

Radon

Manuel pratique



Remarques sur le Manuel pratique radon

Le Manuel pratique radon offre des instructions sur les mesures de construction, techniques et organisationnelles à prendre pour réduire la concentration en radon. Outre les aspects théoriques, il présente et décrit en détail des exemples pratiques de mesures de protection préventives et d'assainissements radon. Le manuel est principalement destiné aux spécialistes de la construction dans le domaine du conseil, de la planification et de l'exécution ainsi qu'aux gérances d'immeubles et aux propriétaires immobiliers.

Le Manuel pratique radon constitue un complément aux [lignes directrices sur le radon](#) et aux [recommandations pour les bâtiments neufs](#). **En cas d'informations contradictoires, ce sont toujours les lignes directrices sur le radon et les recommandations de l'OFSP qui prévalent.**

Le Manuel pratique radon peut être commandé au format papier en trois langues (allemand, français, italien) sous le lien suivant :
https://faktor.ch/de_CH



Radon

Manuel pratique

Série d'articles «Technique» ■ Faktor Verlag

Impressum

Radon – Manuel pratique

1^{re} édition, janvier 2018

Éditeur : Office fédéral de la santé publique
OFSP, Berne

Coéditeur : Société suisse des ingénieurs et
des architectes SIA et Société suisse des in-
génieurs en technique du bâtiment (SICC)
ISBN : 978-3-905711-46-2

Groupe de suivi

Section Risques radiologiques (OFSP),
Franco Fregnan et Falk Dorusch (Radon-
fachstelle Deutschschweiz, FHNW)

Auteurs

Othmar Humm, Morris Breunig, Leonid
Leiva, Tünde Kirstein, Christine Sidler

Lectorat spécialisé

Franco Fregnan, Falk Dorusch und Antoine
Geiser, Radonfachstelle Deutschschweiz,
FHNW; Stefan Schafflützel, BauBioLogo
GmbH; Marco Ghielmetti, Ingenieur- und
Planungsbüro Marco Ghielmetti

Diffusion

Faktor Verlag, 8005 Zurich
info@faktor.ch, www.faktor.ch

Sources d'images

■ «Radonschutzmassnahmen – Planungs-
hilfe für Neu- und Bestandsbauten»,
Herausgeber : Sächsisches Staatsministerium
für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL),
Conception : Michael Reiter, 2016
■ «Radon : Vorsorgemassnahmen bei Neu-
bauten», Éditeurs : Services spécialisés en ra-
don d'Autriche, de Suisse, d'Allemagne du
sud et du Tyrol du sud, 2012

Exemples de projets

■ Radonfachstelle Deutschschweiz, Fach-
hochschule Nordwestschweiz, Institut
Energie am Bau, Franco Fregnan, Falk
Dorusch, Antoine Geiser
■ Centro competenza radon, SUPSI, Scuola
Universitaria della Svizzera Italiana, Marcus
Hoffmann und Luca Pampuri
■ Joëlle Goyette Pernot, Professeure à la
Haute école d'ingénierie et d'architecture de
Fribourg, institut Transform et déléguée
radon de l'OFSP pour la Suisse romande
■ Kantonales Laboratorium Basel-Stadt,
Dr. Markus Zehringer
■ Canton des Grisons, Amt für Lebensmit-
telsicherheit und Tiergesundheit,
Roland Fiechter
■ Canton de Soleure, Amt für Umwelt,
Fachstelle Gefahrstoffe, Werner Friedli
■ Bauart, Yorick Ringeisen
■ Binker Materialschutz GmbH,
Dr. Gerhard Binker
■ Dr. Baumer SA
■ Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH,
Jürg Vögeli
■ Hynatec, Dr. Daniel Oldenziel
■ Miller & Maranta AG, Harald Schmidt
■ Stop-Radon, Dr. Robert Gaisch
■ Truffer Ingenieurberatung AG,
Philipp Truffer
■ Rolf Wild, Bauingenieur

