Commune de Colombier-le-Jeune (07)

PLAN LOCAL D'URBANISME

11 PREVENTION DES RISQUES LIES AU RADON



Plan Local d'Urbanisme

- Décision d'élaboration du P.L.U. par délibération du Conseil Municipal en date du 2 avril 2015
- Arrêt du P.L.U. par délibération du Conseil municipal en date du 7 avril 2025
- Approbation du P.L.U. par délibération du Conseil municipal en date du 12 octobre 2026

Révisions et Modifications

- .....

Référence : 42039

biosinsight

REALITES Urbanisme et Aménagement
34, Rue Georges Plasse - 42300 Roanne
Tél : 04 77 67 83 06 info@realites-be.fr
www.realites-be.fr

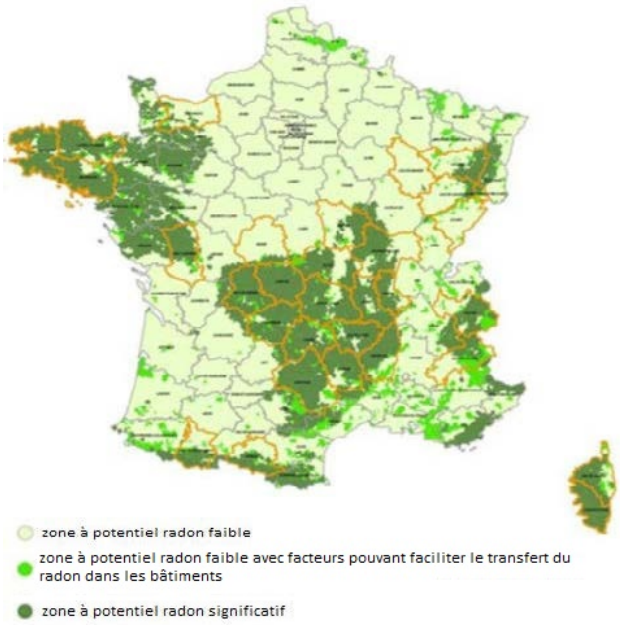
RÉALITÉS
Urbanisme et Aménagement

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES
Liberté
Égalité
Fraternité

Information acquéreur – locataire (IAL – article L.125-5 du CE)

Le zonage radon sur ma commune

Le zonage à potentiel radon des sols
France métropolitaine



Qu'est-ce que le radon?

Le radon est un gaz radioactif naturel inodore, incolore et inerte chimiquement. Il est issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans le sol et les roches.
Le radon est présent partout : dans l'air, le sol, l'eau avec une concentration très variable d'un lieu à l'autre suivant de nombreux facteurs : pression, température, porosité, ventilation…
Dans l'air extérieur, le radon se dilue rapidement et sa concentration moyenne reste généralement très faible. Par contre, dans les espaces clos comme les bâtiments, il peut s'accumuler et atteindre parfois des concentrations élevées.
Les zones les plus concernées par des niveaux élevés de radon dans les bâtiments sont celles ayant des formations géologiques naturellement riches en uranium (sous-sols granitiques et volcaniques).
La concentration en radon se mesure en becquerel par mètre cube d'air (Bq/m³) et le niveau moyen de radon dans l'habitat français est inférieur à 100 Bq/m³. Il existe néanmoins d'importantes disparités liées aux caractéristiques du sol, mais aussi du bâtiment et de sa ventilation. La concentration varie également selon les habitudes de ses occupants en matière d'aération et de chauffage.

Quel est le risque pour la santé ?

Le radon est classé comme cancérogène certain pour le poumon depuis 1987 (Centre international de recherche sur le cancer de l'OMS). En effet, le radon crée, en se désintégrant, des descendants solides radioactifs (polonium, bismuth, plomb) qui peuvent se fixer sur les aérosols de l'air et, une fois inhalés, se déposer le long des voies respiratoires en provoquant leur irradiation.
À long terme, l'inhalation du radon conduit à augmenter le risque de développer un cancer du poumon. Cette augmentation est proportionnelle à l'exposition cumulée tout au long de sa vie.
En France, le radon est la seconde cause de cancer du poumon, après le tabac, et on estime qu'environ 3000 décès par an lui sont imputables. Qui plus est, pour une même exposition au radon, le risque de développer un cancer du poumon est environ 20 fois plus élevé pour un fumeur que pour un non-fumeur.

Comment connaître l'exposition au radon dans son habitation ?

Le seul moyen de connaître son niveau d'exposition au radon est de le mesurer grâce à des détecteurs (dosimètres radon) pendant au moins de 2 mois en période de chauffe (mi-septembre à fin avril) dans les pièces aux niveaux les plus bas occupés (séjour et chambre de préférence). En effet, le radon provenant principalement des sols sous les bâtiments, les expositions les plus élevées se situent généralement dans les lieux de vie les plus proches du sol.
Les détecteurs sont commercialisés et analysés par des laboratoires spécialisés (renseignements disponibles sur les sites internet mentionnés dans les contacts utiles ci-dessous). Des détecteurs peuvent également être mis à disposition ponctuellement lors de campagnes de prévention (renseignements auprès de sa commune, de l'agence régionale de santé (ARS) ou de la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL)).
Il est recommandé d'avoir un niveau de radon dans son logement inférieur au niveau de référence fixé à 300 Bq/m3, et plus généralement, le plus bas raisonnablement possible.

Comment réduire l'exposition au radon dans son habitation ?

Des solutions techniques existent pour réduire la concentration en radon dans son habitation :
- ✓ **aérer quotidiennement son domicile par l'ouverture des fenêtres au moins 10 minutes par jour ;**
- ✓ **ne pas obstruer les entrées et les sorties d'air, quand elles existent, et les nettoyer régulièrement ;**
- ✓ **veiller à l'entretien régulier du système de ventilation, quand il existe, et à changer les filtres régulièrement.**

Les travaux d'aménagement suivants permettent également de réduire la concentration en radon dans son habitation :
- ✓ **assurer l'étanchéité de l'interface entre le bâtiment et le sol vis-à-vis du passage du radon (fissures, joints sol/mur, passages des réseaux) ;**
- ✓ **améliorer, rétablir ou mettre en œuvre une ventilation naturelle ou mécanique dans le soubassement de son domicile.**

Les solutions techniques sont à choisir et à adapter à son bâtiment. Aussi, il est conseillé de faire appel à des professionnels du bâtiment qui pourront réaliser un diagnostic de la situation et aider à choisir les solutions les plus adaptées. Une fois ces solutions mises en œuvre, il est recommandé de vérifier leur efficacité en réalisant de nouvelles mesures de radon.

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES
Liberté
Égalité
Fraternité

Information acquéreur – locataire (IAL – article L.125-5 du CE) sur le risque radon

Le potentiel radon des sols

Le potentiel radon des sols représente la capacité du sol à émettre du radon. Il prend en compte la richesse en uranium et radium présents dans les roches du sous-sol, la porosité du sol ainsi que plusieurs facteurs géologiques particuliers pouvant favoriser la remontée du radon vers la surface comme les failles, les cavités souterraines, les zones minières…
Il ne permet pas de connaître la concentration dans son habitation et donc son exposition réelle au radon qui dépend aussi de la qualité de la construction et de son mode de vie. Il permet toutefois d'émettre certaines recommandations selon son intensité.

Recommandations pour un logement situé dans une commune à potentiel radon significatif (zone 3)

Il est recommandé de procéder au mesurage du radon dans son logement dans des pièces aux niveaux les plus bas occupés. Le nombre de détecteurs à placer dépend de la surface du bâtiment, avec a minima deux détecteurs à positionner de préférence dans le séjour et une chambre.
Si les résultats sont inférieurs au niveau de référence de 300 Bq/m³, aucune action particulière n'apparaît aujourd'hui nécessaire, à l'exception des bonnes pratiques en termes de qualité de l'air intérieur de son logement (aération quotidienne de son logement par ouverture des fenêtres au moins dix minutes par jour, pas d'obstruction des systèmes de ventilation…).
Si les résultats dépassent légèrement le niveau de référence, il est recommandé de mettre en œuvre des solutions techniques pour réduire l'exposition au radon dans son habitation. De nouvelles mesures sont à réaliser à l'issue de la réalisation des travaux pour vérifier leur efficacité.
Si les résultats dépassent fortement le niveau de référence (> 1000 Bq/m³), il est fortement recommandé de mettre en œuvre des solutions techniques pour réduire l'exposition au radon dans son habitation. Les solutions sont à choisir et à adapter au bâtiment. Aussi, il est conseillé de faire appel à des professionnels du bâtiment qui pourront réaliser un diagnostic de la situation et aider à choisir les solutions les plus adaptées. Ces solutions peuvent être mises en œuvre progressivement en fonction des difficultés de réalisation ou de leur coût. À l'issue des travaux, il convient de réaliser de nouvelles mesures de radon pour vérifier leur efficacité.
Quel que soit le niveau de radon mesuré dans son logement, si des travaux de rénovation énergétique sont engagés (changement des fenêtres…), il convient de s'assurer du maintien d'un taux de renouvellement de l'air suffisant et d'aérer quotidiennement son logement par ouverture des fenêtres au moins dix minutes par jour. De nouvelles mesures de radon sont également conseillées pour connaître l'évolution de sa situation.

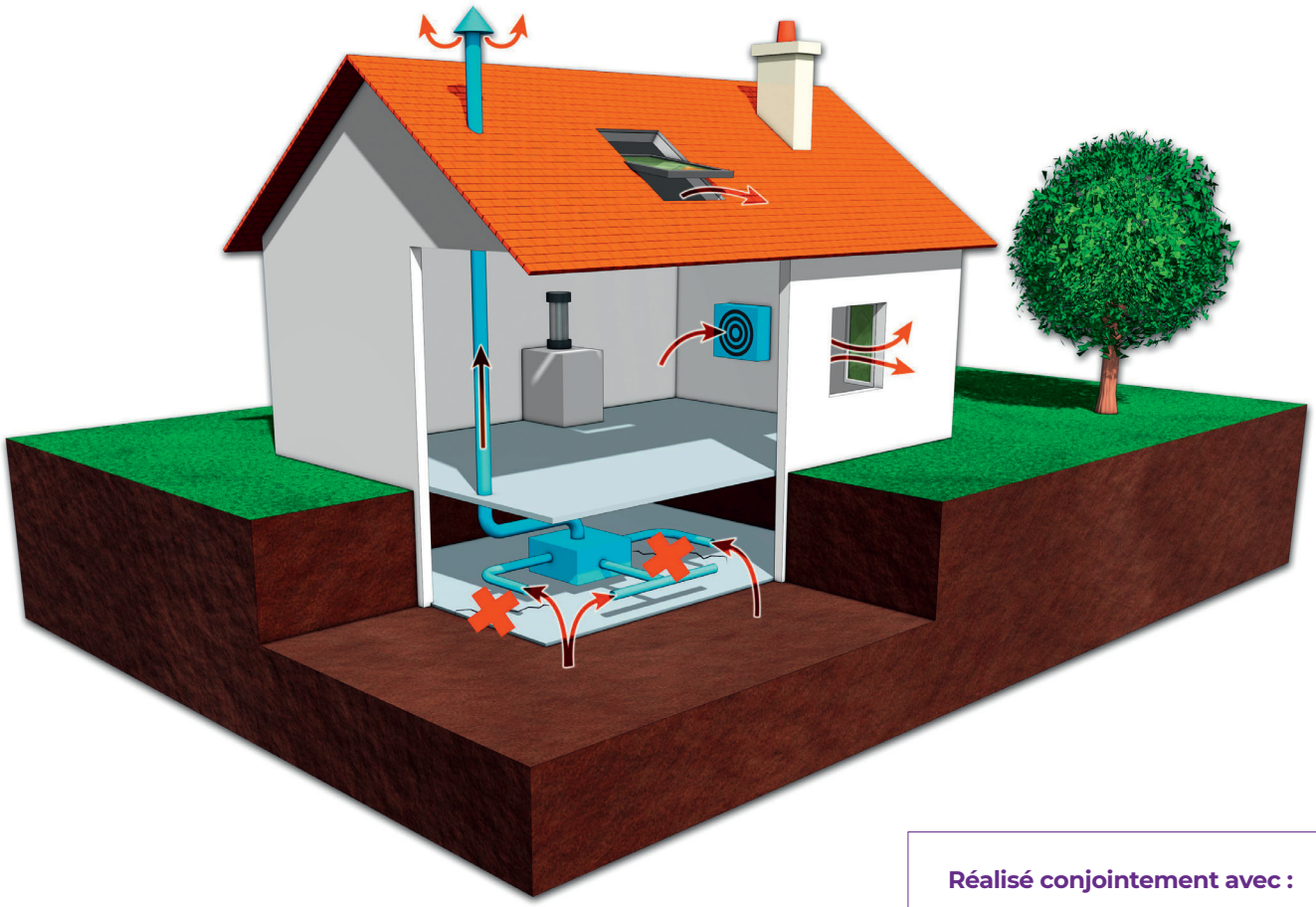
Pour en savoir plus – contacts utiles

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires : www.georisques.gouv.fr
Ministère de la santé et de la prévention : https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/radon
Au niveau régional :
ARS (santé, environnement) : www.ars.sante.fr
DREAL (logement) : https://www.ecologie.gouv.fr/services-deconcentres-des-ministeres
Informations sur le radon :
Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (risque, mesure) : www.irsn.fr/radon

AUTORITÉ
DE SÛRETÉ
NUCLÉAIRE

GUIDE

de recommandations pour la protection des bâtiments neufs et existants vis-à-vis du **RADON**



Réalisé conjointement avec :

CSTB
le futur en construction

GUIDE

de recommandations pour la protection des bâtiments neufs et existants vis-à-vis du **RADON**

Sommaire

Avant propos 5

1 Généralités 6

1.1 **Radon et risque sanitaire 6**

1.2 **Contexte réglementaire de la protection des bâtiments 7**

1.3 **Indépendance des entreprises réalisant des travaux dans les bâtiments 8**

1.4 **Entrée du radon venant du sol dans les bâtiments 8**

1.4.1 Sources de radon et facteurs de risque 8

1.4.2 Mécanismes d'entrée dans le bâtiment 9

1.5 **Principes de protection des bâtiments 10**

1.5.1 Étanchéité à l'air de l'interface 10

1.5.2 Ventilation du bâtiment 10

1.5.3 Traitement des soubassements 11

2 Actions correctives dans les bâtiments existants 12

2.1 **Aide au choix des actions correctives 12**

2.1.1 Résultat de l'état des lieux de la situation 12

2.1.2 Logigramme d'aide à la décision 13

2.1.3 Comparaison de l'efficacité des différents types d'actions correctives dans des bâtiments existants 15

2.2 **Les différents types d'actions correctives dans les bâtiments existants 18**

2.2.1 Étanchéité à l'air de l'interface sol-bâtiment 18

2.2.2 Ventilation du bâtiment 20

2.2.3 Traitement des soubassements 21

2.2.4 Points particuliers (maintenance, durabilité, rénovation thermique) 22

2.3 **Exemples d'actions correctives 22**

2.3.1 Exemple 1 : Centre aéré - Étanchéité et ventilation du bâtiment 22

2.3.2 Exemple 2 : Maison individuelle - Étanchéité et ventilation du bâtiment et du soubassement 23

2.3.3 Exemple 3 : École maternelle - Étanchéité et système de dépressurisation des sols 24

2.4 **Vérification de l'efficacité des actions correctives 27**

3 Actions préventives dans les constructions neuves 28

3.1 **Adaptations possibles du projet de construction 28**

3.2 **Ventilation de vide sanitaire ou de sous-sol 29**

3.3 **Système de dépressurisation du sol (SDS) 29**

3.4 **Étanchement des soubassements 30**

3.5 **Vérification de l'efficacité des actions préventives 31**

Liste des acronymes 32

Références 32

Liens utiles 33

Avant propos

La gestion du risque lié au radon constitue un enjeu sanitaire important au regard de son caractère cancérogène certain reconnu depuis 1987. L'information et la sensibilisation des différents publics sur le risque lié au radon et sur l'application de la réglementation constituent une action prioritaire de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). C'est pourquoi, face au constat du nombre encore réduit de professionnels du bâtiment sensibilisés au sujet (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, architectes, entreprises, distributeurs, etc.), l'ASN a souhaité mettre à disposition un document synthétique sur les moyens de protection des bâtiments neufs et existants vis-à-vis du radon. Ce guide s'adresse également aux particuliers qui souhaitent se renseigner sur les travaux à réaliser.

La partie technique de ce document a été élaborée par le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)[1] et a été approuvée par la Fédération française du bâtiment (FFB), la Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB), l'Agence qualité construction (AQC), le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA) et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). Son contenu peut être considéré comme une information de référence quant aux actions préventives ou correctives à appliquer pour préserver la qualité sanitaire des bâtiments.

En complément de ce guide, des informations plus détaillées peuvent être trouvées sur des sites Internet institutionnels ou dans des guides techniques, comme ceux du CSTB ou de l'association Qualitel, qui sont référencés en fin de document. Par ailleurs, des formations sont organisées, aux niveaux national et local, afin d'aider les professionnels à monter en compétence sur ce sujet.

