De 1 000 à 2 999	2
De 15 000 à 29 999 habitants	De 3 000 à 5 999	2
De 30 000 à 99 999 habitants	De 6 000 à 19 999	4
De 100 000 à 149 999 habitants	De 20 000 à 29 999	5
De 150 000 à 199 999 habitants	De 30 000 à 39 999	6
De 200 000 à 299 999 habitants	De 40 000 à 59 999	8
De 300 000 à 499 999 habitants	De 60 000 à 99 999	12
De 500 000 à 624 999 habitants	De 100 000 à 124 999	12
Supérieur ou égal à 625 000 habitants	Supérieur ou égal à 125 000	12 + 1 pour chaque tranche entamée de 25 000 m ³ /j du volume total

(1) Sans que cela ne porte préjudice à l'évaluation de la satisfaction de la référence de qualité au point de conformité mentionné à l'article R. 1321-5 du code de la santé publique, les échantillons d'eau peuvent être prélevés :

- au niveau de la ressource (eau brute) ;
- au point de mise en distribution : la qualité de l'eau, en ce point, est considérée comme représentative de la qualité de l'eau sur le réseau de distribution d'une zone géographique déterminée, à l'intérieur de laquelle elle peut être considérée comme homogène, que les eaux proviennent d'une ou de plusieurs sources ; ce réseau est alors appelé "unité de distribution" ;
- aux robinets normalement utilisés par le consommateur.

Les échantillons d'eau doivent être prélevés de manière à être représentatifs (temporellement tout au long de l'année et géographiquement) de la qualité des eaux.

Tableau B : Eaux utilisées dans une entreprise alimentaire ne provenant pas d'une distribution publique (arrêté du 9 décembre 2015 [5], annexe 1, tableau 2)

Débit	Fréquence annuelle (1)
$\leq 3 \text{ m}^3/\text{j}$	0,1
$> 3 \text{ m}^3/\text{j}$ et $\leq 10 \text{ m}^3/\text{j}$	0,2
$> 10 \text{ m}^3/\text{j}$ et $\leq 100 \text{ m}^3/\text{j}$	0,5
$> 100 \text{ m}^3/\text{j}$ et $\leq 1\,000 \text{ m}^3/\text{j}$	1
$> 1\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ et $\leq 10\,000 \text{ m}^3/\text{j}$	1 + 1 pour chaque tranche entamée de $3\,300 \text{ m}^3/\text{j}$ du volume total
$> 10\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ et $\leq 100\,000 \text{ m}^3/\text{j}$	3 + 1 pour chaque tranche entamée de $10\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ du volume total
$> 100\,000 \text{ m}^3/\text{j}$	10 + 1 pour chaque tranche entamée de $25\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ du volume total

(1) Sans que cela ne porte préjudice à l'évaluation de la satisfaction de la référence de qualité au point de conformité mentionné à l'article R. 1321-5 du code de la santé publique, les échantillons d'eau peuvent être prélevés :

- à la ressource ;
- aux points où l'eau est utilisée dans l'entreprise.

La répartition des prélèvements entre les différents points de contrôle est fixée par le directeur général de l'agence régionale de santé en fonction des dangers identifiés.

Annexe 6 : Références normatives

NF ISO 13164-1, Qualité de l'eau – Radon 222 – Partie 1 : Principes généraux

NF ISO 13164-2, Qualité de l'eau – Radon 222 – Partie 2 : Méthode d'essai par spectrométrie gamma

NF ISO 13164-3, Qualité de l'eau – Radon 222 – Partie 3 : Méthode d'essai par émanométrie

NF ISO 13164-4, Qualité de l'eau – Radon 222 – Partie 4 : Méthode par comptage des scintillations en milieu liquide à deux phases