Contenu

Bases	7
1.1 Qu'est-ce que le radon?	7
1.2 Effets du radon sur l'homme	8
1.3 Valeurs légales de la concentration de radon	9
1.4 Mesure du radon	10
1.5 Présence de radon en Suisse	11
1.6 Le radon dans les bâtiments	12
1.7 Interlocuteurs	13
1.8 Radon : les dix défauts les plus fréquents	14
 Protection contre le radon dans le processus de planification	 17
2.1 Approche globale	17
2.2 Prévention dans les nouvelles constructions	18
2.3 Protection pour les bâtiments existants	20
 Protection contre le radon dans la conception du bâtiment	 21
3.1 Aperçu	21
3.2 Choix de l'emplacement	22
3.3 Planification de l'utilisation des locaux	22
3.4 Planification de l'enveloppe et de la structure	22
 Création de barrières anti-radon	 25
4.1 Aperçu	25
4.2 Couche d'étanchéité en contact avec le terrain	27
4.3 Étanchement des passages, fissures, joints sur les éléments de construction en contact avec le terrain	33
4.4 Étanchement de portes, trappes, couvercles et autres	36
4.5 Étanchéité intérieure	37
 Protection contre le radon par guidage des flux d'air	 39
5.1 Aperçu des mesures de protection	39
5.2 Éviter les dépressions	42
5.3 Créer de la surpression	44
5.4 Initier la circulation d'air	45
5.5 Mise en dépression du sol situé sous le bâtiment	46
 Exemples	 51
6.1 Aperçu	51
6.2 Bâtiments existants	53
6.3 Nouvelles constructions	103
 Annexe	 113

La santé en tant que critère de planification

En Suisse, le radon représente l'une des principales sources de rayonnements ionisants (radioactivité) pour la population en général. Selon les études épidémiologiques, ce gaz constitue, après le tabac, la cause la plus fréquente du cancer du poumon. L'Office fédéral de la santé publique (OFSP) estime que le radon entraîne 200 à 300 décès par an en Suisse.

Avec l'entrée en vigueur en 1994 de l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP), la protection contre le radon est intégrée dans la législation nationale. Des valeurs limites et directrices de concentration en radon y sont fixées pour les locaux d'habitation et professionnels. Dans le cadre de la révision de l'ordonnance sur la radioprotection, le niveau de référence du radon est désormais fixé à 300 Bq/m³ en Suisse, sur la base des nouvelles connaissances scientifiques. Une nouvelle valeur de seuil a été fixée à 1000 Bq/m³ pour les postes de travail exposés au radon. Selon ces nouvelles dispositions, l'ensemble du territoire de la Suisse doit être considéré comme zone à risque.

Le plan d'action Radon 2012–2020 du Conseil fédéral constitue la stratégie nationale qui permet de traiter cette situation nouvelle. Les spécialistes de la construction, les maîtres d'ouvrage et les propriétaires de bâtiments sont confrontés à des défis particulièrement importants. La protection contre le radon devra davantage être prise en compte dans la planification de nouvelles constructions.

**Section Risques radiologiques
Office fédéral de la santé publique**

Des solutions techniques nombreuses et variées

La majeure partie de notre parc immobilier ne présente pas la qualité d'une nouvelle construction. Le risque de pollution grave de l'air ambiant par le radon est d'autant plus élevé. C'est surtout le cas dans des lieux présentant une forte concentration de radon dans l'air du terrain, qui sont nombreux en Suisse. L'étanchement étendu des sols et des murs en contact avec le terrain est impossible pour de nombreux bâtiments, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. En complément de mesures de protection du bâti, il est possible d'utiliser des installations techniques pour le renouvellement ou l'évacuation de l'air, ou pour la ventilation de l'air contaminé.

Des mesures de protection convectives dans les bâtiments pollués par le radon sont non seulement plus économiques que l'assainissement de grandes surfaces mais présentent aussi des avantages opérationnels du fait des variations en matière de performance. En effet, l'exploitation des équipements est menée en fonction de la concentration de radon, au cas par cas en se basant sur les valeurs mesurées. En outre, les installations techniques, sous forme de modules, sont faciles à rééquiper et à compléter. Cette option présente un meilleur potentiel au regard des grands besoins de renouvellements et du retard accumulé dans les rénovations. Nous sommes prêts à intervenir.

Elmar Fischer
Président de la Société suisse des ingénieurs en technique du bâtiment (SICC)

La réalisation intégrale est économique

Une protection systématique contre le radon implique une réalisation intégrale. En effet, de simples mesures supplémentaires doivent, le cas échéant, être justifiées lors d'assainissements urgents de bâtiments anciens. Par contre, dans un nouveau bâtiment et lors de rénovations totales, la protection contre la radioactivité dans l'air ambiant fait partie intégrante des mesures de construction générales courantes. Pour cette approche, la norme SIA 180 «Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments» constitue un exemple qui a fait ses preuves sur le plan pratique : la qualité physique de l'enveloppe d'un bâtiment réalisé dans les normes garantit un climat agréable et sain et protège la construction de dommages divers. L'étanchéité à l'air selon la norme SIA 180 permet d'empêcher les infiltrations d'air chargé en radon ou de les limiter à un stade non critique.

