

Décryptage

LE RADON, QUELLE PRÉVENTION EN ENTREPRISE ?

La directive européenne n° 2013/59/Euratom, dont la transposition en droit français a été intégrée au Code du travail, prévoit des dispositions relatives à la radioactivité naturelle et plus particulièrement vis-à-vis des risques liés au radon.

Les articles R. 4451-1 et suivants fixent les règles permettant de prendre en compte ces risques particuliers en entreprise et dans certains lieux de travail spécifiques. Ce décryptage présente les enjeux en matière de santé et de sécurité au travail, ainsi que les conséquences pour les employeurs et les préventeurs.

RADON, WHAT PREVENTION IN THE WORKPLACE? – The European directive n° 2013/59 / Euratom, whose transposition into French law has been incorporated into the French Labor Code, provides for provisions relating to natural radioactivity and more particularly, with regard to risks related to radon. Articles R. 4451-1 and following (from the French Labor Code) set out the rules for taking into account these specific risks in the workplace and in specific workplaces. This decoding presents the issues of health and safety at work, as well as the consequences to be taken into account, for both employers and occupational safety and health specialists.

PATRICK
MOUREAUX
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

Depuis toujours, les populations sont exposées à la radioactivité naturelle, cette dernière provenant du ciel (rayonnement solaire et cosmique), des aliments solides ou liquides consommés et du sol (rayonnement tellurique et gaz radon). En France, le radon représente presque la moitié de cette exposition d'origine naturelle, ce qui fait de lui la première cause d'exposition des populations aux rayonnements ionisants. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) l'a classé dans le groupe 1 comme cancérigène pulmonaire certain et il serait à l'origine d'environ 3000 décès par cancer du poumon chaque année en France, ce qui en fait la deuxième cause de décès pour ce type de cancer, après le tabac.

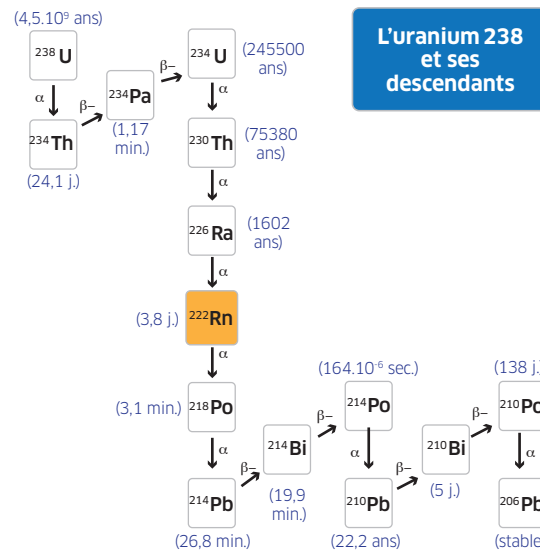
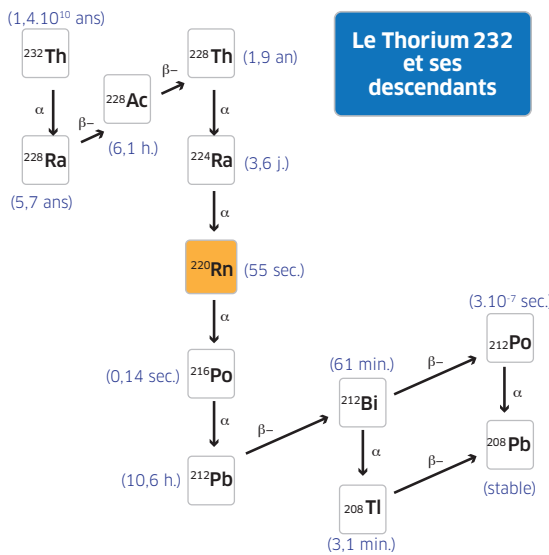
Rappel : les isotopes du radon

Tout atome radioactif (le « père ») est instable et, au fil du temps, il se désintègre en émettant un rayonnement ou une particule. Lors de chaque désintégration, il se transforme en un nouvel élément (le « fils »), qui peut être lui-même radioactif et qui, à son tour, se désintègre et se transforme à nouveau, pour atteindre au bout d'un certain

nombre de désintégrations successives, une forme stable et non radioactive.