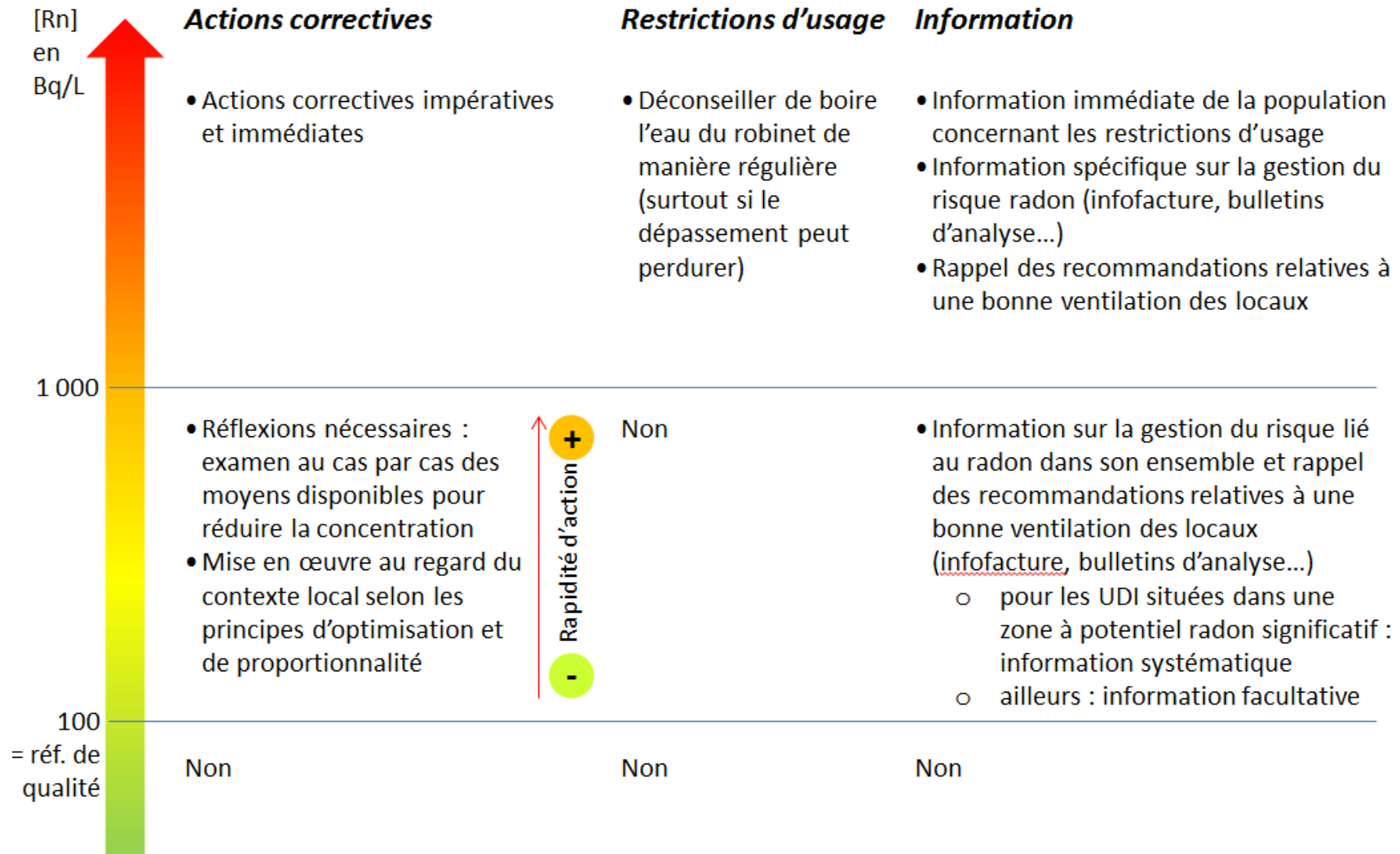
NF EN ISO 5667-1, Qualité de l'eau — Échantillonnage — Partie 1: Lignes directrices pour la conception des programmes et des techniques d'échantillonnage

NF EN ISO 5667-3, Qualité de l'eau — Échantillonnage — Partie 3: Conservation et manipulation des échantillons d'eau

NF EN ISO 10703, Qualité de l'eau — Détermination de l'activité volumique des radionucléides — Méthode par spectrométrie gamma à haute résolution

NF EN ISO/CEI 17025, Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais

Annexe 7 : Modalités de gestion des dépassements de la référence de qualité pour le radon dans les eaux fournies par un réseau de distribution



Annexe 8 : Exemple d'éléments d'information des populations et des recommandations à délivrer aux consommateurs en cas de dépassement de la référence de qualité de 1 000 Bq/L [15]

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle formé à partir du radium naturellement présent dans le sol, plus fortement dans les sous-sols granitiques et volcaniques. Une part du radon formé peut s'accumuler dans les bâtiments. Etant soluble, une part du radon formé dans le sol peut également se dissoudre dans l'eau souterraine.