La protection contre le radon est réalisable sur le plan technique. Les architectes et les techniciens en bâtiment devraient donc se focaliser de manière accrue sur l'efficacité des coûts et des matériaux. Ces dispositions sont réalisables ensemble de manière réfléchie. Exemple typique : les mesures architecturales et techniques visant à économiser l'énergie et à améliorer la protection contre le radon. Les solutions existent, reste à les mettre en œuvre.

Stefan Cadosch
Président de la Société suisse des
ingénieurs et des architectes (SIA)

Hunziker Areal à Zurich
(Niklaus Spörri pour pool
Architekten).



Chapitre 1

Bases

1.1 Qu'est-ce que le radon?

Le radon est un gaz rare radioactif d'origine naturelle qui s'infiltré dans les bâtiments avant tout depuis le sol. Même en forte concentration, le gaz radon est invisible, inodore et insipide. Il est issu de la désintégration du radium, lui-même provenant de la désintégration de l'uranium. Du fait que ce dernier est présent naturellement dans les roches et les sols et qu'il se désintègre très lentement, les terrains contenant de l'uranium constituent une source de radon permanente, pratiquement inépuisable.

Comme le radon appartient à la famille des gaz rares, il ne se lie généralement pas à d'autres atomes. Le gaz gagne la surface plus ou moins facilement, en fonction de la qualité du sol et d'autres facteurs – comme par exemple les conditions météorologiques. Présent dans l'air du sol, il s'infiltré dans les bâtiments principalement par les défauts d'étanchéité de leur enveloppe. Dans les espaces clos, la concentration de radon peut augmenter si fortement que le rayonnement s'avère dangereux pour la santé.

Le radon a (avant tout) des effets indirects sur l'homme. S'il est inhalé, le gaz est pratiquement totalement expiré. Toutefois, les produits radioactifs issus de la désintégration du radon (polonium, bismuth, plomb, appelés produits de filiation), qui ne sont pas gazeux, peuvent se nicher dans les voies respiratoires, les bronches et les poumons. Là, ils émettent un rayonnement ionisant (alpha), qui peut irradier directement les tissus environnants. Les lésions produites peuvent conduire à un cancer du poumon qui apparaît généralement des années, voire des dé-

cennies plus tard. La dose absorbée due à la radiation dépend très fortement du facteur d'équilibre, rapport entre la concentration radioactive des produits de filiation et celle du radon dans l'air. Plus les produits de filiation s'attachent aux plafonds et aux parois (phénomène de plate-out) et plus le facteur d'équilibre est bas. A l'inverse, lorsque la fixation des produits de filiation aux particules en suspension (aérosols, particules de poussière, etc.) est importante, le facteur d'équilibre est élevé, conduisant à une déposition importante dans les poumons. Lorsque la qualité de l'air est bonne, c'est-à-dire débarrassée des particules en suspension, par ex. grâce à un bon renouvellement d'air, le facteur d'équilibre est faible et la dose aux poumons réduite.

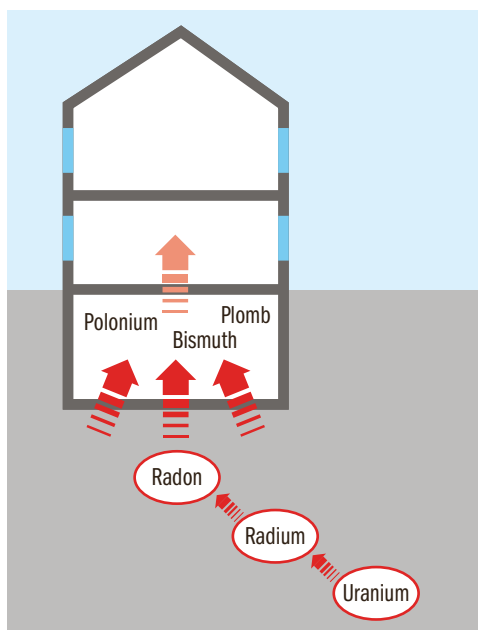


Figure 1.1 : Le radon est issu de la désintégration de l'uranium. Les produits de filiation comme le polonium, le bismuth et le plomb sont radioactifs; ils peuvent s'introduire dans les poumons et les endommager (source : OFSP).