1. Le CSTB exerce quatre activités clés : la recherche et expertise, l'évaluation, la certification et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétence couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

1. Généralités

1.1 Radon et risque sanitaire

Le radon est un gaz radioactif naturel, ayant pour origine l'uranium présent dans les sols dont la teneur est variable suivant le type de roches. Il est inodore, incolore et inerte chimiquement. Il peut diffuser dans l'air à partir des sols. Dans l'air extérieur, le radon se dilue rapidement et sa concentration moyenne reste généralement très faible. Dans les espaces clos comme les bâtiments, particulièrement dans les sous-sols et les rez-de-chaussée, il peut s'accumuler dans l'air intérieur pour atteindre des concentrations parfois très élevées. Cette accumulation résulte de paramètres environnementaux (concentration dans le sol, perméabilité et humidité du sol, présence de fissures ou de fractures dans la roche sous-jacente notamment), des caractéristiques du bâtiment (procédé de construction, type de soubassement, fissuration de la surface en contact avec le sol, système de ventilation, etc.) et du mode d'occupation (ouverture des fenêtres insuffisante, calfeutrage des ouvrants, etc.).

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé le radon comme cancérigène certain pour le poumon en 1987. A long terme, l'inhalation de radon conduit à augmenter le risque de développer un cancer du poumon. Cette augmentation est proportionnelle à l'exposition cumulée tout au long de la vie.

En France, le radon est la seconde cause de cancer du poumon (environ 3 000 morts par an), derrière le tabagisme. L'exposition à la fois au radon et au tabac augmente de façon majeure le risque de développer un cancer du poumon.

Afin de gérer le risque lié au radon et limiter l'exposition de la population, un niveau de référence[2] unique a été fixé à 300 Bq.m^{-3} en moyenne annuelle dans l'air intérieur pour toutes les situations d'exposition[3] : habitat, lieu de travail et établissements recevant du public (ERP). Il ne s'agit pas d'un « seuil », en dessous duquel il n'y aurait pas d'effet sanitaire[4], mais d'une concentration au-dessus de laquelle on considère que les personnes ne devraient pas être exposées, et qui permet d'identifier les situations sur lesquelles il est nécessaire d'intervenir afin de réduire l'exposition des personnes. Le dépassement du niveau de référence nécessite ainsi la mise en place d'actions pour réduire la concentration de radon. Cependant, même en dessous du niveau de référence, le principe d'optimisation[5] reste pertinent, dans le but de réduire le risque à un niveau aussi bas que raisonnablement possible.

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a établi une cartographie qui divise le territoire à l'échelle communale en trois zones à potentiel radon, définies en fonction de la capacité du sol à émettre du radon : zones à potentiel radon faible (zone 1), zones à potentiel radon faible mais sur lesquelles des facteurs géologiques particuliers peuvent faciliter le transfert du radon vers les bâtiments (zone 2), zones à potentiel radon significatif (zone 3) (figure 1). Les départements, régions et collectivités d'outre-mer (DROM-COM) sont inclus dans la cartographie.

Le classement communal en fonction du potentiel radon des zones est fixé réglementairement[6]. Une carte interactive permettant de connaitre le potentiel radon d'une commune est disponible sur le site Internet de l'ASN (*Où trouve-t-on du radon en France ?*). Ainsi, toute la population est exposée au radon même si cette exposition peut varier fortement d'une région à une autre et d'un bâtiment à un autre. Le zonage donne une indication sur la probabilité de mesurer une concentration élevée de radon à l'intérieur des bâtiments. La concentration moyenne en France est inférieure à 100 Bq.m^{-3}. En zone 3, la proportion des bâtiments présentant des concentrations en radon élevées est plus importante que sur le reste du territoire. Dans les régions les plus affectées, les concen-

2. Le niveau de référence est défini à l'article R. 1333-28 du code de la santé publique pour les immeubles bâtis et à l'article R. 4451-10 du code du travail pour les lieux de travail.

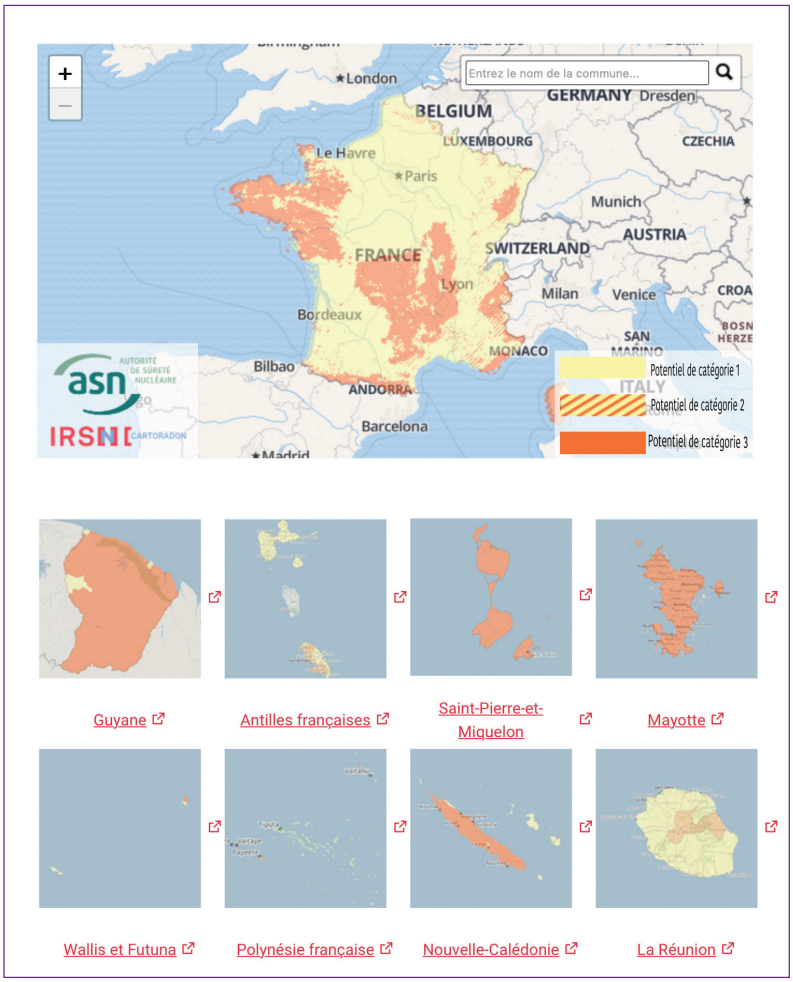
3. L'unité utilisée, le becquerel par mètre cube (Bq.m^{-3}), correspond à la concentration (activité volumique) du radon et exprime un nombre de désintégrations radioactives par seconde et par mètre cube. Par simplification, on considère que l'unité « Bq.m^{-3} » correspond à la « concentration de radon ». Dans la suite de ce document, les niveaux exprimés en Bq.m^{-3} seront appelés « concentration de radon ».

4. Des constatations épidémiologiques récentes provenant d'études résidentielles démontrent une augmentation statistiquement significative du risque de cancer du poumon résultant d'une exposition prolongée au radon à l'intérieur des bâtiments pour des concentrations de l'ordre de 100 Bq.m^{-3}.

5. Principe d'optimisation : le niveau des expositions des populations et des individus aux rayonnements ionisants doit être maintenu au plus bas niveau que l'on peut raisonnablement atteindre, compte tenu de l'état des connaissances scientifiques (par les études épidémiologiques et expérimentales en radiobiologie, etc.), de l'état des techniques, des facteurs économiques et sociaux et, le cas échéant, de l'objectif médical recherché.

6. Arrêté du 27 juin 2018 portant délimitation des zones à potentiel radon sur le territoire français

Figure 1 : cartographie des zones à risque radon en France métropolitaine



trations moyennes de radon peuvent dépasser les 1 000 Bq.m^{-3} dans certains bâtiments[7]. Des concentrations élevées peuvent également être mesurées dans les zones 1 et 2, bien qu'elles y soient moins probables.

1.2 Contexte réglementaire de la protection des bâtiments

La réglementation relative à la gestion du risque radon a été mise en place au début des années 2000 pour certains ERP et étendue en 2008 à certains lieux de travail. La réglementation a été renforcée avec la transposition de la directive 2013/59/Euratom en 2018. En fonction de l'usage des bâtiments, il existe des recommandations ou des exigences réglementaires définissant la nature des actions correctives à appliquer[8].

Dans les habitations *(articles R. 125-23 et -24 du code de l'environnement et arrêté du 20 février 2019)*

Information des acquéreurs et des locataires : les acquéreurs ou locataires de biens immobiliers situés en zone à potentiel radon 3 sont informés par le vendeur ou le bailleur de l'existence de ce risque, par l'intermédiaire de l'imprimé pour l'établissement de l'état des risques naturels et technologiques.

Mesurage du radon dans les domiciles : les pouvoirs publics recommandent aux particuliers, notamment à ceux qui résident dans la zone à potentiel radon 3, de procéder au mesurage du radon dans leur logement afin de connaître leur exposition (voir paragraphe 2.1.1.1). Le principe des actions à mener en fonction du résultat est décrit dans l'arrêté du 20 février 2019 relatif aux informations et aux recommandations sanitaires à diffuser à la population en vue de prévenir les effets d'une exposition au radon dans les immeubles bâtis.

7. Une concentration au-delà de 1 000 Bq.m^{-3} est communément admise comme élevée, car cette situation est souvent plus complexe et nécessite la réalisation d'une expertise du bâtiment pour identifier les travaux appropriés.

8. Les sites Internet Legifrance.fr, des ministères chargés de l'environnement, du travail et de la santé et de l'ASN peuvent être consultés pour obtenir le détail des textes réglementaires concernés.

Dans les lieux de travail *(articles R. 4451-1 et suivants du code du travail)*

Le code du travail donne obligation à l'employeur d'évaluer le risque radon dans le cadre de la démarche de prévention des risques professionnels. Dans son évaluation des risques, l'employeur prend notamment en considération le potentiel radon de sa commune, la qualité de la construction des lieux de travail des salariés, l'activité professionnelle exercée, ainsi que les résultats d'éventuelles mesures déjà réalisées notamment lorsque le lieu de travail est un ERP. Lorsque l'évaluation des risques met en évidence que la concentration du radon est susceptible d'atteindre ou de dépasser le niveau de référence de 300 Bq.m^{-3}, l'employeur procède à des mesurages pour le vérifier. Si le résultat dépasse le niveau de référence, il doit mener des actions de réduction de l'exposition. La Direction générale du travail (DGT) a publié un Guide pratique : prévention du risque radon disponible gratuitement sur son site Internet, qui détaille les modalités d'application de la réglementation.

Dans certains ERP *(articles R. 1333-28 à -36 du code de la santé publique et arrêté du 26 février 2019)*

Cette réglementation concerne cinq catégories d'ERP :

- les établissements d'enseignement, y compris les bâtiments d'internat,
- les établissements d'accueil collectif d'enfants de moins de 6 ans,
- certains établissements sanitaires, sociaux et médicaux-sociaux avec capacité d'hébergement,
- les établissements thermaux,
- les établissements pénitentiaires.

Pour ces établissements, elle spécifie une obligation de mesurage dans les communes situées en zone 3 et dans les communes des zones 1 et 2 dès lors qu'une mesure antérieure a mis en évidence une concentration annuelle moyenne en radon supérieure à 300 Bq.m^{-3}. Les mesurages sont réalisés par des organismes agréés par l'ASN de niveau 1 ou par l'IRSN. En cas de dépassement du niveau de référence de 300 Bq.m^{-3}, la nature des actions correctives à mettre en œuvre est définie dans l'arrêté du 26 février 2019 relatif aux modalités de gestion du radon dans certains établissements recevant du public et de diffusion de l'information auprès des personnes qui fréquentent ces établissements.

1.3 Indépendance des entreprises réalisant des travaux dans les bâtiments

Afin d'éviter les conflits d'intérêt, les entreprises construisant des bâtiments, réalisant des travaux de réduction du radon ou organisant ces opérations doivent être indépendantes des organismes réalisant les mesurages du radon ou l'expertise radon des bâtiments (diagnostic technique, mesurages complémentaires du radon, audits des systèmes de ventilation, tests et préconisation de travaux).

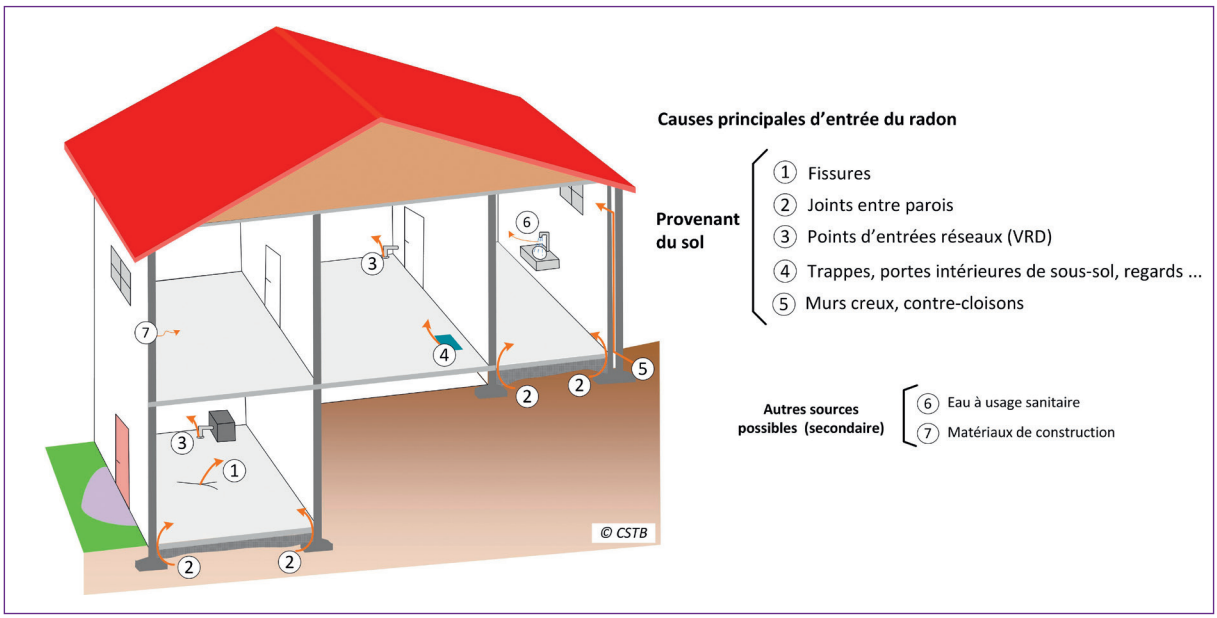
1.4 Entrée du radon venant du sol dans les bâtiments

1.4.1 Sources de radon et facteurs de risque

Le niveau de radon rencontré dans l'air intérieur de bâtiment résulte en premier lieu de nombreux paramètres liés au sol sur lequel est construit le bâtiment : concentration dans le sol, perméabilité et humidité du sol, présence de fissures ou de fractures dans la roche sous-jacente. Également, les caractéristiques propres du bâtiment influencent le transfert de radon vers les volumes occupés du bâtiment : configuration du bâtiment, procédé de construction, perméabilité à l'air de la surface en contact avec le sol et système de ventilation (figure 2).

Sa présence dans les locaux habités peut cependant avoir d'autres origines, comme par exemple les matériaux de construction ou l'eau utilisée dans le bâtiment. Néanmoins, le sol sous le bâtiment reste en général la cause principale de la présence de radon dans l'air intérieur des bâtiments, notamment lorsque l'on est en présence de niveaux de radon élevés (plusieurs centaines de Bq.m^{-3}). Le présent guide porte essentiellement sur la protection des bâtiments neufs et existants vis-à-vis du radon provenant du sol.

Figure 2 : Voies d'entrée du radon dans un bâtiment



1.4.2 Mécanismes d'entrée dans le bâtiment

Il existe deux phénomènes physiques expliquant l'entrée du radon dans un bâtiment : la convection et la diffusion.

Transport convectif

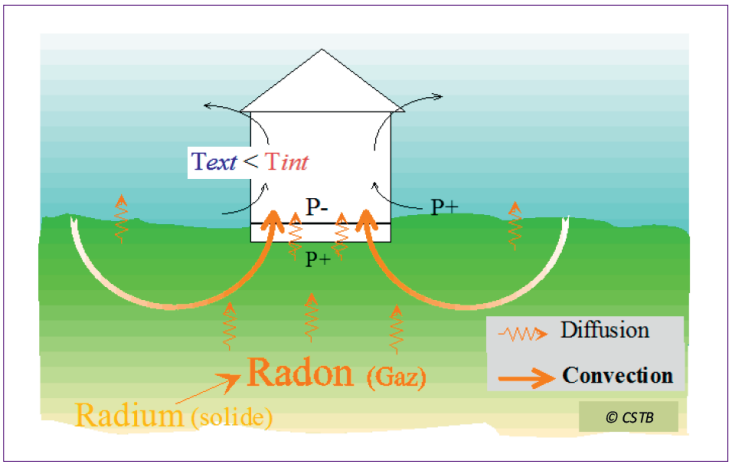
En période de chauffage, l'air intérieur du bâtiment est plus chaud que l'air extérieur. Cela entraîne un mouvement d'air dans le bâtiment appelé « tirage thermique ». Ce tirage thermique engendre une légère dépression au niveau du plancher bas du bâtiment vis-à-vis de son environnement extérieur et notamment du sol sous le bâtiment. Le moteur de la convection est donc la différence de pression qui existe entre l'air contenu dans la porosité du sol et l'intérieur du bâtiment, entrainant un mouvement d'air depuis le sol vers le bâtiment. La présence de vent peut également influer sur les niveaux de dépression entre le bâtiment et son environnement.