Le radon, gaz radioactif, est ainsi l'un des éléments d'une chaîne de filiation dont le « père » d'origine est soit l'uranium 238, soit le thorium 232. Ces deux radionucléides, présents dans la croûte terrestre depuis toujours, se transforment au fil du temps selon les chaînes décrites sur la figure 1.

L'uranium 238 conduit au bout d'un certain nombre de désintégrations au radon 222 (Rn 222), dont la demi-vie est de 3,8 jours. Le thorium 232 est à l'origine de la chaîne menant au radon 220 (²²⁰Rn), d'une demi-vie¹ de 55 secondes. ²²²Rn et ²²⁰Rn sont les isotopes¹ les plus abondants du radon. Ces deux formes du radon sont gazeuses et présentes dans le sol en quantités inégales, puisque l'on trouve six fois plus de ²²²Rn que de ²²⁰Rn. Leurs demi-vies respectives, bien que courtes, sont suffisamment longues pour qu'ils aient le temps de migrer depuis le sous-sol vers la surface. Un troisième isotope, le ²¹⁹Rn, issu de la désintégration de l'uranium 235, est aussi présent, mais sa demi-vie est si courte (3,9 secondes) et la proportion d'uranium 235 est si petite que sa concentration est trop faible pour qu'il compte dans l'exposition.

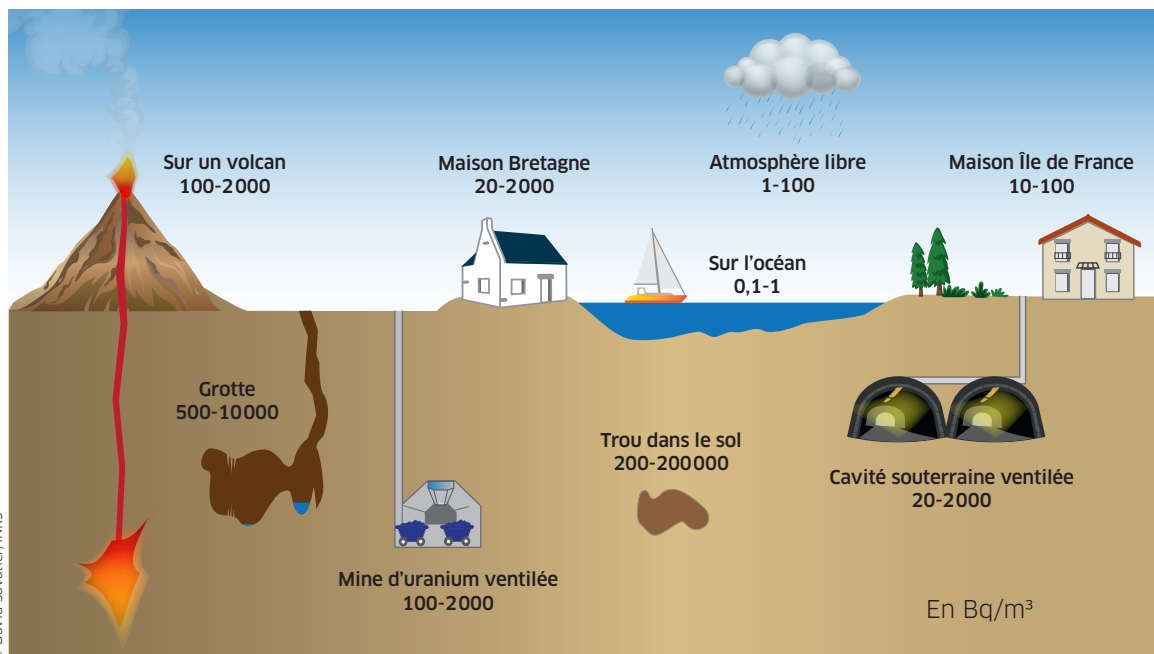


← FIGURE 1
Chaînes de filiation radioactive : transformations successives du ²³²Th et de l'²³⁸U.