Ainsi, dans l'habitat, le radon constitue une source d'exposition pour l'homme par deux voies distinctes :

- l'inhalation du radon présent dans l'air (voie prépondérante), soit en provenance du sol, soit en provenance de l'eau dont il parvient à s'échapper dans l'air,
- l'ingestion du radon présent dans l'eau.

Le radon est un agent cancérigène pulmonaire pour l'homme. A ce jour, l'augmentation du risque de cancer du poumon avec les concentrations de radon dans l'habitat est le seul lien scientifiquement démontré par les études épidémiologiques.

Même si les études épidémiologiques n'ont pas démontré à ce jour d'augmentation de risque lié à l'ingestion de radon via une consommation d'eau, il est déconseillé de boire l'eau de robinet de manière régulière lorsque sa concentration en radon dissous dans l'eau est supérieure à 1 000 Bq/L, surtout si cette situation perdure.

Par ailleurs, une concentration en radon dans l'eau du robinet supérieure à 1 000 Bq/L peut indiquer la présence de radon dans l'air intérieur des bâtiments à des concentrations élevées. Effectuer une mesure du radon dans l'air intérieur est le seul moyen de connaître l'exposition *via* l'air intérieur du bâtiment. Il est également recommandé de bien aérer les locaux afin de réduire ces concentrations et d'améliorer la qualité de l'air intérieur d'une manière générale.

Lien utile : <http://www.irsn.fr/radon>

Annexe 9 : Solutions techniques pour le traitement du radon dans l'eau

1. Aération

L'aération consiste à « libérer » le radon de l'eau (dégazage). Le radon se retrouve ainsi dans l'air, ce qui peut contribuer à augmenter l'activité volumique du radon dans l'air des stations de traitement ou des réservoirs d'eau, susceptible d'engendrer des expositions pour les travailleurs. L'employeur doit tenir compte de ce phénomène dans le cadre de l'évaluation des risques au poste de travail. Plusieurs options peuvent s'avérer possibles pour réduire ce phénomène, notamment une aération importante du local.

a) Aération forcée ou stripping

Le stripping consiste à faire passer de l'air en quantité importante dans des colonnes remplies d'anneaux « Rachig ». Le rapport des débits varie de 5 à 40 volumes d'air par volume d'eau (air/eau). Ce procédé est utilisé pour réduire les teneurs en gaz carbonique (CO₂) dans les eaux agressives et pour réduire les concentrations de composés volatils (micropolluants organiques, H₂S, etc).

- Avantages
 - Le radon est très bien éliminé de l'eau.
 - Si la teneur en oxygène dans l'eau n'est pas assez élevée, cette technique permet également de saturer l'eau en oxygène.
- Inconvénients
 - Le radon est transféré de l'eau vers l'air : il est nécessaire de s'assurer de la bonne aération du local afin d'éviter que les concentrations de radon dans l'air ne deviennent élevées, de limiter l'exposition des intervenants et de garantir l'efficacité du dégazage.
 - Ce traitement nécessite une source d'énergie, pas toujours disponible pour les plus petites installations isolées.
 - Pour des rapports volumétriques air/eau supérieurs à 5, le gaz carbonique est éliminé de l'eau, partiellement voire totalement, ce qui entraîne les effets suivants :
 - Le pH de l'eau s'élève à 9 ou plus, pH incompatible avec une désinfection efficace au chlore ou au bioxyde de chlore. Dans tous les cas, le pH devra être corrigé.
 - Pour les eaux bicarbonatées calciques, le carbonate de calcium peut précipiter, il faut donc prévoir dans la chaîne de traitement des étapes réduisant les risques d'entartrage (réacidification de l'eau pour effectuer une filtration, correction éventuelle de la minéralisation si l'eau a été trop adoucie, remise à l'équilibre calco-carbonique).
 - Pour les eaux très peu minéralisées, l'élimination totale du CO₂ lors de l'aération forcée impose un ajout de CO₂ pour pouvoir effectuer une reminéralisation assurant un bon transport de l'eau via le réseau de distribution. La reminéralisation s'effectue soit par filtration sur un média constitué de carbonate de calcium soit par ajout d'eau de chaux.