Les causes de la mise en dépression du bâtiment peuvent être multiples :

- la ventilation naturelle (tirage thermique et vent), notamment due aux défauts d'étanchéité de l'enveloppe, est toujours présente dans un bâtiment,
- le système de ventilation, selon son type, son dimensionnement, son utilisation et son entretien, peut avoir une influence sur la dépression du bâtiment, ainsi que l'utilisation de systèmes d'extraction spécifiques (hotte de cuisine, etc.),
- le fonctionnement ou la présence des appareils à combustion raccordés non étanches (chaudière, cheminée à foyer ouvert, etc.) contribue à accentuer le tirage thermique et donc la dépression du bâtiment.

Le radon, présent dans l'air contenu dans la porosité et les cavités du sol, est alors aspiré dans le bâtiment à travers les défauts d'étanchéité, et y séjournera en fonction du niveau de renouvellement d'air de ce dernier (figure 3).

Figure 3 : Mécanismes d'entrée du radon venant du sol dans un bâtiment
> Convection, liée à la dépression du bâtiment
> Diffusion, liée à la différence de concentration entre le sol et le bâtiment



Le transport convectif est souvent la cause principale de présence de radon dans un bâtiment.

Transport diffusif

Lorsque deux volumes d'air ayant des concentrations en gaz différentes sont mis en communication, ces gaz vont se déplacer de manière à tendre vers une concentration homogène dans les deux volumes d'air. Ce phénomène est la diffusion moléculaire. Les concentrations en radon que l'on mesure dans le sol peuvent être très élevées. Le gaz va ainsi diffuser depuis le sol vers l'air atmosphérique ou vers l'air intérieur d'un bâtiment.

Ce mode de transport est en général secondaire par rapport au transport convectif mais n'est pas pour autant négligeable. C'est notamment un mécanisme important dans le cas où l'interface sol/bâtiment est très ouverte (par exemple pour un sol de cave en terre battue), mais la diffusion se produit également à travers tout type de matériau (par exemple le béton) dont la résistance à ce phénomène est plus ou moins forte selon sa nature. Cela explique le fait que, même en l'absence de différence de pression entre le volume d'air intérieur et le sol, le radon venant du sol continue à entrer dans le bâtiment.

1.5 Principes de protection des bâtiments

Il existe plusieurs moyens pour protéger un bâtiment. De façon générique, les solutions à mettre en œuvre font appel aux deux principes suivants :

- limiter l'entrée du radon venant du sol,
- diluer la concentration de radon dans le bâtiment.

Les types de solution peuvent se regrouper en catégories de techniques (figure 4) :

- étanchéité de l'interface entre le sol et le bâtiment,
- ventilation du bâtiment,
- traitement des soubassements par ventilation ou système de dépressurisation des sols (SDS).

Plusieurs solutions sont souvent combinées. Il est parfois nécessaire de procéder de façon itérative.

1.5.1 Étanchéité à l'air de l'interface

L'objectif est d'assurer la meilleure étanchéité possible entre le bâtiment et le terrain sous-jacent ainsi qu'entre le sous-sol et le volume occupé, le cas échéant, vis-à-vis des voies d'entrée préférentielles de radon venant du sol. Ces travaux peuvent correspondre à des actions ciblées (colmatage du passage de réseaux, de fissures, de joints périphériques, de portes intérieures, de trappes, de regards, etc.) ou à des traitements de surface de planchers et de murs enterrés.

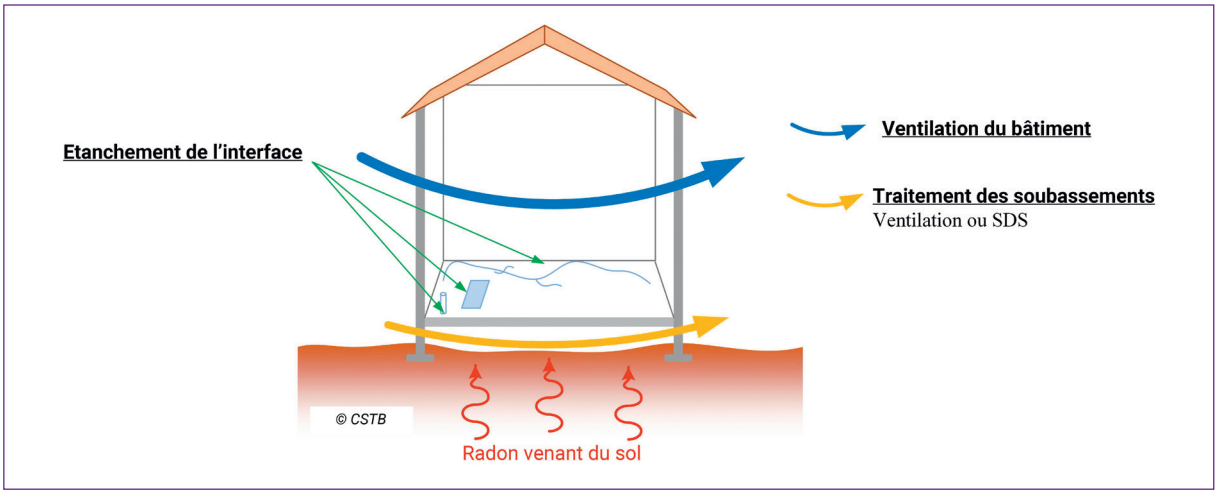
Les actions traitant de l'amélioration de l'étanchéité à l'air de l'interface du bâtiment peuvent s'avérer insuffisantes pour réduire efficacement la concentration de radon dans le bâtiment. C'est cependant un préalable essentiel à toutes les autres actions associées.

1.5.2 Ventilation du bâtiment

La ventilation du bâtiment permet de diluer la concentration de radon grâce au renouvellement de l'air intérieur. De façon plus générale, la ventilation contribue à améliorer la qualité de l'air intérieur du bâtiment.

Concernant l'influence du système de ventilation sur les niveaux de pression dans le bâtiment, selon la nature de ce système, ce dernier aura également une incidence favorable ou défavorable sur l'entrée de radon venant du sol. En effet, un bâtiment en période de chauffage

Figure 4 : principes de protection des bâtiments



est en légère dépression vis-à-vis de son environnement du fait du tirage thermique. Cette dépression favorise l'entrée de radon venant du sol, via les défauts d'étanchéité du soubassement. En association à ce phénomène, le type de système de ventilation, selon son équilibrage et son dimensionnement influence également les niveaux de pression du bâtiment. Un système de ventilation mécanique contrôlé (VMC) par extraction a tendance à accentuer la dépression du bâtiment alors qu'un système de VMC par insufflation a tendance à la minimiser. Toutefois, l'insufflation présente le risque de produire de la condensation et d'entrainer le développement de moisissures. Un système VMC double flux équilibré (débit de soufflage identique au débit d'extraction) n'a globalement pas d'incidence sur les pressions intérieures liées au tirage thermique. Enfin, l'incidence du système de ventilation sur les niveaux de pression intérieure varie en fonction des caractéristiques du bâtiment (hauteur de tirage thermique, perméabilité à l'air de l'enveloppe) et du dimensionnement du système. Ainsi, le type de ventilation le plus approprié est à choisir au cas par cas.

1.5.3 **Traitement des soubassements**

Selon la nature du soubassement (vide sanitaire, cave ou sous-sol, terre-plein), un traitement par ventilation naturelle ou mécanique de ce dernier permet de réduire l'entrée de radon venant du sol vers les volumes occupés.

Un système de dépressurisation des sols permet de bloquer les flux convectifs de radon venant du sol en inversant la dépression initiale.

Dilution par ventilation du soubassement (cave, sous-sol ou vide sanitaire)

Il est possible de traiter ces soubassements par ventilation naturelle ou mécanique afin de diminuer la concentration de radon dans ces volumes. Cela réduira d'autant la concentration dans les flux d'air allant vers les volumes occupés. Il est alors important d'éviter des « zones mortes » (peu ventilées) dans le volume en assurant un bon « balayage » par la ventilation (mettre les ouvertures en opposition de façade autant que possible, avec des sections d'orifices adaptées).

Système de dépressurisation du sol sous le bâtiment

Pour le cas d'un dallage sur terre-plein ou d'un vide sanitaire, on peut envisager la mise en œuvre d'un SDS consistant à extraire l'air sous le dallage, dans le volume du vide sanitaire, ou sous membrane. Cet air est directement rejeté vers l'environnement extérieur pour éviter qu'il ne transite par l'intérieur du bâtiment. Le but est alors de créer une légère dépression du soubassement vis-à-vis du bâtiment afin de limiter toute remontée de radon venant du sol vers le bâtiment.

2. Actions correctives dans les bâtiments existants

2.1 Aide au choix des actions correctives

Pour choisir les actions correctives appropriées à une construction donnée, le professionnel du bâtiment doit se fonder sur l'état des lieux de la situation, qui comporte habituellement le résultat du mesurage de la concentration de radon à l'intérieur du bâtiment et, dans les cas où la concentration s'est avérée élevée, les résultats d'une expertise du bâtiment (voir paragraphe 2.1.1). Les professionnels qui ont réalisé le mesurage et l'expertise du bâtiment doivent être indépendants des entreprises de construction et des entreprises qui réalisent les travaux de réduction du radon ou organisent ces opérations (voir paragraphe 1.3)

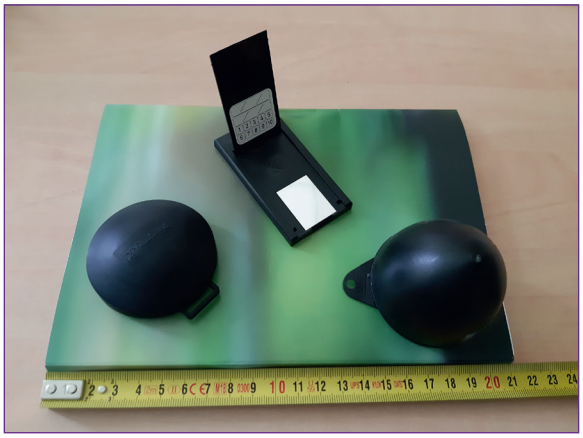
2.1.1 Résultat de l'état des lieux de la situation

2.1.1.1 Résultat du mesurage dans les bâtiments existants

Le résultat du mesurage du radon dans le bâtiment est à comparer au niveau de référence de 300 Bq.m^{-3}. Le mesurage doit avoir respecté une méthodologie pour être représentatif de la concentration moyenne annuelle : il faut qu'il ait été réalisé avec un dispositif passif de mesure intégrée[9], appelé détecteur (figure 5) et que celui-ci soit resté en place pendant au moins deux mois. En effet, la concentration du radon dans l'air intérieur d'un bâtiment fluctue beaucoup au cours de la journée et de l'année. Le respect de cette méthodologie peut utilement être vérifié. Dans les habitations, le mesurage peut être réalisé par l'occupant, en suivant les recommandations de la fiche d'information du ministère chargé de l'environnement[10]. Pour les lieux de travail, il convient de se reporter au Guide pratique : Prévention du risque radon. Dans les ERP soumis à la surveillance du radon, les mesurages sont réalisés par des organismes agréés.

Le même protocole est à suivre pour la vérification de l'efficacité des actions correctives et préventives (voir paragraphes 2.4 et 3.5).

Figure 5 : Exemples de détecteurs pour la mesure intégrée du radon dans les bâtiments



2.1.1.2 Rapport d'expertise du bâtiment

Quand le résultat du mesurage met en évidence une concentration élevée de radon, par exemple au-delà du niveau de 1 000 Bq.m^{-3} et lorsque des actions correctives n'ont pas permis d'abaisser la concentration en dessous de 300 Bq.m^{-3}, une expertise du bâtiment est recommandée. Cette expertise est une exigence réglementaire dans le cas d'un ERP. Dans le rapport d'expertise, le professionnel du bâtiment va identifier l'origine et les causes de la présence de radon ainsi que les travaux adaptés au cas particulier de chaque bâtiment, en fonction de l'ensemble de ses caractéristiques, de son usage et de son environnement. L'expertise tient compte de l'incidence globale des travaux sur le bâtiment. Elle va ainsi permettre d'éviter les travaux qui pourraient être inappropriés.

L'intervention d'un professionnel compétent est recommandée pour la réalisation de cette expertise[11].

9. Un dispositif passif fait appel à un mode de détection naturel pour l'évaluation de la concentration de radon, ne nécessitant pas de système actif de pompage.

10. Le dossier pédagogique du site de l'ASN comporte des liens vers les sites commerciaux des fournisseurs de détecteurs. Les détecteurs sont accompagnés d'un mode d'emploi.

11. Pour les lieux de travail, le guide pratique Prévention du risque radon de la DGT précise les qualités des professionnels compétents. Le code de la santé publique impose que, dans les ERP, les mesurages supplémentaires soient réalisés par l'IRSN ou un organisme agréé par l'ASN de niveau 2. La liste des organismes agréés par l'ASN pour les mesurages du radon est publiée sur le site de l'ASN.

L'expertise du bâtiment comprend :

a) Le diagnostic du bâtiment[12], *a minima*, qui comporte :

- des informations générales sur le bâtiment et son environnement : année de construction, type de bâtiment et constitution, surface au sol, nombre de niveaux, réhabilitations éventuelles, type d'ouvrants extérieurs, etc. ;
- une description du soubassement : type et constitution du soubassement, surface au sol et état d'étanchement de chaque type de soubassement (dallage sur terre-plein, vide sanitaire, cave), identification des voies potentielles d'entrée du radon par l'interface sol-bâtiment (porte de cave, trappes, passage des réseaux, etc.) ;
- une description du système de ventilation lorsqu'il existe et une évaluation qualitative du niveau d'aération des espaces de vie du bâtiment ;
- une description des systèmes du bâtiment (chauffage, chauffe-eau, climatisation, etc.)

b) Investigations complémentaires éventuelles

En fonction du type de bâtiment rencontré et, notamment, pour des grands bâtiments avec des systèmes complexes, des investigations complémentaires ont pu être menées, dont notamment :

- des mesurages supplémentaires pour mieux identifier les sources ainsi que les voies d'entrée et de transfert du radon dans le bâtiment, lorsque ces caractéristiques ne sont pas identifiables de manière simple, sans mesurage ;
- un audit plus précis du système de ventilation (mesures de débits ou de dépression, vérification du bon fonctionnement des différents composants du système, etc.) ;
- des tests de faisabilité et d'efficacité de solutions spécifiques comme les SDS.

c) Préconisation des travaux

L'analyse de l'ensemble de ces informations (diagnostic et éventuellement investigations complémentaires) a permis d'évaluer l'incidence des différentes caractéristiques du bâtiment et de son environnement sur la concentration de radon dans l'environnement intérieur. La conclusion du rapport présente les solutions de réduction de la concentration de radon préconisées et hiérarchisées, en tenant compte du bilan coût/avantage des solutions possibles et de leurs éventuelles autres conséquences (incidence sur l'efficacité énergétique et la qualité de l'air intérieur).

2.1.2 Logigramme d'aide à la décision

La mise en place d'actions correctives efficaces dans un bâtiment donné consiste en général en une adaptation et une combinaison judicieuse des trois types de solutions génériques mentionnées précédemment : étanchéité à l'air du soubassement et des réseaux, ventilation du bâtiment et traitement du soubassement par ventilation ou mise en dépression. Cela peut s'avérer très simple ou plus difficile selon le cas considéré. Ainsi, en partant d'un objectif de réduction de la concentration de radon (C_{Rn}) en dessous du niveau de référence de 300 Bq.m^{-3}, on peut déduire du logigramme ci-après les principaux travaux recommandés (figure 6).

Des actions correctives simples peuvent suffire, notamment lorsque la concentration en radon est située entre 300 et 1 000 Bq.m^{-3}. Elles peuvent cependant, suivant les cas, ne pas garder toute leur efficacité au cours du temps. Pour les concentrations plus élevées et lorsque des actions correctives n'ont pas permis d'abaisser la concentration en dessous de 300 Bq.m^{-3} (exigence réglementaire pour les ERP), il est recommandé de faire réaliser une expertise du bâtiment.

Pour les habitations, les recommandations sur les actions correctives sont présentées dans l'arrêté du 20 février 2019. Pour les lieux de travail, il convient de se référer au Guide pratique : prévention du risque radon de la DGT. Pour les ERP, l'arrêté du 26 février 2019 décrit la conduite à tenir.

Les couleurs verte et orange correspondent respectivement à des actions relatives à la mesure de radon et au bâtiment.

12. La méthodologie du diagnostic technique est détaillée dans la norme NF X 46-040 « Traitement du radon dans les immeubles bâtis - Référentiel de diagnostic technique relatif à la présence de radon dans les immeubles bâtis - Mission et méthodologie ». Les guides techniques relatifs à la ventilation des bâtiments et les liens référencés en fin de document (Cerema, Jurad-Bat) constituent des outils techniques complémentaires. Dans les lieux de travail, il est nécessaire d'adapter cette méthodologie aux particularités de l'activité et aux conditions de travail.