Ces gaz sont chimiquement inertes. Une fois créés dans le sous-sol, ils tendent à migrer vers la surface en se mélangeant à l'air présent sous terre, ou à circuler avec l'eau contenue dans le sol, mais seule une partie y parvient car une proportion importante reste piégée dans les structures des roches. À ce stade, la quantité (ou la concentration) de gaz radon produite dans le sous-sol est directement proportionnelle aux quantités d'uranium 238 ou de thorium 232 présentes localement et est, par conséquent, dépendante de la situation géologique (donc géographique). Dans le sol, la concentration en radon va dépendre aussi de paramètres intrinsèques au terrain tels que la porosité, la perméabilité, la granulométrie mais aussi de l'humidité. A l'interface sol/

air, les conditions météorologiques (humidité, pression atmosphérique) vont de même avoir une influence sur cette concentration. Une fois le radon arrivé en surface, deux situations sont à considérer :

- le radon se libère du sol dans l'air extérieur et dans ce cas il se dilue rapidement. Sa concentration dans un lieu donné peut connaître des variations importantes, en fonction des conditions atmosphériques et notamment, le vent et la température. Le jour, les températures plus élevées peuvent permettre une meilleure diffusion du gaz dans l'air ambiant, alors que la nuit, lorsque l'air est plus froid, le gaz tend à rester près du sol et sa concentration peut augmenter très significativement ;



← FIGURE 2
Concentrations de radon (en densités de désintégrations) dans diverses situations.

- le radon se libère à l'intérieur des bâtiments (habitation ou lieux de travail) via l'interface sol / bâtiment, dès lors qu'il existe des points de passage, tels que des fissures dans la structure du sol ou dans la jonction sol / murs. Un sol poreux laissera aussi passer le radon, alors qu'un sol étanche traité pour l'humidité (film plastifié...) bloquera son passage. Les bâtiments sur vide sanitaire aéré sont peu sensibles à la pénétration du radon par le sol. La différence de température entre l'intérieur du bâtiment (plus chaud) et le sol va provoquer une légère dépression qui va contribuer à favoriser la pénétration du radon dans le bâtiment. Une fois dans les parties basses du bâtiment, le radon se dilue plus ou moins dans l'air ambiant, en fonction de critères tels que :

- la présence d'ouvrants sur l'extérieur et aération régulière,
- la présence d'aérateurs et circulation naturelle de l'air en fonction de l'utilisation du local,
- la présence d'une ventilation forcée...

À noter que :

- la concentration en radon à l'intérieur des bâtiments est très significativement supérieure à celle rencontrée à l'extérieur (cf. Figure 2) ;
- les matériaux de construction riches en ^{238}U et en ^{232}Th , tels que le granit et les roches volcaniques, représentent eux-mêmes des sources d'émission de radon, bien que faibles en comparaison avec les sols.

Effets sur la santé du radon

Les effets du radon sur la santé sont liés à l'émission, au contact des tissus humains, de particules alpha² issues de la désintégration du radon ou de ses produits de filiation, qui sont très énergétiques et capables d'altérer les cellules, notamment en provoquant des lésions sur les brins d'ADN d'un chromosome. Ces lésions sont en général réparées et il n'y a alors pas de conséquence, mais lorsque ce n'est pas le cas et que la cellule reste viable malgré ces lésions, la modification apportée à la cellule va être transmise lors des divisions cellulaires successives et ainsi, risquer de provoquer le processus de cancérogenèse.

Les particules alpha, bien que très énergétiques, n'ont pas la capacité de pénétrer profondément les milieux qu'elles traversent, du fait de leur charge importante (deux protons), qui les conduit à interagir fortement avec les atomes rencontrés. Une simple feuille de papier ou même la peau sont capables de stopper ces particules, et leur parcours dans l'air est limité à environ 2 cm.

Les risques pour la santé surviennent donc lorsque ces particules sont émises au contact direct des tissus sensibles et, en ce qui concerne un gaz comme le radon, ce sont les poumons qui sont directement concernés. Dans les faits, le gaz est

inhalé puis exhalé sans que les particules alpha aient le temps de déposer une quantité d'énergie importante dans les alvéoles pulmonaires, ce qui conduit à rechercher ailleurs la source du risque principal lié à ce type d'exposition.