- La température de l'air, lorsqu'elle est très basse, peut être un frein à ce procédé car le risque de prise en masse de l'eau (formation de glace) n'est pas à sous-estimer.

b) Aération faible

Cette aération est obtenue par des cascades au niveau de l'arrivée de l'eau dans les réservoirs. La perte de CO₂ sera bien plus faible que pour l'aération forcée (le rapport des débits air/eau serait de l'ordre de 1).

- Avantages
 - Ce procédé peut être très facilement installé, il suffit de prévoir une hauteur d'eau suffisante au niveau du premier réservoir de distribution.
 - La perte de CO₂ sera faible et n'induit pas de modification de filière.
 - Si la cascade se fait après l'étape de désinfection, l'efficacité de celle-ci n'est pas compromise.
 - C'est un traitement passif qui n'induit pas d'erreurs humaines ou de pannes mécaniques.
- Inconvénients
 - Il est nécessaire de s'assurer de la bonne aération du local afin d'éviter que les concentrations de radon dans l'air ne deviennent élevées et limiter l'exposition des intervenants.
 - Il est impératif de faire des essais pour connaître le taux d'élimination du radon en fonction de la hauteur de chute.
 - Il peut être nécessaire de modifier les arrivées d'eau dans les réservoirs de première distribution afin de créer la chute d'eau.
 - Les eaux bicarbonatées calciques devront être légèrement agressives afin d'anticiper la faible perte de CO₂ par les cascades (l'eau distribuée doit être légèrement incrustante).
 - Les réservoirs doivent être aérés afin de réduire la concentration en radon dans l'air ambiant.
 - Le traitement peut conduire à des expositions des travailleurs au radon, la surveillance de l'exposition professionnelle des travailleurs est de la responsabilité de l'employeur.

2. Filtration et adsorption sur charbon actif

Ce procédé est qualifié de très efficace dans la littérature pour la rétention du radon dans l'air. Les inhibiteurs de l'adsorption sont les composés volatils organiques et l'humidité de l'air.

Ce procédé est néanmoins plus coûteux (achat et maintenance) que les solutions techniques précédentes et peut conduire à prendre des mesures de radioprotection pour les travailleurs. De plus, il engendre des déchets de très faible activité radiologique (concentration de radon et de ses descendants sur le charbon actif) nécessitant d'avoir recours à une filière d'élimination spécifique lors de la régénération du charbon actif.

Ce traitement pose en outre quelques difficultés :

- L'adsorption est en réalité un équilibre entre adsorption et désorption. La constante de Henry du radon étant élevée, la désorption est très rapide ; le charbon actif pourrait donc

être en équilibre adsorption- désorption en un temps très court (possiblement de l'ordre du mois). Il est donc impératif d'éliminer au préalable une partie du radon présent dans l'eau par aération.

- Le radon étant piégé sur le charbon actif, ses produits de désintégration seront également piégés sur le charbon actif (accumulation progressive des hydroxydes de polonium, plomb et bismuth).
- Le lavage des filtres à charbon actif en grain se fait par insufflation d'air et de mélange air/eau. L'effet de ces lavages sur l'élimination du radon n'est pas connu. En revanche, les hydroxydes de polonium, plomb et bismuth resteront fixés sur le charbon actif.
- Il est difficile de prévoir l'efficacité de la filtration sur charbon actif en poudre. La durée d'utilisation du charbon actif en poudre étant de l'ordre du mois, il faudra s'assurer de la durée d'utilisation et d'efficacité du charbon actif.
- La mise en place d'un traitement par filtration insuffisamment maîtrisé pourrait être accompagnée de dysfonctionnements préjudiciables à la qualité globale de l'eau, y compris au plan microbiologique.