Figure 6 : Logigramme d'aide au choix des actions correctives

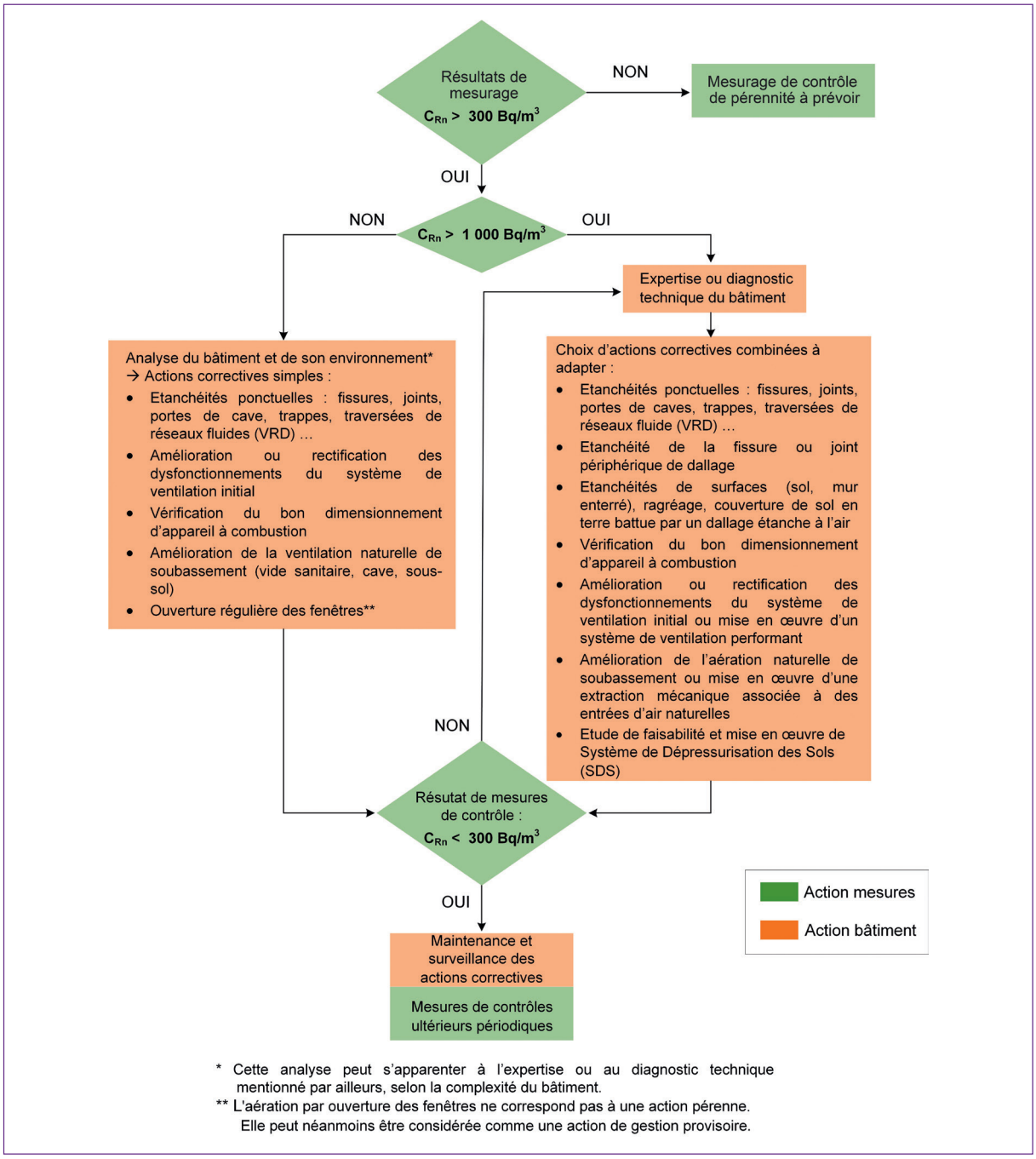
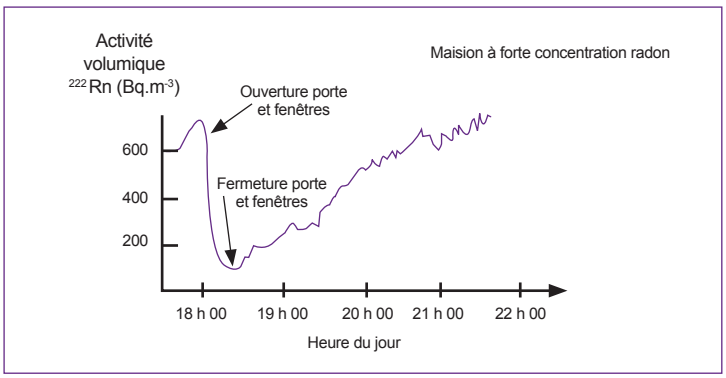


Figure 7 : Exemple d'évolution de la concentration (activité volumique) du radon dans une maison : mise en évidence de l'effet de l'aération.



Actions correctives simples à appliquer quand la concentration en radon est située entre 300 et 1 000 Bq.m^{-3}

Dans ce cas, des actions correctives simples suffisent habituellement à descendre en dessous du niveau de référence de 300 Bq.m^{-3}. Une inspection visuelle du bâtiment permet de déterminer les actions appropriées parmi les actions suivantes, à appliquer de façon combinée :

- aérer le bâtiment en ouvrant régulièrement les fenêtres et les portes, notamment en l'absence d'autre système de ventilation. L'efficacité de cette action est transitoire : la concentration de radon diminue immédiatement de façon significative, mais elle remonte assez rapidement après la fermeture des ouvrants (figure 7) ;
- vérifier l'état de la ventilation et corriger les éventuels dysfonctionnements, comme l'obturation des entrées ou des sorties d'air, l'encrassement, la défaillance ou l'arrêt volontaire de ventilateurs. De plus, il est utile de mettre en place un contrat de maintenance périodique du système de ventilation ;
- réaliser des étanchements de l'enveloppe du bâtiment en contact avec le terrain ainsi que des voies de transfert entre les sous-sols et les parties occupées du bâtiment. Il s'agit notamment d'obturer de façon étanche à l'air les défauts d'étanchéité de la dalle qui forme l'interface entre le sol et bâtiment : fissures, fissures de retrait des dallages de béton sur terre-plein (entre la dalle et le mur), passages de canalisations ou de gaines techniques. Des joints peuvent être posés sur les portes qui assurent la communication entre le volume habité et le sous-sol ou la cave. (figure 8 et paragraphe 2.2.1) ;
- améliorer ou rétablir l'aération naturelle du soubassement lorsqu'il existe, par ouverture des aérations du vide sanitaire ou de cave obturées. Afin d'optimiser l'efficacité, il convient de disposer les ouvertures uniformément et en opposition pour éviter les zones mortes (voir paragraphe 2.2.4.1).

Ces actions correctives peuvent perdre de leur efficacité au cours du temps. C'est pourquoi une vérification périodique de leur bon état est nécessaire, ainsi que d'assurer et vérifier la cohérence avec les réglementations d'hygiène en matière de ventilation et de qualité d'air selon l'usage du bâtiment (logement, bureaux, ERP, etc.).

2.1.3 Comparaison de l'efficacité des différents types d'actions correctives dans des bâtiments existants

A ce jour, il existe assez peu de retour d'information sur l'efficacité des actions correctives dans leur ensemble vis-à-vis de la diminution des concentrations en radon dans l'air intérieur en France. C'est pourquoi le CSTB a collecté des informations relatives à l'efficacité d'actions correctives mises en œuvre dans des bâtiments existants et à leur coût. L'analyse a porté sur 83 sites : 72 ERP, majoritairement des écoles, et 11 maisons individuelles.

Dans 40% (33) des cas, le résultat de mesurage initial était inférieur à 1 000 Bq.m^{-3} et dans 60% (50) des cas, il était supérieur à 1 000 Bq.m^{-3}. Cet échantillon n'est pas représentatif du parc de bâtiments pouvant être concerné par des dépassements du niveau de référence de 300 Bq.m^{-3} car la proportion de cas avec des concentrations initiales élevées était importante. Néanmoins, il permet d'illustrer la capacité de réduction de la concentration de radon dans l'air intérieur de plusieurs types de travaux, parfois combinés.

La figure 9 montre l'efficacité obtenue pour ces 83 cas, regroupés par « famille d'actions correctives » correspondant à un type d'action corrective ou à l'association de plusieurs actions correctives, ainsi que l'efficacité moyenne par « famille d'actions correctives » (voir également tableau 2).

Figure 8 : Transfert du radon à travers un dallage

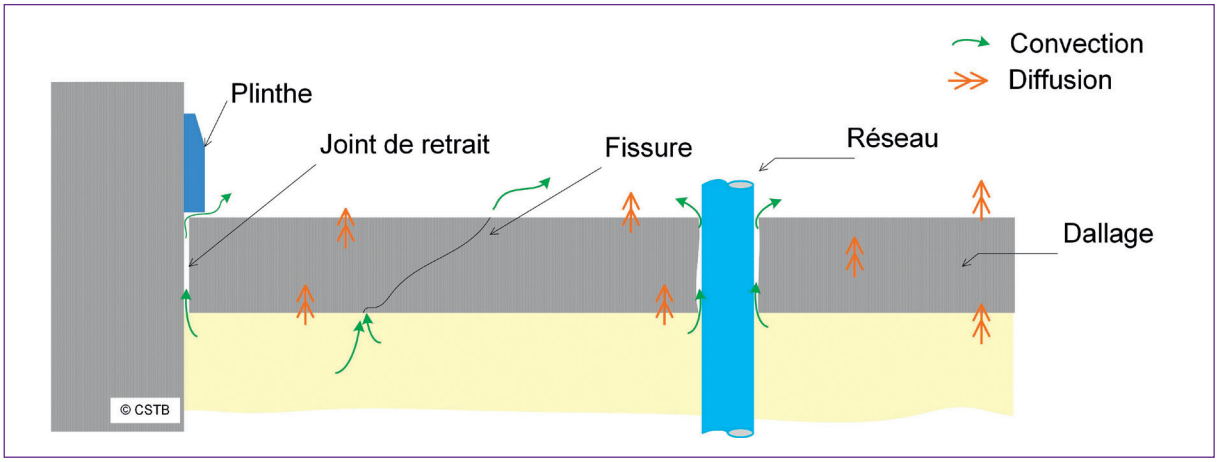
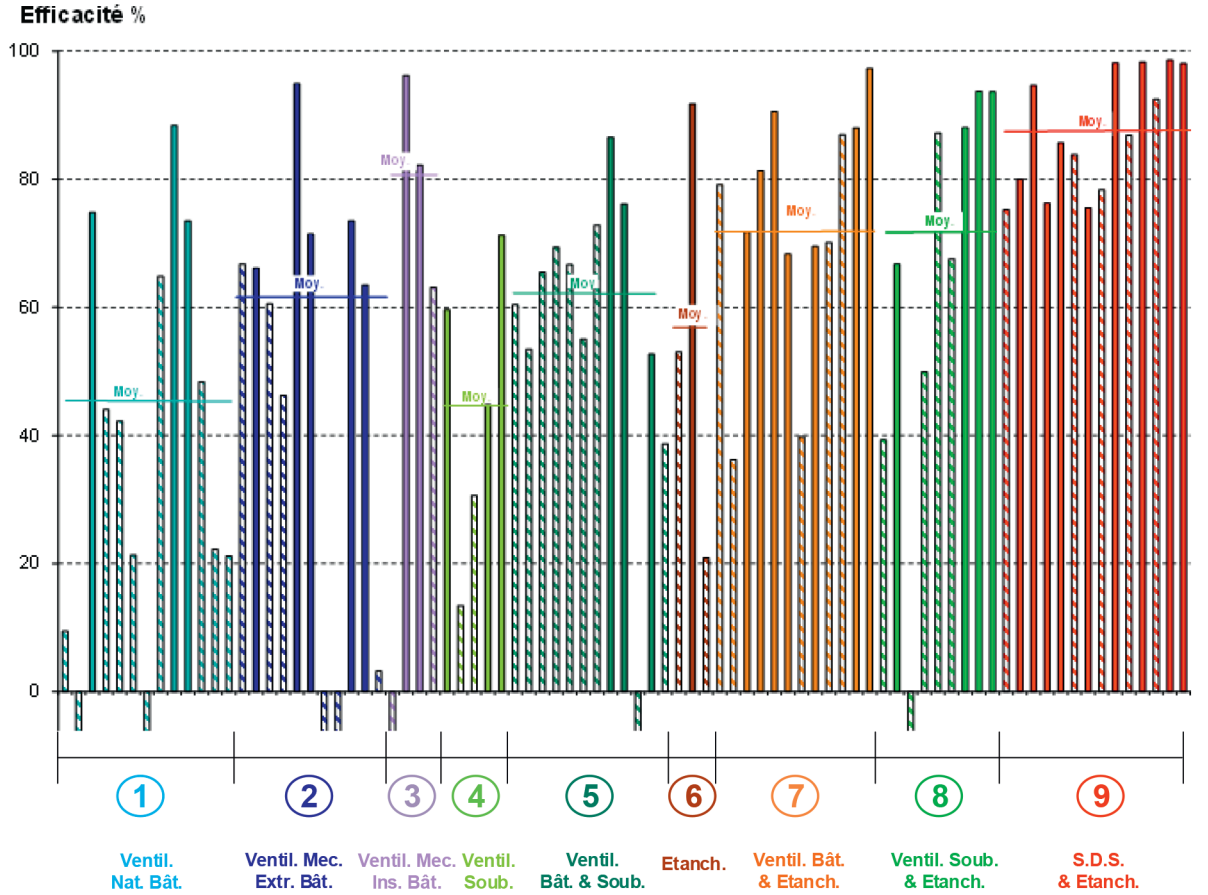


Figure 9 : Efficacité des actions correctives mises en œuvre
Efficacité = $(1 - [C_{finale} / C_{initiale}]) \times 100$



1 : Aération naturelle du bâtiment
2 : Ventilation mécanique par extraction du bâtiment
3 : Ventilation mécanique par insufflation du bâtiment
4 : Ventilation naturelle ou mécanique du soubassement
5 : Ventilation naturelle du bâtiment et du soubassement
6 : Étanchéité de l'interface
7 : Étanchéité de l'interface et ventilation du bâtiment
8 : Étanchéité de l'interface et ventilation du soubassement
9 : Étanchéité du soubassement et SDS

Tableau 2 : efficacité des types de travaux

Famille	Type de travaux	Efficacité moyenne	Écart relatif d'efficacité	Nombre de cas	Contreperformances (exclues du calcul d'efficacité)
1	Aération naturelle du bâtiment	46	1,7	11	2
2	Ventilation mécanique par extraction du bâtiment	61	1,5	9	2
3	Ventilation mécanique par insufflation du bâtiment	81	0,4	3	1
4	Ventilation naturelle ou mécanique du soubassement	44	1,3	5	-
5	Ventilation naturelle du bâtiment et du soubassement	63	0,9	11	1
6	Étanchéité de l'interface	55	1,3	3	-
7	Étanchéité de l'interface et ventilation du bâtiment	73	0,8	12	-
8	Étanchéité de l'interface et ventilation du soubassement	73	0,7	8	1
9	Étanchéité du soubassement et SDS	87	0,2	14	-

Les résultats hachurés correspondent aux cas où l'action corrective n'a pas permis d'abaisser la concentration en dessous de 300 Bq.m^{-3}. L'efficacité négative correspond à des contreperformances (concentration après action corrective supérieure à la concentration initiale). Ainsi, l'efficacité moyenne sur l'ensemble des 83 cas est de 65 %.

Le tableau 2 montre l'efficacité moyenne par famille et le nombre de cas considérés pour le calcul de cette efficacité. L'écart relatif d'efficacité correspond à la différence entre l'efficacité maximum et l'efficacité minimum, rapporté à l'efficacité moyenne et permet d'illustrer la variabilité d'efficacité pour une famille d'actions correctives donnée (plus l'écart relatif est élevé, plus la variabilité d'efficacité est importante).

Les différentes actions correctives présentent une efficacité globale variable, selon qu'elles sont utilisées seules ou en association.

Les tendances suivantes se dégagent :

- L'association de différentes techniques donne en général de meilleurs résultats et avec une plus faible variabilité de l'efficacité, qu'une technique seule.
- Les travaux d'étanchéité à l'air de l'interface du bâtiment avec le sol sont un préalable nécessaire à toute solution. En effet, les solutions mises en œuvre associées à des travaux d'étanchéité présentent en moyenne une meilleure efficacité que ces mêmes solutions non associées à des travaux d'étanchéité. De plus, la variabilité de l'efficacité des solutions associant des travaux d'étanchéité est plus faible qu'en l'absence des travaux d'étanchéité.
- Les techniques traitant le soubassement sont en général efficaces. La mise en dépression du soubassement donne de très bons résultats. La ventilation du soubassement donne également de bons résultats, avec une meilleure efficacité si elle est associée à une amélioration de la ventilation du bâtiment.
- L'amélioration de la ventilation seule par aération naturelle ou par ventilation mécanique par extraction donne des résultats aléatoires et souvent insuffisants, notamment lorsque les concentrations initiales sont élevées.
- L'amélioration de la ventilation du bâtiment par insufflation mécanique donne de bons résultats. Cette solution de ventilation du bâtiment constitue un cas particulier car on associe à la dilution par ventilation une diminution de l'entrée du radon par minimisation de la dépression du bâtiment. Par contre, elle présente le risque de formation de condensation et de développement de moisissures.
- Sur l'ensemble des cas, 45% ont mis en œuvre des solutions qui n'ont pas permis d'obtenir une concentration inférieure au niveau de référence de 300 Bq.m^{-3}, avec notamment 6 cas (soit 7%) correspondant à des contreperformances. Ces constats peuvent s'expliquer par le manque de connaissance actuellement souvent constaté sur le terrain quant à la conception, au dimensionnement et à la mise en œuvre des solutions de protection, qu'il est nécessaire d'adapter à chaque cas considéré. De plus, 60% des cas de cet échantillon correspondaient à des bâtiments présentant un résultat de mesurage initial supérieur à 1 000 Bq.m^{-3} et donc *a priori* plus difficiles à traiter.
- Enfin, même si les valeurs d'efficacité des actions correctives mesurées dans cette étude n'ont pas de représentation statistique, elles illustrent cependant les tendances d'efficacité que l'on peut attendre des différentes techniques et sont cohérentes avec l'efficacité des différentes techniques annoncée dans d'autres pays[13].