Pour cela, il faut approfondir encore un peu le processus de désintégration de la chaîne de ^{238}U et de ^{232}Th . En se référant à la figure 1, il est possible de constater que le radon sous forme gazeuse se désintègre à son tour pour donner des atomes de polonium 218 (^{218}Po), de plomb 214 (^{214}Pb), de bismuth 214 (^{214}Bi) et de polonium 214 (^{214}Po), que l'on appelle aussi produits de filiation du radon. Ces atomes sont aussi des émetteurs alpha et sont, de par leur nature solide, capables de se fixer sur les aérosols en suspension dans l'air. C'est donc en respirant une atmosphère transportant ces atomes que le risque est prépondérant, puisque ceux-ci vont se déposer physiquement dans les alvéoles pulmonaires et irradier les cellules au contact. Ce sont surtout les produits de filiation à vie courte qui contribuent à cette irradiation.

Pour résumer, l'exposition au gaz radon³ sous ses principales formes (^{222}Rn et ^{220}Rn) conduit à une dose reçue dans les poumons, qui résulte de l'exposition directe à ces isotopes et surtout aux « descendants » solides à vie courte du ^{222}Rn (^{218}Po et ^{214}Po). Le ^{220}Rn et ses produits de filiation, ne contribuant que faiblement au bilan radiologique (environ 4%), ne sont pas pris en compte dans les évaluations de doses.

Dans le cas général, l'analyse des risques dus à l'exposition au radon devra donc s'intéresser à la présence du radon gaz ^{222}Rn et de ses « descendants à vies courtes », pour permettre une évaluation correcte de la dose reçue.

Évaluation des risques

L'évaluation des risques dus aux rayonnements ionisants, étape cruciale de la démarche de prévention, relève de la responsabilité de l'employeur. Dans ce cadre, le Code du travail prévoit des dispositions spécifiques pour ce qui concerne l'exposition au radon. Dans un premier temps, l'employeur doit déterminer le niveau de risque lié à la situation géographique de son ou ses établissements, ainsi qu'aux caractéristiques des lieux de travail dans lesquels interviennent ses employés. Pour cela, il peut s'appuyer sur l'arrêté du 27 juin 2018, portant délimitation des zones à potentiel radon sur le territoire national. Ce texte classe les communes de France en trois « zones à potentiel radon », définies par l'article R. 1333-29 du Code de la santé publique (cf. En savoir plus) selon le niveau de risque :

- zones 1 : zones à potentiel radon faible ;
- zones 2 : zones à potentiel radon faible, mais sur lesquelles des facteurs géologiques particu-

ENCADRÉ 1

CE QUE PRÉVOIT LE CODE DU TRAVAIL (ARTICLE R. 4451-1 ET SUIVANTS)

DOMAINE D'APPLICATION :

les dispositions du Code du travail s'appliquent dès que les travailleurs (y compris indépendants) sont susceptibles d'être exposés à un risque dû aux rayonnements ionisants d'origine naturelle ou artificielle, et notamment : activités professionnelles exercées au sous-sol ou au rez-de-chaussée des bâtiments situés dans les zones où l'exposition est susceptible de porter atteinte à la santé des travailleurs. Les « zones à potentiel radon » sont définies à l'échelle communale, conformément à l'article R.1333-29 du Code de la santé publique, dans l'arrêté du 27 juin 2018 portant délimitation des zones à potentiel radon du territoire français.

NIVEAU DE RÉFÉRENCE : 300 Bq/m³

ANALYSE DES RISQUES : elle est menée avec l'aide du salarié compétent (L.4644-1 du Code du travail) et doit prendre en compte le niveau de référence, les zones à potentiel radon, les éventuelles mesures déjà réalisées ainsi que les moyens de protection collective existants (ex : ventilation...).

MESURAGES : ils sont effectués si l'évaluation des risques montre un risque d'exposition supérieur au niveau de référence.

MOYENS DE PRÉVENTION : ce sont essentiellement des moyens de

protection collective et ils sont à mettre en œuvre lorsque l'analyse des risques met en évidence que l'exposition des travailleurs peut atteindre ou dépasser le niveau de référence. La vérification de l'efficacité de ces moyens est réalisée à l'aide de mesurages.

SIGNALEMENT : lorsque les mesurages précédents montrent encore un dépassement du niveau de référence, alors les résultats sont transmis à l'IRSN.

ZONAGE : l'employeur identifie les zones où l'exposition au radon peut dépasser 6 mSv/an en considérant la zone occupée en permanence. Cette zone est appelée « zone radon », elle doit être délimitée et son accès limité.