13. On peut notamment se référer aux 2 articles suivants :

- Selim M. Khan et al, Radon interventions around the globe: A systematic review. Heliyon. Volume 5, Issue 5 May 2019. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01737
- Science Applications International Corporation. Engineering issue: Indoor Air Vapor Intrusion Mitigation Approaches. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-08/115, 2008

2.2 Les différents types d'actions correctives dans les bâtiments existants

La mise en place d'actions correctives efficaces dans un bâtiment donné vise à éviter le transfert de radon venant du sol vers le bâtiment et/ou à diluer sa concentration dans les volumes occupés. Ces actions consistent en général en une adaptation et une combinaison appropriée des trois types de solutions génériques présentées au paragraphe 1.5.

Dans la pratique, le choix des actions correctives adaptées à un bâtiment considéré se fera en fonction du taux d'abattement attendu au regard des concentrations initiales mesurées dans le bâtiment, du type de bâtiment, de ses systèmes (ventilation, climatisation et chauffage) et de son environnement. En effet, les situations rencontrées sont très variables et on peut considérer que l'on est à chaque fois devant un cas particulier avec des solutions plus ou moins intrusives et importantes. Cela peut s'avérer simple ou plus difficile selon le cas considéré.

Aussi, il est rappelé qu'il est habituellement déterminant de réaliser au préalable une expertise du bâtiment, si la concentration de radon dépasse 1 000 Bq.m^{-3} (voir paragraphe 2.1.3). Le paragraphe 2.3 illustre les différents types de solutions pouvant être mis en œuvre au travers de quelques exemples de cas réels.

2.2.1 Étanchéité à l'air de l'interface sol-bâtiment

On appelle interface sol-bâtiment toute surface de contact entre le sol et le bâtiment, en associant ses voieries et réseaux divers (VRD). Les caves et sous-sols non habités constituent un cas particulier d'interface où l'étanchéité à l'air doit être réalisée au niveau de l'interface proprement dite mais aussi entre le volume de la cave et le volume habité du bâtiment.

Une grande partie du transfert de radon du sol vers le volume habité du bâtiment se produit à travers les différents défauts d'étanchéité (figure 10).

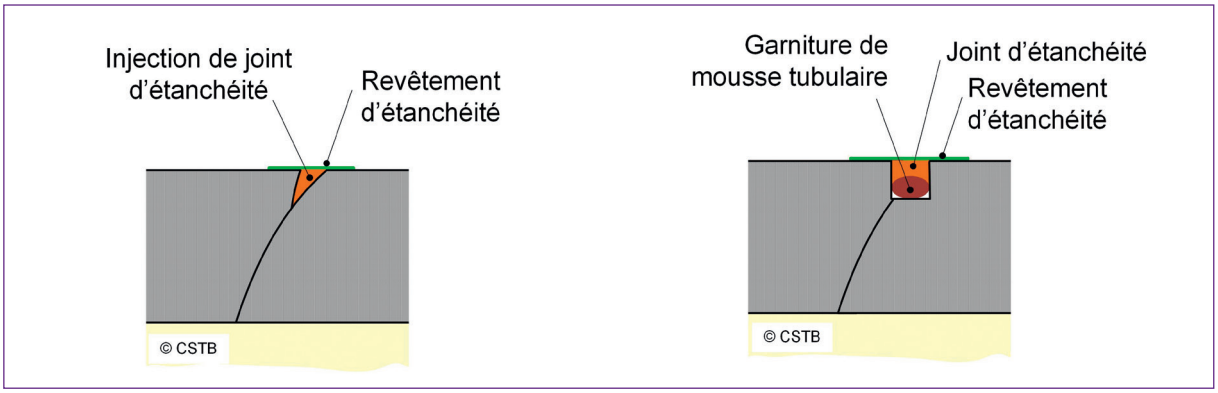
L'identification et l'obturation parfaite des différents défauts d'étanchéité sont parfois délicates. Ainsi, d'une manière globale, l'entrée de radon sera diminuée mais pas arrêtée. De plus, même si ces traitements s'avèrent efficaces immédiatement après leur mise en œuvre, leur efficacité décroît généralement dans le temps, en raison notamment de la dégradation des propriétés des produits utilisés et de mouvements du bâtiment créant de nouveaux défauts d'étanchéité.

Cette étape peut néanmoins s'avérer suffisante dans certains cas et constitue dans tous les cas un préalable essentiel à toute autre action car elle améliorera la performance finale de l'ensemble des actions correctives réalisées. Elle consiste à étancher les voies de communication (VRD, portes, trappes, etc.) à l'interface entre le sol et le bâtiment ainsi qu'entre les zones de vie occupées (chambre, salon, bureau, salle de classe, etc.) et les pièces peu occupées (garage, buanderie, véranda, cave, archives, chaufferie, etc.) mais dont le contact avec le sol favorise l'entrée de radon du sol jusque dans le volume occupé. On peut également envisager des étanchéités de surface selon les possibilités d'intervention (membranes en sous face de plancher, produits d'étanchéité).

Les VRD peuvent parfois, selon leur configuration, constituer des cheminements préférentiels du radon, au niveau de leur arrivée dans le bâtiment, à leur périphérie et à l'intérieur du bâtiment (évacuation d'eaux usées sans siphon ou avec avaloir ou siphon sec, gaine électrique, etc.). Il peut alors s'avérer nécessaire de les traiter. Il est également important de penser à maintenir en eau tous les siphons d'évacuation d'eau usée. Dans le cas d'avaloir (par exemple en cave ou en sanitaire) ne comportant pas de siphon, il peut être recommandé d'en installer un, d'installer un système de clapet anti retour ou de condamner l'avaloir.

Plusieurs exemples de traitement de défauts d'étanchéité sont présentés ci-dessous.

Figure 10 : Exemples de traitement de fissures



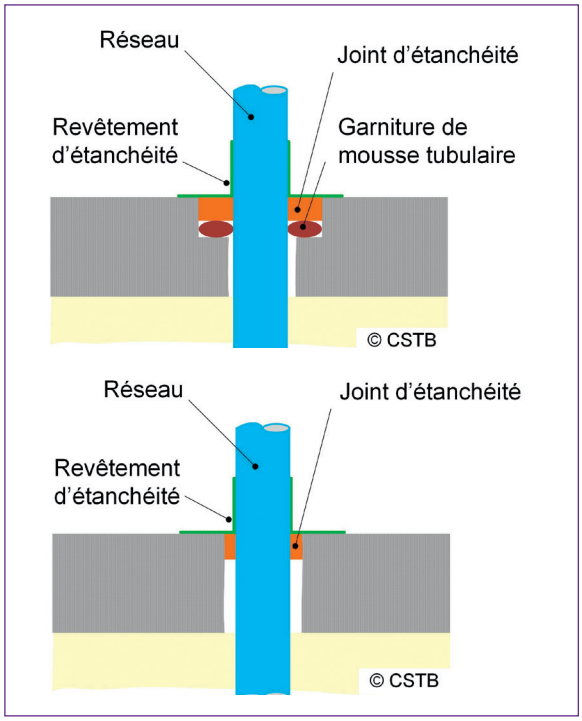
2.2.1.1 Traitement de fissures

La figure 10 présente des exemples de traitement de fissures. On peut également obturer les fissures par étanchéité de surface.

2.2.1.2 Traitement des réseaux

Le traitement de fissures en périphérie des réseaux VRD peut s'effectuer selon les mêmes principes que ceux présentés pour le traitement des fissures (figure 11).

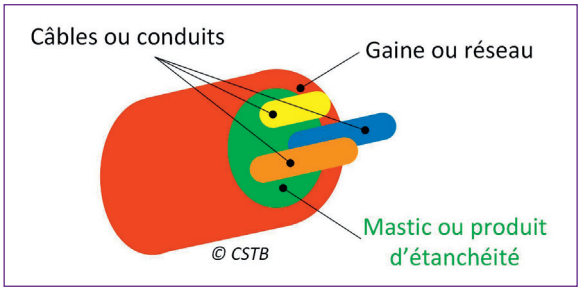
Figure 11 : Exemples de traitement de fissures en périphérie de réseau



Dans le cas où la traversée des réseaux se situe sur une dalle située sur une cave, un vide sanitaire ou un local technique accessibles, il est recommandé de réaliser un travail d'étanchéité analogue également en sous-face de la dalle pour une meilleure efficacité de l'étanchéité.

Pour des réseaux disposant de vide risquant de mettre en connexion l'environnement intérieur avec le sol (gaines électriques, etc.), il est recommandé de réaliser des étanchéités à l'intérieur de la gaine, au plus près de son arrivée dans le bâtiment, selon le principe présenté en figure 12.

Figure 12 : Exemples de traitement à l'intérieur du réseau.



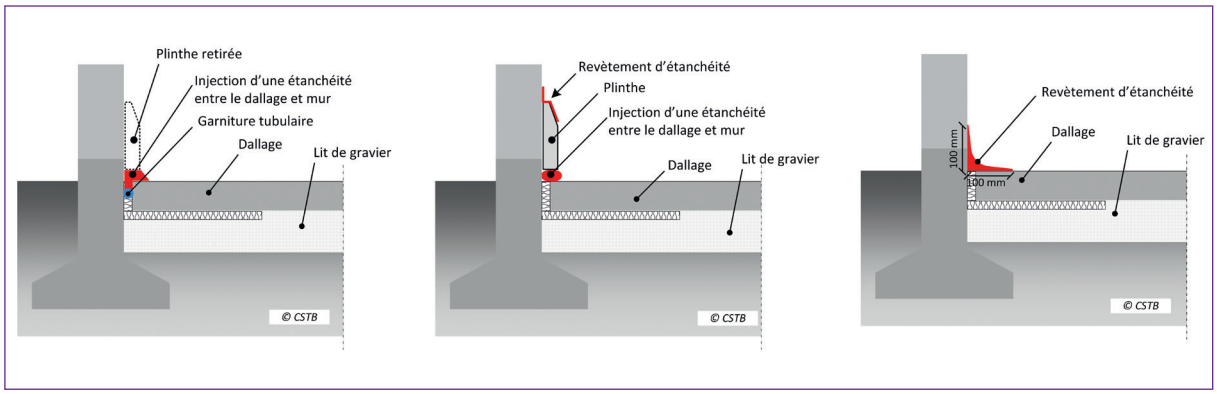
2.2.1.3 Traitement de fissure de retrait d'un dallage béton indépendant

Un dallage béton indépendant engendre une fissuration de retrait lors de son séchage. Cette fissuration peut être obturée en injectant un joint d'étanchéité entre le dallage et le mur après avoir retiré la plinthe. Il est également possible de réaliser une étanchéité couvrant pour partie le dallage et le mur. Si l'on ne souhaite pas retirer la plinthe, le joint d'étanchéité peut être injecté entre le dallage et la plinthe. Cette dernière solution sera cependant moins efficace et il est recommandé de réaliser également une étanchéité sur la plinthe (figure 13).

2.2.1.4 Traitement des portes ou des trappes

Les passages de communication (porte, trappe, etc.) entre une cave ou un local technique et le volume habité doivent être étanchés. Les joints d'étanchéité élastiques permettent d'étancher correctement des éléments de construction mobiles. Ces joints doivent être parfaitement adaptés aux battues et être posés correctement et de manière continue sur tout le tour de l'ouverture. Les seuils de porte doivent être de préférence équipés d'une battue munie d'un joint d'étanchéité élastique relié de façon continue aux joints latéraux.

Figure 13 : Exemples de traitement d'étanchéité à l'air de la fissure de retrait d'un dallage indépendant



2.2.1.5 Recouvrement de sol en terre-battue ou rénovation de plancher bas

En présence d'un sol en terre battue ou en cas de rénovation d'un plancher bas, il est recommandé de réaliser un nouveau plancher bas recouvert par un dallage avec pose d'une membrane étanche à l'air sous le dallage en apportant un soin particulier à l'étanchéité au niveau des jonctions de membranes avec les parois verticales. Il est recommandé de prévoir une couche de gravier (dont la nature a été choisie pour émettre peu de radon) sous le dallage, avec un point d'extraction pour le cas où une mise en dépression ultérieure sous le dallage s'avérerait nécessaire. On se reportera au chapitre 3 relatif aux actions préventives dans les constructions neuves pour une description plus précise de ces mises en œuvre.

2.2.2 Ventilation du bâtiment

Les objectifs de la ventilation des bâtiments sont, d'une part, d'éliminer les pollutions spécifiques de l'air intérieur (y compris l'humidité) et, d'autre part, d'apporter de l'air extérieur dit « neuf » aux occupants du bâtiment. Elle peut ainsi permettre de diminuer les concentrations en radon dans le bâtiment par dilution. Par ailleurs, la ventilation peut agir sur les conditions de pression intérieure du bâtiment, ces dernières ayant elles-mêmes une influence sur les conditions d'entrée de radon dans le bâtiment. Aussi, le type de système, son dimensionnement et sa mise en œuvre influencent le niveau d'efficacité que pourra avoir la ventilation en tant qu'action corrective vis-à-vis de la diminution de la concentration de radon dans un bâtiment.

Il est donc avant tout déterminant que le système de ventilation du bâtiment soit correctement dimensionné et mis en œuvre au regard des réglementations ainsi que des règles de l'art en vigueur et en fonction de l'usage du bâtiment. Lorsque l'expertise du bâtiment fait apparaître un manque de ventilation des locaux, il est important de mettre en œuvre les moyens nécessaires (mécaniques ou naturels) à une bonne ventilation du bâtiment afin d'atteindre les niveaux de ventilation réglementaires minimum requis tout en évitant d'accentuer la dépression naturelle du bâtiment, voire en la diminuant. Pour les systèmes de ventilation mécanique simple flux par extraction et double flux dans les bâtiments résidentiels, on se rapprochera de la norme DTU 68.3 (Travaux de bâtiment - Installations de ventilation mécanique) pour les règles de conception, de dimensionnement et de mise en œuvre. Il n'existe pas à l'heure actuelle de règles de l'art formalisée pour la ventilation mécanique par insufflation.

Pour assurer un bon transit d'air entre les pièces, associé au principe de ventilation par balayage, les portes intérieures doivent être détalonnées ou des grilles de transit en paroi intérieure doivent être installées.

Par ailleurs, les systèmes de ventilation nécessitent une maintenance régulière pour rester performants. Un contrat de maintenance périodique peut utilement être passé.

En présence d'un appareil à combustion non étanche, celui-là doit être équipé d'une amenée d'air neuf spécifique pour assurer son bon fonctionnement (NF DTU 24). Dans le cas de foyers ouverts (cheminée, insert, chaudière, poêle, etc.) l'absence ou un mauvais dimensionnement d'une telle amenée d'air spécifique, au-delà d'un risque de mauvais fonctionnement de l'appareil, entraine une accentuation du tirage thermique et donc de l'entrée de radon. La pratique consistant à connecter cette amenée d'air spécifique à un volume non chauffé ayant une interface importante avec le sol (cave, vide sanitaire) est à proscrire car elle induit un cheminement préférentiel de radon vers les volumes occupés tout au long de l'année. En cas d'identification d'une telle pratique, il est conseillé de créer une nouvelle amenée d'air donnant directement sur l'extérieur et de condamner celle existante.

2.2.3 Traitement des soubassements

Le traitement des soubassements s'avère très efficace pour réduire la concentration de radon dans le bâtiment. Ces solutions doivent bien sûr être adaptées au type d'interface rencontré et compatibles avec les systèmes du bâtiment (ventilation et appareils à combustion). On peut ainsi apporter des actions correctives par :

- ventilation du soubassement (vide sanitaire ou cave),
- systèmes de dépressurisation du sol (terre-plein sous dallage, vide sanitaire).

Le but de ces actions est de limiter le transfert de radon vers le bâtiment en diluant la concentration en radon dans le soubassement avant que l'air n'entre dans le bâtiment (ventilation du soubassement) ou en modifiant le niveau de pression de l'air du soubassement afin de bloquer les flux de radon vers le bâtiment (SDS). Dans le cas de bâtiments existants, ces techniques peuvent être mises en œuvre. Cependant, il est préférable d'évaluer au préalable leur faisabilité et leur dimensionnement, notamment dans le cas de solutions SDS sur terre-plein. Pour une réhabilitation lourde du plancher bas, une mise en œuvre intégrée, analogue à celle pouvant être réalisée dans le cas de bâtiment neuf permettra d'obtenir une efficacité garantie du système. On se reportera au chapitre 3 relatif à la prévention dans les constructions neuves pour une description plus précise de ces actions en fonction des différents types constructifs.

2.2.3.1 Ventilation du soubassement

En présence de cave, de sous-sol ou de vide sanitaire, il peut être relativement aisé d'améliorer l'aération du soubassement. L'expertise du bâtiment donnera une idée sur leur niveau d'aération initial. Il faut d'abord

vérifier l'état des entrées d'air existantes (nettoyage). Cependant l'aération naturelle peut être évaluée insuffisante pour diminuer de façon importante l'entrée de radon dans le bâtiment. Il est alors possible d'installer une ventilation mécanique par extraction avec un dimensionnement approprié des entrées d'air. Une ventilation efficace sera comprise entre 1,5 et 3 m3 par heure et par m^2 de surface au sol. Le choix d'un ventilateur avec variateur de vitesse est conseillé afin d'optimiser le niveau d'extraction. Que l'on soit en aération naturelle ou en ventilation mécanique de ces espaces, il est important de vérifier qu'il n'y a pas de zones mortes qui ne seraient pas ventilées (principe de ventilation par balayage et décloisonnement). Pour cela, les différents composants de la ventilation doivent notamment être répartis le plus uniformément possible et situés en opposition dans l'espace autant que possible. Dans le cas d'une extraction mécanique, il est recommandé de ne pas placer d'entrée d'air trop proche du point d'extraction mécanique afin d'éviter des effets de court-circuitage de flux d'air et de créer des zones mortes (voir exemple de principe figure 14).

2.2.3.2 Système de dépressurisation du sol (SDS)

Le SDS est un moyen de protection très efficace. Cependant, il n'est adapté à toutes les situations et il est généralement coûteux à installer dans les constructions existantes[14]. Il consiste à créer une légère dépression sous le plancher bas du bâtiment par rapport à la pression régnant dans le volume habité, afin de bloquer les flux convectifs de radon et, par là même, de les canaliser et les évacuer directement vers l'extérieur avant qu'ils ne transitent par les volumes occupés du bâtiment. Pour cela, l'air du soubassement est extrait vers l'environnement extérieur à partir d'un point d'extraction sous le plancher bas et via un conduit d'extraction étanche reliant la sous face du plancher bas à l'extérieur du bâtiment. L'intégration de tels systèmes dans la construction neuve est décrite dans le chapitre 3.3 de ce document.

Pour un bâtiment existant, il est possible d'adapter cette technique. La faisabilité et l'efficacité de cette solution dépend néanmoins du type de soubassement, de sa configuration, de la nature du terrain sous le bâtiment notamment en matière de perméabilité à l'air, présence ou non de lit de gravier sous dalle, etc. Aussi, il est préférable de réaliser des tests préalables à la mise en œuvre afin d'évaluer la faisabilité et de dimensionner la solution.

Lorsque la mise en place d'actions correctives inclut une rénovation ou une reprise importante du plancher bas du bâtiment ou d'une de ses parties ou bien le recouvrement d'un sol initialement en terre-battue, c'est alors l'occasion d'y associer un SDS. On se reportera alors au chapitre 3.3 pour plus d'information sur l'intégration du SDS sous plancher bas.

Dans le cas de dallage sur terre-plein ou de vide sanitaire, si le soubassement est disposé en plusieurs compartiments (présence de refend ou de longrine), et lorsque la connexion entre compartiments n'est pas possible, un point d'extraction doit être installé dans chacun d'eux.

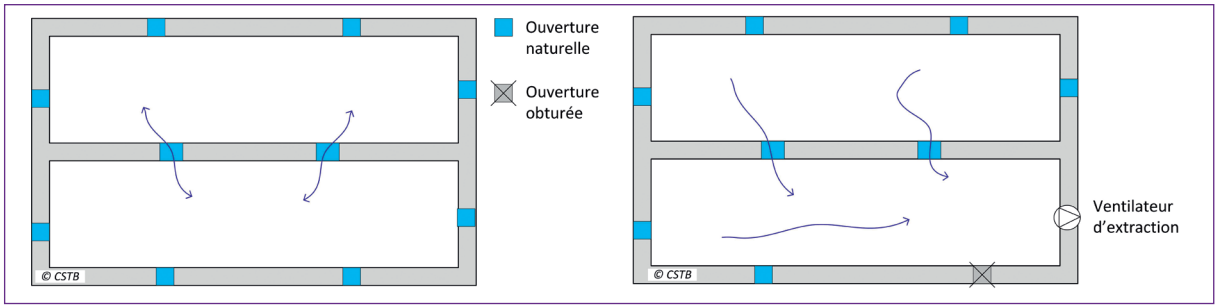
Les conduits servant à l'extraction peuvent être installés à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment. En cas d'installation intérieure, un soin particulier doit être porté à son étanchéité à l'air.

Comme pour tout rejet gazeux, celui-là doit être placé de telle façon que l'évacuation de l'air vicié se fasse correctement à l'extérieur, sans refoulement ni renvoi vers les bâtiments par des ouvrants ou des prises d'air situés à proximité du point de rejet.

2.2.3.3 Système de dépressurisation du sol pour vide sanitaire

La mise en dépression d'un vide sanitaire est envisageable si la dalle est considérée comme étanche et si le sol est relativement imperméable ou protégé. Des tests de faisabilité et de dimensionnement peuvent également être conduits. Dans le cas contraire, il est

Figure 14 : Exemple de principe de mise en place d'une ventilation par balayage dans un vide sanitaire ou sous-sol existant (principe de balayage).



(a) : aération naturelle (b) : ventilation mécanique

14. Le coût de l'installation est variable en fonction du terrain et de la surface du bâtiment. Un coût de 3 000 à 5 000 euros est à prévoir, comme ordre de grandeur.

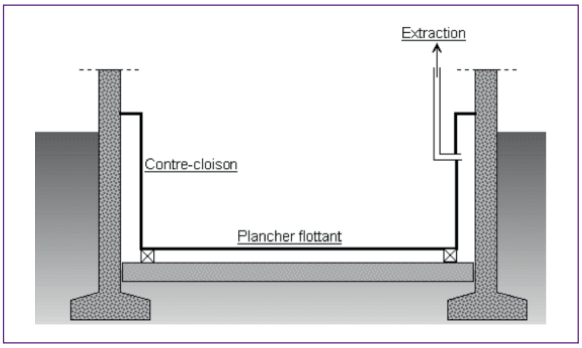
préférable d'envisager des solutions de ventilation de ces espaces. Dans le cas d'un vide sanitaire accessible, une alternative consiste à concevoir et installer le SDS sous membrane.

2.2.3.4 Système de dépressurisation du sol pour cave ou sous-sol

Un SDS peut être installé sous dallage de cave ou sous-sol ainsi que derrière les murs enterrés.

Une technique alternative peut également consister à doubler le plancher et/ou les parois verticales du sous-sol et à mettre en dépression l'espace compris entre les deux surfaces (figure 15).

Figure 15 : Principe de SDS à l'interface sol/bâtiment avec une double barrière.



2.2.4 Points particuliers (maintenance, durabilité, rénovation thermique)

Lorsque des actions correctives à caractère technique sont mises en œuvre dans un bâtiment, il est recommandé d'en assurer régulièrement un contrôle d'efficacité et un entretien. Notamment, dans le cas d'un système actif, un organe de contrôle de fonctionnement peut être ajouté (voyant, jauge, etc.). Une surveillance des ouvrages d'étanchéité peut être réalisée. Dans tous les cas, il est conseillé de réaliser régulièrement une mesure de contrôle de la concentration de radon dans le bâtiment. Dans les ERP, la réglementation demande de renouveler le mesurage tous les 10 ans et après que sont réalisés des travaux modifiant significativement la ventilation ou l'étanchéité du bâtiment.

Dans le cas de travaux ultérieurs sur le bâtiment, il est important de vérifier que ces derniers ne portent pas préjudice à la protection initiale du bâtiment : déséquilibrage d'un système de ventilation, intégrité d'une étanchéité, etc.

De plus, pour garantir l'utilisation effective des systèmes mécaniques, il est nécessaire de les tester en évaluant la gêne acoustique ou thermique. En effet, si le système installé est trop bruyant ou qu'il est source d'inconfort thermique, il risque d'être désactivé par l'occupant.

Les travaux de rénovation d'un bâtiment, notamment destinés à l'amélioration du confort thermique et à la réduction de la consommation d'énergie, consistent souvent à changer les fenêtres et les portes extérieures, à améliorer l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment et à installer des systèmes de chauffage performants. Ces types de travaux peuvent avoir une incidence positive ou négative sur la qualité de l'air intérieur et sur la concentration de radon, notamment en fonction de la prise en compte ou non de l'amélioration ou du maintien des performances de la ventilation initiale du bâtiment. Ainsi, il est donc recommandé de réaliser une mesure de radon avant dimensionnement et mise en œuvre d'une opération de rénovation, notamment thermique. En fonction du résultat obtenu, les travaux prévus peuvent être adaptés afin de ne pas dégrader la qualité de l'air intérieur initiale du bâtiment, voire permettre de l'améliorer et de réduire la concentration de radon.

2.3 Exemples d'actions correctives

2.3.1 Exemple 1 : Centre aéré - Étanchéité et ventilation du bâtiment

Description du bâtiment

Bâtiment sur trois niveaux datant de 1992, en béton, de 200 m^2 au sol, climat de montagne (1 800 m d'altitude). Il comprend deux cages d'escalier et un ascenseur, un rez-de-chaussée semi-enterré, un dallage indépendant sur terre-plein avec une pièce technique sous dallage connectée à la cage d'ascenseur, des réseaux d'évacuation d'eaux usées au sol dans toutes les pièces, une VMC par extraction avec un principe de balayage, un système d'extraction mécanique additionnel dans la cuisine et une hotte d'extraction dans la cuisine.

Vue générale du bâtiment



Choix des actions correctives

1res actions correctives :

- Ragréage du plancher bas, obturation des drainages, traitement des fissures et des points singuliers, étanchéité à l'air de surface avec un produit de type polyuréthane et des plinthes.

Étanchéité de surface et de fissures



- Remise à niveau du système de ventilation de base avec contrat de maintenance.

2e action corrective :

Installation d'une VMC double flux : des incertitudes existaient quant à la bonne utilisation de la VMC par extraction par le locataire (inconfort thermique et coût de consommation à la charge du locataire). Cela a conduit à installer une VMC double flux en deuxième tranche de travaux.

Résultat des mesurages, efficacité de la solution et coût

Mesurages initiaux :

- 1er mesurage hiver 2001/2002 : 970 Bq.m^{-3} dans la salle de jeu du rez-de-chaussée. Pas d'action particulière menée.
- 2e mesurage hiver 2012 : 2 677 Bq.m^{-3} dans la salle de jeu du rez-de-chaussée et 2 073 Bq.m^{-3} dans la cantine du rez-de-chaussée. Ce résultat a conduit à faire réaliser une expertise du bâtiment.

Mesurages de vérification de l'efficacité des actions correctives :

- A la suite des premières actions correctives : 2 mois, hiver 2013 : ~ 800 Bq.m^{-3}.
- A la suite de la deuxième action corrective : 2 mois, hiver 2014 : ~ 350 Bq.m^{-3}.

Efficacité finale : 87%

Coût : 50 000 € pour les premières actions correctives et 11 000 € pour la deuxième action corrective.

Autres informations : travaux à la charge du propriétaire (commune).

2.3.2 Exemple 2 : Maison individuelle - Étanchéité et ventilation du bâtiment et du soubassement

Description du bâtiment

Maison individuelle isolée, sur un niveau, 100 m^2 au sol, en parpaing. Partie initiale datant de 1950, sur cave. En 1995, modification et extension du bâtiment : pose de portes et fenêtres en PVC double vitrage, extensions de chaque côté du bâtiment initial avec deux chambres sur un vide sanitaire accessible, un local et un abri voiture sur terre-plein. L'isolation extérieure du bâtiment a été réalisée et mise en place d'une VMC par extraction.

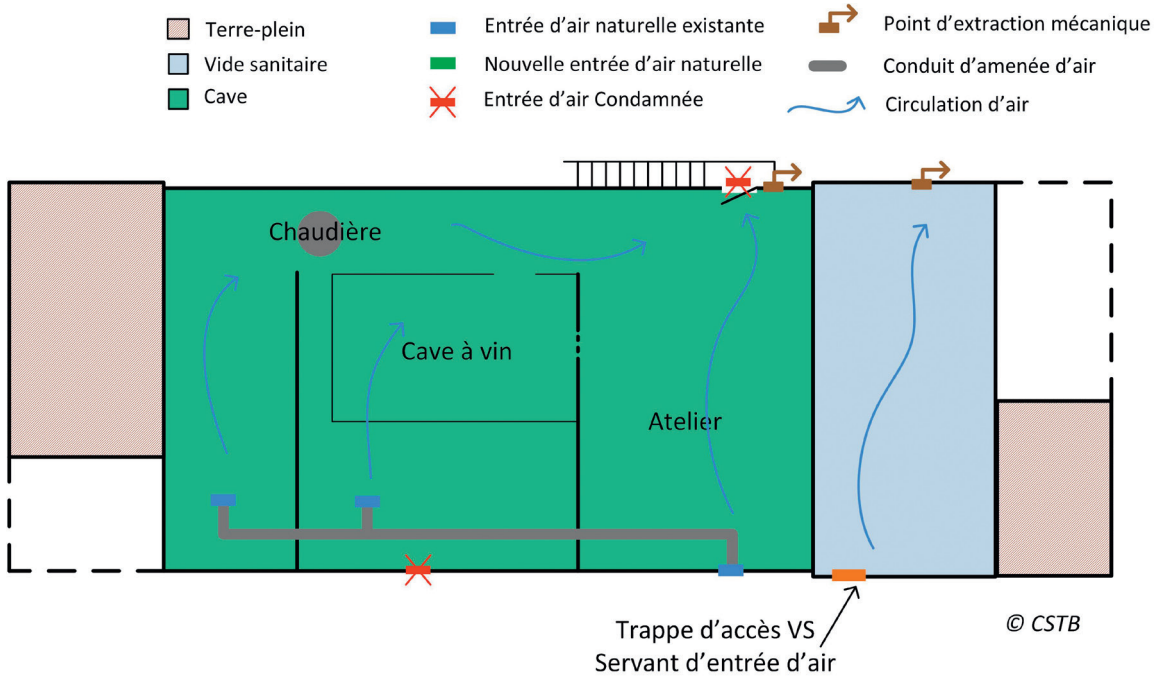
Vue générale du bâtiment



Choix des actions correctives :

- Étanchéité des points singuliers à partir de la cave, du vide sanitaire et du volume habité.
- Reprise du dimensionnement et de la mise en œuvre de la VMC par extraction.
- Création de ventilations générales et permanentes par extraction mécanique indépendantes dans la cave et dans le vide sanitaire (principe de balayage).

Schéma d'installation de la ventilation mécanique permanente des soubassements



Résultat des mesurages et efficacité de la solution

Mesurage initial :

Hiver 2015 : 1 987 Bq.m^{-3} dans le séjour. Ce résultat a conduit à faire réaliser une expertise du bâtiment.

Mesurage de vérification de l'efficacité des actions correctives :

Hiver 2017 : 56 Bq.m^{-3} dans le séjour.

Efficacité finale : 97%

2.3.3 Exemple 3 : École maternelle - Étanchéité et système de dépressurisation des sols

Description du bâtiment

Construction récente de 1996 sur deux niveaux :

Un premier niveau dans lequel on peut distinguer deux parties :

- un hall d'entrée et une classe de cours préparatoire sur plancher bas en dallage béton sur terre-plein. Surface du dallage sur terre-plein : 140 m^2 ;
- deux volumes non aménagés et connectés entre eux, considérés comme vide sanitaire avec sol en terre battue et murs semi enterrés sur deux parois et comportant des aérations naturelles. Les murs porteurs sont en parpaing. La surface du vide sanitaire est de 140 m^2. La dalle intermédiaire est de type poutrelle hourdis béton.

Le bâtiment est assez étanche : double vitrage aluminium coulissant, joint d'étanchéité. Il n'y a pas de ventilation spécifique au premier niveau.

Un deuxième niveau comprenant des entrées d'air en feuillure de fenêtre, 8 bouches d'extraction (2 dans les sanitaires des enfants, 2 dans la salle de repos, 2 dans les sanitaires des adultes et 2 dans le hall au niveau des vestiaires). *A priori* le système est bien dimensionné mais des portes étanches et sans détalonnage empêchent un bon balayage de l'air des salles de classe vers les bouches d'extraction.

Vues du bâtiment



Choix des actions correctives

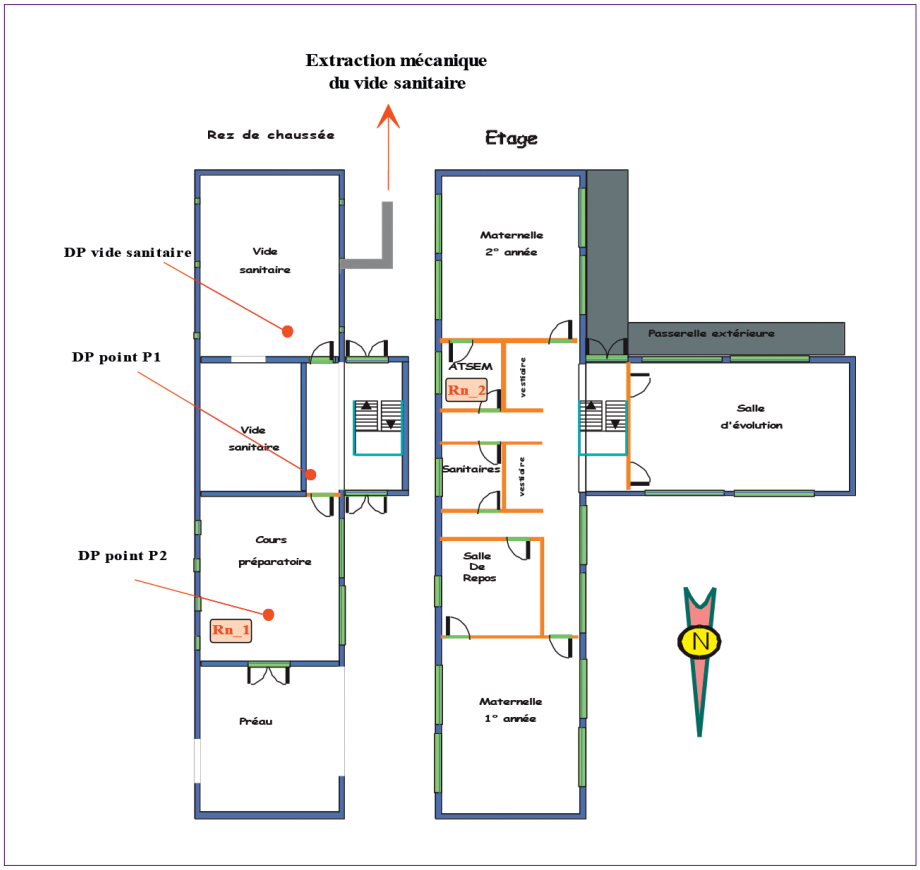
Tests préalables

Vérification de faisabilité et dimensionnement du système de dépressurisation du sol. Mise en dépression du vide sanitaire et vérification de la dépression dans le vide sanitaire et sous le dallage du plancher bas.