VÉRIFICATION INITIALE : les zones radon préalablement délimitées doivent être vérifiées à l'aide de mesurages réalisés par un organisme accrédité ou par un organisme agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

VÉRIFICATIONS PÉRIODIQUES : sous la responsabilité de l'employeur, le conseiller en radioprotection vérifie les zones radon périodiquement ou le cas échéant en continu par des mesurages.

MODALITÉS D'ACCÈS EN ZONE RADON : les travailleurs peuvent

accéder à cette zone sous réserve d'y être autorisés par l'employeur sur la base d'une évaluation individuelle de dose.

ÉVALUATION INDIVIDUELLE DE L'EXPOSITION AU RADON :

elle est effectuée avant l'affectation au poste de travail et elle est communiquée au médecin du travail si la dose susceptible d'être reçue (et uniquement due au radon) est supérieure à 6 mSv/an.

INFORMATION DES TRAVAILLEURS :

les travailleurs accédant en zone radon doivent recevoir une information dont le contenu est précisé à l'article R. 4451-58 du Code du travail.

SURVEILLANCE DOSIMÉTRIQUE INDIVIDUELLE :

les travailleurs dont la dose préalablement évaluée est susceptible de dépasser 6 mSv/an font l'objet d'un suivi individuel de leur exposition à l'aide de dosimètres à lecture différée.

SUIVI DE L'ÉTAT DE SANTÉ DES TRAVAILLEURS :

les travailleurs faisant l'objet d'un suivi individuel de leur exposition bénéficient d'un suivi individuel renforcé (SIR) qui comprend un examen médical d'aptitude, qui se substitue à la visite d'information et de prévention. Il est effectué par le médecin du travail, préalablement à l'affectation sur le poste.

liers peuvent faciliter le transfert du radon vers les bâtiments ;

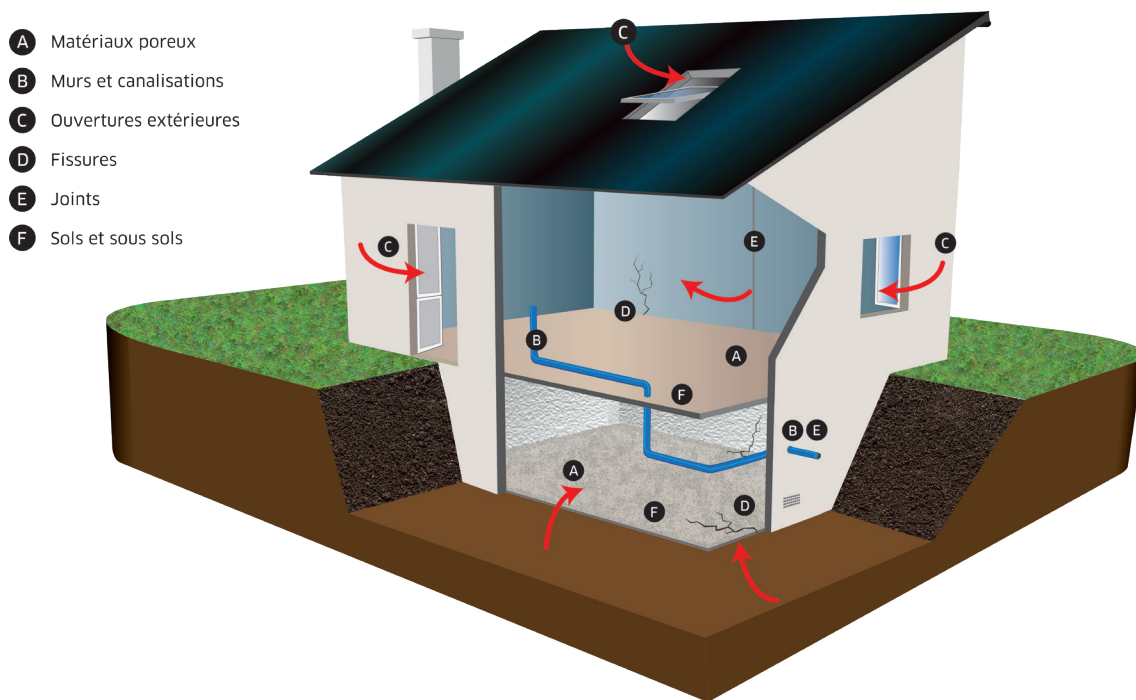
- zones 3 : zones à potentiel radon significatif. L'ensemble de ces zones figure sur le site de l'IRSN (cf. En savoir plus).