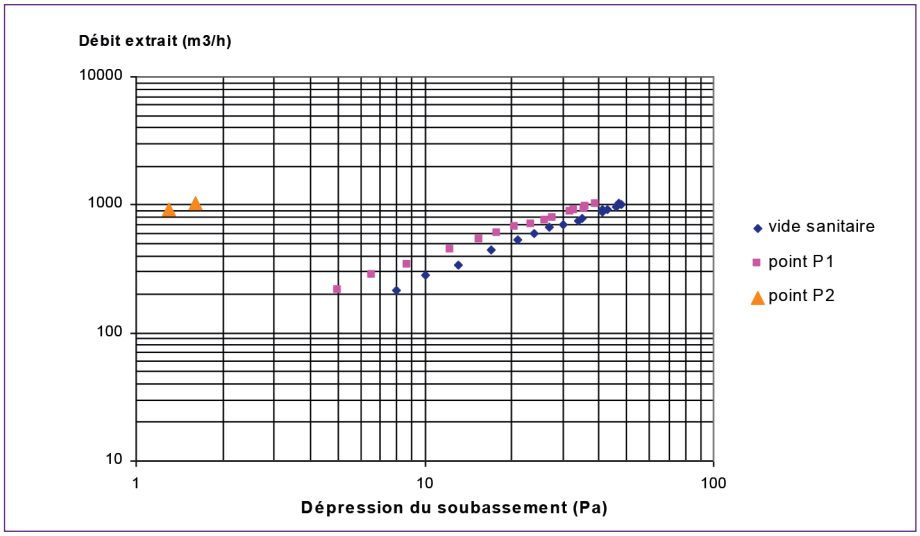
La mise en dépression est jugée satisfaisante vers 300 $m^3.h^{-1}$. Mise en route du système à ce débit, soit environ 2 $m^3.h^{-1}.m^{-2}$ de surface au sol du bâtiment et mesure du radon dans la classe du premier niveau.

La décroissance du radon est plus liée à l'augmentation du renouvellement d'air en raison des défauts d'étanchéité du mur adjacent au vide sanitaire mis en dépression qu'à la dépression très faible créée sous le plancher bas de la classe.

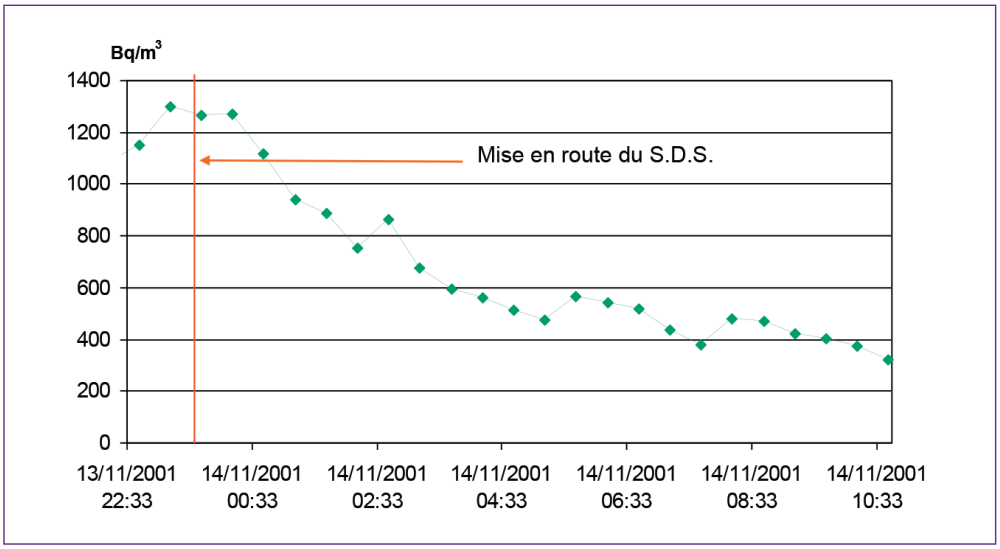
Schéma bâtiment



Résultats de la mise en dépression sous le plancher bas et dans le vide sanitaire



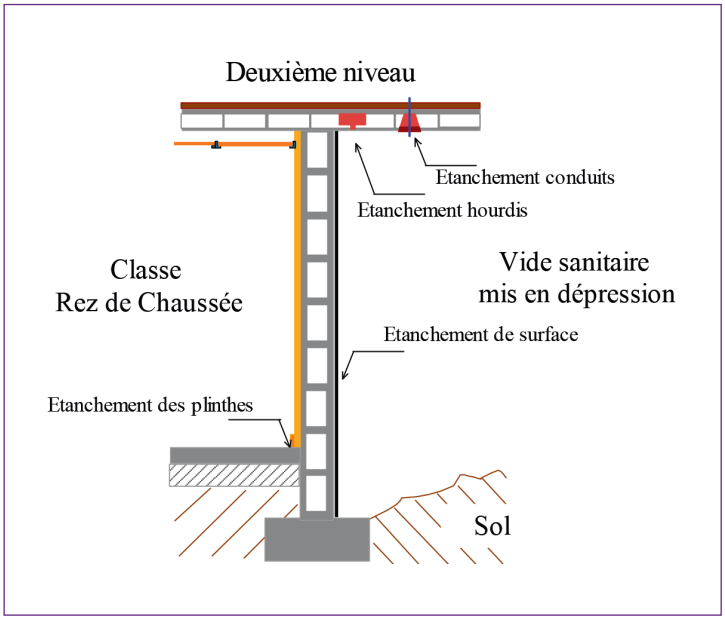
Décroissance du radon dans la salle de classe



Travaux

- Travaux d'étanchéité au niveau du vide sanitaire : traitement de surface des murs verticaux mitoyens à la salle de classe du même niveau, étanchéité des conduits et du hourdis, étanchéité des plinthes.
- Bouchage des aérations naturelles du vide sanitaire afin de permettre la mise en dépression de ce dernier.
- Mise en dépression du vide sanitaire par ventilateur spécifique installé dans le vide sanitaire ; extraction d'air d'environ 450 m^3.h-1 soit environ 1.6 m^3.h-1.m^{-2} au sol.
- Vérification de la ventilation mécanique du deuxième niveau : fonctionnement des groupes d'extraction, détalonnage des portes.

Schéma d'étanchéité



Résultat des mesurages, efficacité de la solution et coût

Mesurages initiaux :

Entre octobre et décembre, au premier niveau, salle de classe : 2 400 Bq.m^{-3}. Ce résultat a conduit à faire réaliser une expertise du bâtiment.

Mesurage de vérification de l'efficacité des actions correctives :

Entre octobre et décembre de l'année suivant les travaux : 41 Bq.m^{-3}.

Efficacité : 98%

Coût du matériel (hors expertise) en 2001 : 10 000 € TTC avec un investissement humain des services techniques de la mairie pour l'installation.

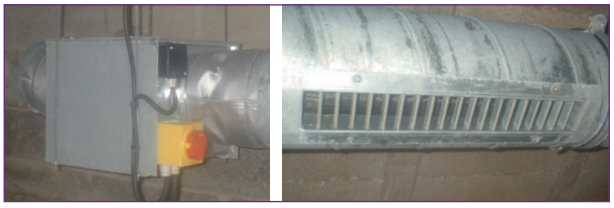
Autres informations

Tests préalables réalisés dans le cadre d'études pilotes du CSTB.

Exemples d'étanchéité



Groupe et prise d'extraction dans le vide sanitaire



Étanchéité des aérations naturelles du vide sanitaire



2.4 Vérification de l'efficacité des actions correctives

A l'issue des actions correctives, quelle que soit la concentration en radon initialement mesurée, il convient de prévoir une vérification de l'efficacité des actions appliquées. Le mesurage de vérification est conduit dans les mêmes conditions que le mesurage initial (voir paragraphe 2.1.1.1). Il doit être reconduit dans l'ensemble du bâtiment et non pas uniquement dans les parties du bâtiment qui présentaient les valeurs de concentration les plus élevées. En effet, toute modification apportée au bâtiment est susceptible d'avoir une incidence sur les transferts du radon et ainsi engendrer une augmentation de la concentration dans une partie de la structure précédemment non affectée.

Ultérieurement, un suivi dans le temps du bon fonctionnement de la technique de réduction est également à prévoir, en raison par exemple du vieillissement des matériaux utilisés ou de la possible diminution des performances des systèmes actifs. Des exigences réglementaires existent pour les lieux de travail dépassant le niveau de référence et pour les ERP soumis à la surveillance de l'exposition au radon.

3. Actions préventives dans les constructions neuves

À ce jour, il n'existe pas d'obligation de moyens visant spécifiquement à limiter la concentration du radon pour la construction de bâtiments neufs, même dans les zones à potentiel radon 3. Dans les ERP, il existe une obligation de résultat : la concentration doit être inférieure à 300 Bq.m^{-3}. Dans les lieux de travail, l'employeur doit mener des actions de réduction si la concentration est susceptible d'atteindre ou de dépasser 300 Bq.m^{-3}.

La réglementation thermique 2012 (RT 2012) et la réglementation environnementale 2020 (RE 2020) portent une attention particulière à l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment, pour des raisons de performance énergétique. En réduisant les entrées d'air parasites, l'imperméabilité de l'interface sol/bâti constitue une barrière potentielle contre la remontée du radon. Les premiers résultats d'une analyse réalisée par la Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages (DHUP) montrent que la concentration moyenne dans les constructions bâtiment basse consommation (BBC) ou RT 2012 situées en zone à potentiel radon 3 est habituellement inférieure au niveau de référence de 300 Bq.m^{-3}. Cet effet reste à confirmer. De même, il manque encore des données sur les conséquences du vieillissement de la structure au cours du temps sur la concentration de radon. La poursuite de l'étude de la DHUP permettra d'améliorer les connaissances sur ce sujet et pourrait conduire à formuler des recommandations supplémentaires dans le futur, éventuellement graduées en fonction des caractéristiques du bâtiment.

Cependant, l'expérience acquise au cours des années permet déjà d'identifier des moyens d'optimiser la conception des bâtiments et de les protéger des remontées de radon venant du sol. C'est pourquoi l'utilisation de ces moyens est pertinente, notamment dans les communes situées en zone 3.

Il est à noter que c'est dès la conception du bâtiment que les actions préventives sont à intégrer dans un projet de construction, afin d'assurer une bonne efficacité, et cela pour un coût marginal.

Ces actions préventives consistent spécifiquement :

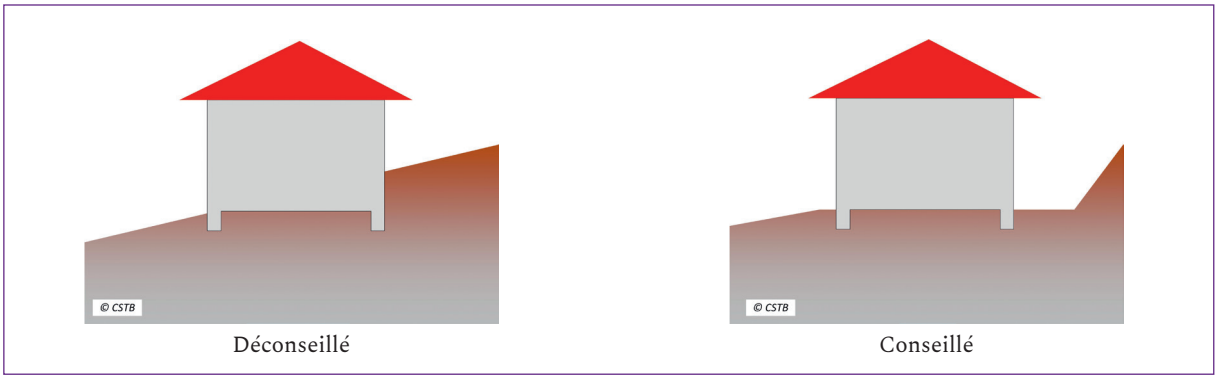
- à réaliser des soubassements de bâtiment étanches à l'air minimisant les transferts gazeux du sol vers les espaces occupés du bâtiment ;
- à intégrer, dès la conception du bâtiment, la possibilité de mettre en place dans les soubassements des techniques de ventilation active ou un SDS. Cela consiste à intégrer des réservations au soubassement. Les réservations sont d'abord obturées, pour une utilisation éventuelle ultérieure, si elle s'avère nécessaire. Ainsi, si le mesurage de vérification de l'efficacité des actions préventives réalisées montre que les concentrations en radon restent élevées immédiatement après la construction (mesurage réalisé au cours de la première année d'occupation) ou augmentent au cours du temps (mesurage périodique), une activation sera possible.

Les bonnes pratiques couvrent plusieurs aspects : l'optimisation du projet de construction, la bonne ventilation du vide sanitaire ou du sous-sol ou la mise en place d'un SDS et l'étanchement des soubassements plus ou moins poussé en fonction de la nature du plancher.

3.1 Adaptations possibles du projet de construction

La surface d'échange entre le sol et le volume occupé du bâtiment doit être la plus faible possible. Il est donc conseillé d'éviter les murs enterrés ou semi enterrés ainsi que les remblais (figure 16).

Figure 16 : Minimisation de l'interface entre le sol et le bâtiment



Déconseillé Conseillé

Il convient d'éviter l'utilisation de matériaux émettant du radon, comme un lit de gravier en granit sous la maison.

Toute traversée de plancher bas (notamment par les VRD) correspond à un point singulier qu'il sera nécessaire de traiter afin qu'il ne constitue pas un passage préférentiel d'entrée du radon venant du sol. Ces traitements peuvent s'avérer délicats. Il est donc préférable, dès la conception du bâtiment, de limiter au maximum le nombre de ces traversées et de les regrouper dans la mesure du possible.

Il est conseillé de concevoir le bâtiment en prévoyant un système de ventilation adapté pour éviter d'accentuer sa mise en dépression naturelle. En présence d'appareils à combustion, préférer des systèmes étanches ou les concevoir et les placer de façon à ne pas accentuer le tirage thermique des volumes occupés.

Il est préférable d'éviter la conception de cages d'escaliers allant du sous-sol vers le volume habité et de favoriser un accès au sous-sol par l'extérieur. Dans le cas contraire, la porte d'accès au sous-sol doit être étanche à l'air.

3.2 Ventilation de vide sanitaire ou de sous-sol

Un vide sanitaire ou un sous-sol ventilé est très efficace pour empêcher l'entrée du radon.

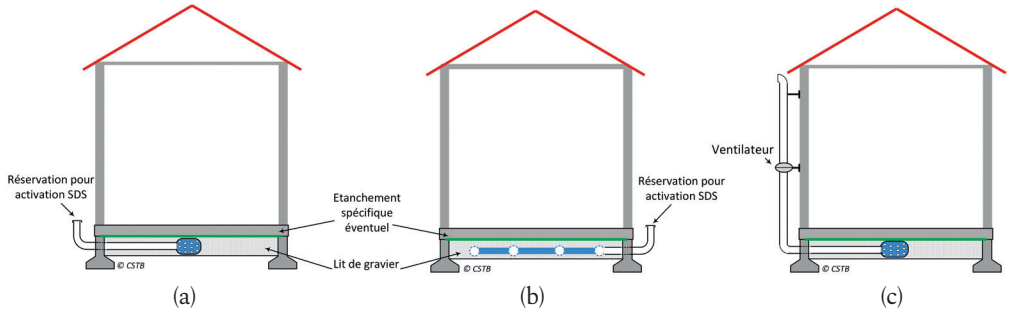
Dans le cas de vide sanitaire ou de sous-sol, il est possible de prévoir une ventilation de ces espaces plutôt qu'une mise en dépression. Il est recommandé de ventiler un vide sanitaire ou un sous-sol selon les règles de l'art. Pour le dimensionnement de la ventilation d'un vide sanitaire, on peut citer à titre illustratif la norme NF DTU 61.1 mentionnant qu' « *un vide sanitaire est considéré comme ventilé si la section totale libre des ouvertures, exprimée en centimètres carrés est au moins égale à 5 fois la surface au sol du vide sanitaire exprimée en mètres carrés* ». À titre d'exemple, pour une surface au sol de vide sanitaire de 100 m^2, la surface totale des ouvertures sera de 500 cm^2. Le principe d'aération est d'assurer un bon balayage du vide sanitaire ou du sous-sol en optimisant la position des différentes ouvertures et en tenant compte de cloisonnements éventuels. Dans un premier temps, cette ventilation peut se faire de façon naturelle grâce à des ouvertures judicieusement réparties afin d'éviter la présence de zones mortes. Si la ventilation naturelle s'avère insuffisante, une ventilation par extraction mécanique peut être adjointe en maintenant le principe de balayage. Le débit d'air extrait doit être de l'ordre de 2 $m^3/h/m^2$ de sol. Il est aussi nécessaire que les éventuelles ouvertures proches du point d'extraction mécanique soient fermées afin d'assurer un bon balayage du vide sanitaire (voir paragraphe 2.2.3.1).

3.3 Système de dépressurisation du sol

Le SDS est un moyen de protection très efficace. Il a pour but d'inverser le sens d'écoulement de l'air entre le bâtiment et le sol. Il consiste à créer une légère dépression sous le plancher bas du bâtiment, afin de bloquer les flux convectifs vers ce dernier et, par là même, de canaliser le radon venant du sol qui s'accumule sous la dalle d'un bâtiment en l'évacuant directement vers l'extérieur. Pour cela, l'air du soubassement est extrait vers l'environnement extérieur, via un conduit d'extraction étanche reliant la sous face du plancher bas à l'extérieur du bâtiment, lieu de rejet des gaz du sol.

La figure 17 présente le principe d'intégration du SDS pour un plancher bas sur terre-plein. Le SDS intègre un système d'extraction d'air, situé dans un lit de gravier, avec deux options possibles (puisard ou réseau de drains) et permettant son activation ultérieure. Cela consiste à concevoir et réaliser un soubassement étanche à l'air vis-à-vis de remontées gazeuses du sol. Des réservations sont intégrées au soubassement et obturées, pour une utilisation ultérieure éventuelle. Pour évaluer son efficacité, un mesurage doit être réalisé au cours de la première année d'occupation du bâtiment. Si le résultat est élevé, un système d'extraction adapté aux réservations doit être installé pour créer une dépression dans le sol sous-jacent.

Figure 17 : Principe d'intégration du système de dépressurisation des sols (SDS) dans le soubassement



(a) : Option puisard (b) : Option réseau de drains (c) : Activation du système

L'activation d'un système, intégré dès la conception, permet alors à moindre coût d'obtenir une prévention efficace contre les remontées de radon venant du sol.

À noter que le principe du SDS peut également être appliqué à un vide sanitaire conçu à cet effet. Dans ce cas, avant une activation éventuelle du SDS, le vide sanitaire doit déjà disposer d'une aération naturelle. Si le choix est fait d'une activation du SDS, les ouvertures d'aération du vide sanitaire devront être obturées au préalable.

Il est également possible de concevoir un SDS en fonctionnement naturel, c'est-à-dire, en s'affranchissant de l'utilisation de ventilateur d'extraction. Pour sa conception et sa mise en œuvre, il convient de consulter le guide réalisé à la suite de l'étude EVAL-SDS[15].

3.4 Étanchement des soubassements

L'étanchement de toute la surface de l'interface sol-bâtiment n'est pas obligatoire. Il est néanmoins recommandé dans certains cas, notamment lorsque la nature du plancher est réputée peu étanche à l'air, comme par exemple dans le cas d'un dallage indépendant sur terre-plein. *A minima*, il est recommandé de traiter spécifiquement les joints de périphérie de ces types de dallage (fissure de retrait qui se forme pendant le séchage).

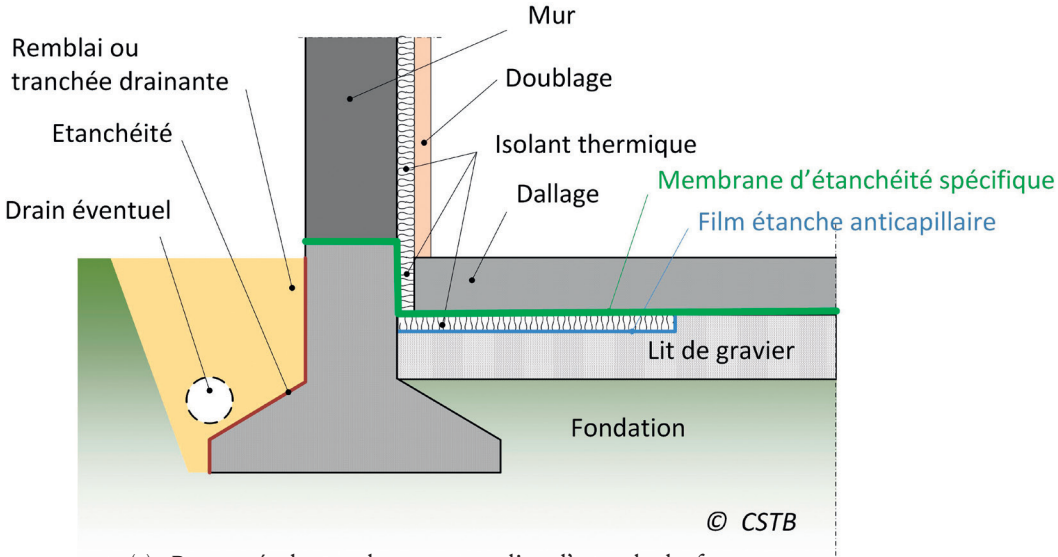
Les travaux d'étanchement à l'air des soubassements peuvent s'apparenter, en matière de mise en œuvre, à certains travaux de cuvelage (NF DTU 14.1), d'étanchéité à l'eau de parois enterrées et d'étanchéité à l'eau de toitures terrasses. Ils n'assurent cependant pas les mêmes fonctions sauf en cas de spécifications particulières. Plusieurs types de produits sont utilisables : les membranes et les produits liquides d'étanchéité à base d'époxy ou de polyuréthane.

Les membranes présentent des caractéristiques mécaniques générales, auxquelles il faut ajouter la résistance vis-à-vis du transfert diffusif du radon. En France, aucune membrane n'a fait l'objet d'un avis technique à ce jour, que ce soit pour les produits utilisés ou leur mise en œuvre. Néanmoins, les membranes choisies doivent être les plus résistantes possible à la diffusion du radon. Afin que le résultat soit parfaitement étanche à l'air, un soin particulier doit être porté à l'ancrage des membranes aux fondations périphériques et aux poteaux en béton armé ainsi qu'au recouvrement entre lés. Enfin, dans la mesure où des membranes peuvent être intégrées dans les soubassements pour d'autres fonctions (étanchéité à l'eau, traitement anti-termites), il peut être envisagé de choisir des membranes pouvant associer plusieurs fonctions.

On illustre ci-dessous la mise en œuvre d'une membrane d'étanchéité dans le cas d'un dallage indépendant sur terre-plein avec un ancrage à la fondation étanche et de façon durable. On montre deux exemples de principe de mise en œuvre :

- remontée sur la partie supérieure de la fondation et tenant lieu d'arase hydrofuge (figure 18-a),

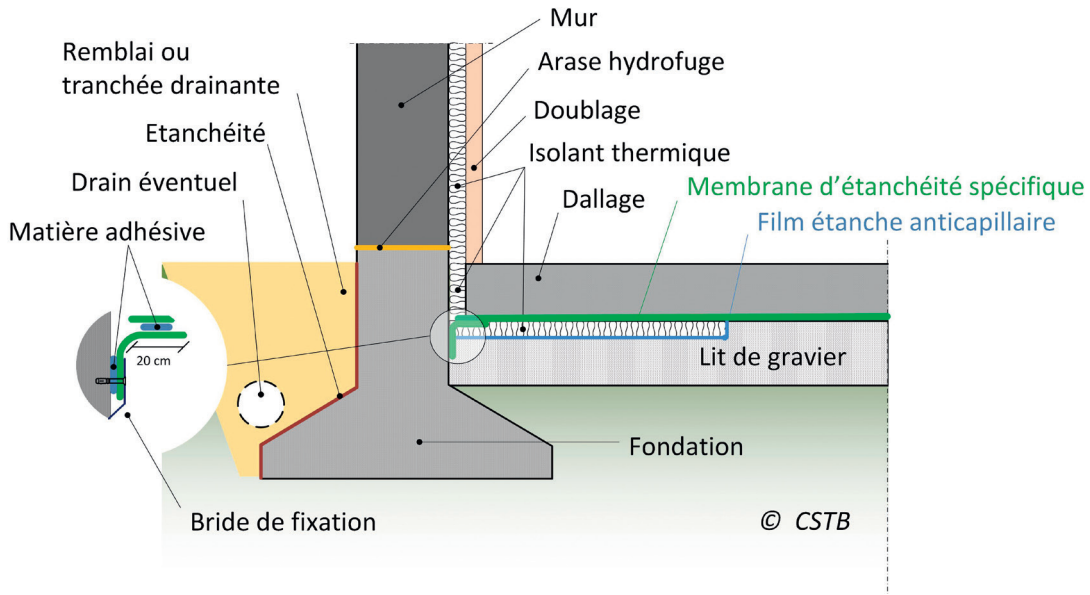
Figure 18 : Exemples d'étanchéité surfacique dans le cas d'un dallage indépendant sur terre-plein.



(a) : Remontée de membrane tenant lieu d'arase hydrofuge

15. Protection des bâtiments vis-à-vis des remontées de gaz du sol. Recommandations pour la réalisation d'un système de dépressurisation des sols à fonctionnement naturel, de la conception à la maintenance. Guide Pratique 2018 - CSTB, LaSIE, Poujoulat, projet EVALSDS (APR CORTEA 2015), cofinancé par l'ADEME (n° de contrat : 1572C0199).

Figure 18 : Exemples d'étanchéité surfacique dans le cas d'un dallage indépendant sur terre-plein.



(b) : Retombée sur le flan intérieur de la fondation

- retombée sur le flan intérieur de la fondation, fermeture au mastic adhésif avec bride de fixation et traitement hydrofuge de l'arase supérieure de la fondation (figure 18-b).

Il est également possible d'envisager des traitements avec des produits d'étanchéité du type résine époxy ou polyuréthane, utilisés côté intérieur, en application en tant que revêtement de sol des dalles. Là aussi, les conditions de mise en œuvre sont déterminantes pour assurer une étanchéité efficace des éléments en contact avec le sol (plancher bas ou mur enterré).

Dans tous les cas, les notions de compatibilité entre matériaux utilisés ainsi que de durabilité des performances sont des éléments déterminants.

Sur les parois verticales des soubassements en béton et maçonnerie, la mise en œuvre des procédés d'étanchéité actuels en feuilles bitumineuses et des nappes de protection permet de traiter de façon étanche et continue le risque d'infiltration d'eau, notamment par les fissures et par les traversées. Il peut être considéré qu'une paroi verticale en béton plein (mur de fondation ou mur enterré) constitue un frein à l'entrée du radon relativement important et que dans la mesure où le béton est en pression, il n'y aura pas de fissuration ultérieure. À noter toutefois que les traitements spécifiques vis-à-vis du radon sont possibles. D'ailleurs, en présence de mur de fondation creux ou de murs enterrés creux, il est recommandé d'associer un tel traitement spécifique de ces éléments afin d'éviter le transfert de radon par ces éléments vers les volumes intérieurs du bâtiment.

D'une façon générale, il est recommandé d'associer les travaux d'étanchement d'interface par pose de membrane à d'autres moyens de protection (ventilation, traitement des soubassements).

3.5 Vérification de l'efficacité des actions préventives

Après la fin de la construction, il faut prévoir une vérification de l'efficacité des actions préventives installées. Le mesurage est réalisé dans les conditions d'utilisation habituelles, par exemple au cours de la première année d'occupation. Les modalités sont les mêmes que pour le mesurage initial (voir paragraphe 2.1.1.1).

Ultérieurement, un contrôle de la pérennité de la situation du bâtiment est utile. Des exigences réglementaires existent pour les lieux de travail dépassant le niveau de référence et pour les ERP soumis à la surveillance de l'exposition au radon.

Liste des acronymes

- **ASN :** Autorité de sûreté nucléaire
- **CSTB :** Centre scientifique et technique du bâtiment
- **DGS :** Direction générale de la santé
- **DGT :** Direction générale du travail
- **DHUP :** Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages
- **ERP :** établissement recevant du public
- **IRSN :** Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
- **SDS :** système de dépressurisation du sol
- **VMC :** système de ventilation mécanique contrôlé
- **VRD :** voiries et réseaux divers

Références

Documents techniques unifiés (DTU)

- NF DTU 13 Fondations
- NF DTU 14.1 Travaux de cuvelage
- NF DTU 20.1 Ouvrages en maçonnerie de petits éléments - Parois et murs
- NF DTU 24 Fumisterie
- NF DTU 26.2 Chapes et dalles à base de liants hydrauliques
- NF DTU 61.1 Installations de gaz dans les locaux d'habitation
- NF DTU 65.14 Exécution de planchers chauffants à eau chaude
- NF DTU 68.3 Travaux de bâtiment - Installations de ventilation mécanique

Autres guides sur les travaux de réduction de la concentration en radon dans les bâtiments

- Radon et sols pollués : protection des bâtiments – Guide pour la protection des bâtiments vis-à-vis des polluants gazeux du sol. Guide technique CSTB. Collignan B., juillet 2021.
- Radon, gérer le risque pour la construction et la rénovation de logements. Guide qualité de l'air intérieur. Association Qualitel. février 2020. (gratuit)
- Recommandations pour la réalisation d'un système de dépressurisation des sols à fonctionnement naturel, de la conception à la maintenance. Guide pratique ADEME, 2018 (gratuit)
- Prévention et remédiation du risque radon dans les bâtiments. Dossier thématique. Réseau breton bâtiment durable, 2019 (gratuit)
- Prévention et remédiation du risque radon – 12 enseignements à connaître, Agence Qualité Construction et Réseau Breton bâtiment durable, 2019 (gratuit)

Expertise du bâtiment

- Vidéo de présentation de l'expertise du bâtiment
- NF X 46-040 « Traitement du radon dans les immeubles bâtis - Référentiel de diagnostic technique relatif à la présence de radon dans les immeubles bâtis, missions et méthodologie » (en cours de révision à la date de publication de ce guide)
- Grille d'audit simplifié relatif à la présence de radon dans les bâtiments
- Guide d'auto évaluation du bâtiment vis-à-vis du risque radon

Mesurage de la radioactivité dans l'environnement – Air : radon 222

- NF EN ISO 11665-4 : Partie 4 : méthode de mesure intégrée pour la détermination de l'activité volumique moyenne du radon avec un prélèvement passif et une analyse en différé
- NF ISO 11665-8 : Partie 8 : méthodologies appliquées aux investigations initiales et complémentaires dans les bâtiments
- ISO/TS 11665-12 : Partie 12 : Détermination du coefficient de diffusion des matériaux imperméables : méthode de mesure de l'activité volumique d'un côté de la membrane
- ISO/TS 11665-13 : Partie 13 : Détermination du coefficient de diffusion des matériaux imperméables : méthode de mesurage de l'activité volumique des deux côtés de la membrane

Guides sur la ventilation des bâtiments

- Ventilation. Conception et mise en œuvre. Prescription technique et recommandations pratiques. Éditions CSTB, 2019
- Rénovation : bien ventiler son logement - ADEME, 2022
- Ventilation mécanique par insufflation dans l'habitat individuel – Rapport final COSTIC, mars 2017 (gratuit)
- Protocole de diagnostic des installations de ventilation mécanique résidentielles. PROMEVENT. et Guide ADEME, octobre 2016 (gratuit)
- Guide d'accompagnement du protocole PROMEVENT, 2016 (gratuit)
- Ventilation des bâtiments existants – Préconisations pour améliorer les performances des installations – Guide pratique. Air H, ADEME, Allie'air, CETIAT, PBC. 2007. (gratuit)
- Diagnostic des installations de ventilation dans les bâtiments résidentiels et tertiaires – Guide pratique DIAGVENT – CETIAT – PBC, 2005 (gratuit)
- Ventilation des bâtiments : réhabilitation dans l'habitat collectif – Guide bâtiment et santé – CSTB, 2003
- Ventilation performante dans les écoles – Guide conception – CETIAT, 2001 (gratuit)
- Guide pratique sur la modulation des débits de ventilation – CETIAT, 2000 (gratuit)

Liens utiles

Autorité de sûreté nucléaire (ASN)
https://www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/Le-radon

Liste des organismes agréés pour la mesure du radon : https://www.asn.fr/espace-professionnels/agrements-controles-et-mesures/listes-des-agrements-d-organismes#listes-des-agrements-d-organismes

Ministère chargé de la santé
https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/radon

Ministère chargé du travail
https://travail-emploi.gouv.fr/sante-au-travail/prevention-des-risques-pour-la-sante-au-travail/article/radon

Ministère chargé de l'écologie
https://www.ecologie.gouv.fr/habitat-contenant-du-radon

Géorisques
https://www.georisques.gouv.fr/risques/radon

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)
https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/Pages/Le-radon.aspx

Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)
http://extranet.cstb.fr/sites/radon

Cerema
https://www.cerema.fr/fr/mots-cles/radon

Plateforme Jurad-Bat
https://jurad-bat.net/

Organisation mondiale de la santé (OMS)
https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health

Association européenne du radon (ERA)
http://radoneurope.org

AUTORITÉ
DE SÛRETÉ
NUCLÉAIRE

15 rue Louis Lejeune

92120 Montrouge

Tél : 33 (0)1 46 16 40 00

www.asn.fr

dumkit-graphic.com · Illustration de couverture : © La-fabrique-créative / Bruno Bourgeois