Dans un second temps, l'employeur doit prendre en compte la localisation des lieux de travail. En effet, la réglementation (cf. Encadré 1) s'applique à tous les lieux situés en sous-sol ou au rez-de-chaussée des bâtiments (cf. Figure 3).

Une attention particulière doit être portée aux lieux de travail souterrains, tels que les chantiers, les travaux en galerie (circulations techniques,

égouts...), caves à vin, champignonnières, grottes touristiques et toutes les cavités susceptibles d'accueillir des travailleurs. Un arrêté prochain devrait définir la liste des lieux ou des activités spécifiques devant faire l'objet d'un dépistage. Les établissements thermaux, du fait de la grande quantité d'eau issue du sol et potentiellement chargée en radon, sont des sites particulièrement exposants pour les travailleurs, si des actions de remédiation n'ont pas été prises en amont pour limiter la présence de radon dans l'eau utilisée. À noter que, depuis 2004, ces derniers font déjà l'objet de dispositions issues du Code de la santé





➔ FIGURE 3
Voies d'entrée
du radon dans
un bâtiment.

© David Savatier/INRS

publique, dispositions modifiées depuis la parution du décret n° 2018-434 du 1^{er} juillet 2018 (cf. En savoir plus).

En fonction de leur zone géographique, les lieux de travail répondant à ces critères de situation feront l'objet d'un dépistage du radon :

- en zones 3 : des mesures de la concentration dans l'air en radon seront à réaliser à l'aide de détecteurs solides de traces nucléaires (DSTN), par l'employeur ou par un organisme agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) ;
- en zones 2 : les mesures ne sont normalement pas nécessaires sauf si l'établissement ou le lieu de travail se trouve au-dessus d'une cavité géologique, mine, tunnel..., dans lesquels le radon peut se concentrer et filtrer vers la surface ;
- en zones 1 : les mesures ne sont pas nécessaires, à moins que des travaux soient menés dans des locaux en sous-sol ou dans des lieux souterrains non ventilés ou aérés. Ce peut être le cas de lieux rarement visités, qui finissent par voir leur concentration en radon augmenter avec le temps.

La réglementation a prévu un niveau de référence, à partir duquel des actions de remédiation sont à mettre en œuvre pour faire baisser la concentration en radon. Ce niveau de référence est de 300Bq/m³ (4) en moyenne annuelle.

Lors de l'évaluation des risques, dans les situations où les mesures ne sont pas nécessaires, l'employeur peut s'appuyer sur les éventuelles mesures déjà réalisées auparavant, soit dans le cadre du Code de la santé publique pour les ERP (établissements recevant du public), soit dans le

cadre du Code du travail pour les établissements listés ci-dessous, définis par l'arrêté du 7 août 2008 :

- entretien et surveillance de voies de circulation, d'aires de stationnement ;
- entretien, conduite et surveillance de matériels roulants ou de véhicules ;
- manutention et approvisionnement de marchandises ou de matériels ;
- activités hôtelières et de restauration ;
- entretien et organisation de visite de lieux à vocation touristique, culturelle ou scientifique ;
- maintenance d'ouvrage de bâtiment et de génie civil ainsi que de leurs équipements ;
- activités professionnelles exercées dans des établissements ouverts au public visés à l'article R. 1333-15 du Code de la santé publique ;
- activités professionnelles exercées au moins une heure par jour dans des établissements thermaux.

Mesures de remédiation

Si les mesures effectuées dans le cadre du dépistage du radon montrent des niveaux supérieurs au niveau de référence, différents moyens sont alors disponibles pour faire baisser la concentration du radon dans l'air :

- dans un premier temps, le renouvellement de l'air des locaux sera à privilégier. Même s'il n'agit pas sur la pénétration de radon dans les locaux, il permet, dans la plupart des cas, de baisser la concentration en radon sous le niveau de référence. Le renouvellement de l'air peut être effectué soit naturellement, par simple aération

des locaux, soit mécaniquement, en améliorant la ventilation en place ou en installant une ventilation lorsqu'elle n'existe pas ;

- l'étanchéité de l'interface sol/bâtiment permet d'empêcher le radon de pénétrer dans les locaux. Une attention particulière doit être portée aux fissures dans le sol, aux passages de canalisations, ainsi qu'aux joints entre sol et murs.

À l'issue de la mise en œuvre de ces mesures de remédiation, une vérification de leur efficacité doit être effectuée à l'aide de nouveaux mesurages. Si la concentration dans l'air du radon est encore supérieure au niveau de référence, des dispositions réglementaires particulières (cf. Encadré 1) doivent alors être mises en œuvre. Parallèlement à la mise en place de cette organisation, l'employeur doit poursuivre sa recherche de solutions pour réduire la concentration dans l'air du radon, en agissant sur le bâti (travaux d'étanchéification des sols), sur la ventilation (mise en dépression du vide sanitaire ou du sol) ou en mettant en suppression les parties basses du bâtiment, par la mise en œuvre d'une ventilation double flux ou d'une ventilation simple flux en insufflation.

L'ensemble de ces dispositifs doit contribuer à améliorer la prise de conscience de l'importance de ce risque et de ses conséquences en milieu de travail. L'enjeu majeur en matière de santé au travail reste la sensibilisation des TPE et des PME, qui demeurent peu familières de ces questions. En effet, les risques dûs au radon étant liés à la situation géographique de l'entreprise ou du lieu de travail, ainsi qu'au niveau de confinement de ces lieux, de nombreux employeurs, n'étant jamais confrontés à la radioactivité de par leur activité, vont devoir s'intéresser à ce phénomène naturel et prendre les dispositions qui s'imposent pour protéger la santé de leurs salariés. ●

1. *Isotopes : plusieurs types d'atomes issus d'un même élément chimique. Ils possèdent le même nombre de protons (ou d'électrons) mais leurs nombres de neutrons diffèrent. Ils ont les mêmes propriétés chimiques, mais leurs radioactivités varient. La demi-vie d'un isotope radioactif est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux*

ENCADRÉ 2

JOURNÉE D'INFORMATION SUR LE RISQUE RADON EN MILIEU PROFESSIONNEL ORGANISÉE PAR L'IRSN ET L'INRS



Depuis le 1^{er} juillet 2018, la réglementation intègre le risque radon dans la démarche de prévention des risques professionnels. Pour aider les entreprises à gérer et à prévenir ce risque en milieu professionnel, l'INRS et l'IRSN ont organisé le 6 juin 2019 une journée d'information à destination des acteurs de la prévention en entreprise ; 150 personnes, tous préventeurs, y ont participé.

Au programme de la rencontre :

- Le nouveau contexte réglementaire
- L'origine et les effets du radon sur la santé
- Les secteurs et territoires concernés
- L'évaluation du risque lié au radon en milieu professionnel
- Les moyens de s'en prémunir

La journée s'est conclue par des échanges autour de retours d'expérience en entreprise.

L'ensemble des présentations et des vidéos sont accessibles sur : www.inrs-irsn-radon2019.fr/

inalement présents présents dans une certaine quantité de matière sont désintégrés.

2. *Les particules alpha sont émises par des noyaux instables, de grande masse atomique. Elles sont constituées de deux protons et deux neutrons, combinés en un noyau d'hélium.*
3. *Selon la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) n° 37, la contribution du radon gaz seul ne représenterait que 2 à 5 % de la dose efficace totale (radon gaz + descendants à vie courte).*
4. *Le Becquerel (Bq) mesure l'activité d'une source radioactive, c'est-à-dire le nombre de transformations ou désintégrations d'atomes qui s'y produisent en une seconde, cette transformation s'accompagnant de l'émission d'un rayonnement. Le Bq/m³ représente le nombre de désintégrations par seconde et par mètre cube d'air dans le cas du radon.*

POUR EN SAVOIR +

- *Travail & Sécurité* n° 805, mai 2019 : articles « Émergences » et « Le grand entretien ». Accessibles sur : www.travail-et-securite.fr
- Le radon. Base de connaissances de l'IRSN, accessible sur : www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/Pages/Le-radon.aspx
- Dossier INRS sur les rayonnements ionisants, accessible sur : www.inrs.fr/risques/rayonnements-ionisants/ce-qu-il-faut-retenir.html
- Le radon. Dossier pédagogique de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), accessible sur : www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/Le-radon