1.2 Effets du radon sur l'homme

On devrait toujours viser la concentration de radon la plus faible possible dans les bâtiments, car le risque de développer un cancer du poumon lié à une exposition au radon subsiste même en cas de faible concentration.

Figure 1.2: Doses moyennes de rayonnement reçues par la population suisse. Conformément à la révision de l'évaluation faite par la Commission internationale de protection radiologique CIPR (CIPR 115, 2010), l'exposition au radon est sensiblement revue à la hausse (CIPR 65). La valeur prise en compte lors du diagnostic médical a quelque peu augmenté selon l'enquête intermédiaire de 2013. (source: Rapport annuel Radioprotection OFSP, 2016).

Le radon et ses produits de filiation constituent la principale source d'exposition de la population suisse au rayonnement ionisant (ill. 1.2). Des études épidémiologiques menées en Europe, en Amérique du Nord et en Chine ont montré que le radon est, après le tabagisme, une cause importante de cancer du poumon. D'après l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le radon est responsable, selon les pays, de 3 à 14 % de tous les cas de cancers du poumon. L'Office fédéral de la santé publique (OFSP) estime que sur les près de 3000 décès dus au cancer du poumon chaque année en Suisse, 200 à 300 sont imputables au radon. Le risque de développer un cancer du poumon est proportionnel à la concentration de radon dans l'air ambiant et à la durée d'exposition. Ainsi il augmente de manière linéaire en fonction de l'exposition au radon (concentration multipliée par la durée). Selon des études épidémiologiques, le risque relatif de développer un cancer du poumon augmente de 16 % par 100 Bq/m³. Si la concentration de radon est de 300 Bq/m³ (niveau de référence actuel), le risque relatif de développer un cancer du poumon s'élève de près de 48 %. Cela correspond à une augmentation du nombre de décès chez les non-fumeurs de près de 4 à 6 pour 1000. Chez les fumeurs (1 paquet par jour), le nombre de décès passe de 100 à 150 cas pour 1000. On ne connaît pas de seuil en dessous duquel le radon serait inoffensif. Par consé-

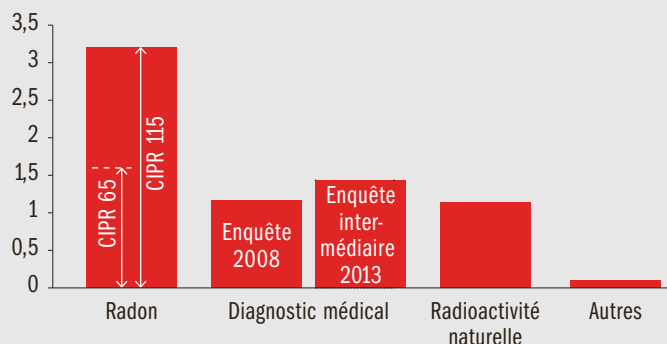
quent, on devrait toujours viser la concentration de radon la plus faible possible dans les bâtiments, car le risque de développer un cancer du poumon lié à une exposition au radon subsiste même en cas de faible concentration.

Le radon est ainsi l'une des substances cancérogènes les plus dangereuses dans les habitations. **Cependant, même en cas de forte concentration, il ne présente pas d'effets immédiats, comme par exemple des nausées, des troubles respiratoires ou des accès de transpiration. De même, on n'a pas encore pu démontrer de lien éventuel entre une exposition au radon et d'autres maladies (comme la leucémie infantile). Le radon ne provoque pas non plus de maladies héréditaires.**

Dans l'air extérieur, le radon représente un danger extrêmement faible, parce que les concentrations sont très basses. De même, les recherches menées en Suisse sur les matériaux de construction n'ont pas démontré qu'ils étaient une source pertinente de radon. Il existe cependant de rares cas où les matériaux ou équipements libèrent du radon, par ex. les surfaces en granit, les revêtements de sol et de paroi en pierre naturelle, les scories de remplissage sous les planchers ou encore les collections de minéraux.

Si le gaz radon peut également se retrouver dissous dans l'eau et pénétrer dans un bâtiment via l'alimentation en eau, l'utilisation d'eau pour la cuisine, le lavage ou le bain n'augmente généralement pas la concentration de radon dans l'air ambiant. L'ingestion de radon par l'eau potable ou des aliments conservés à la cave n'a pas d'effet notable sur la santé.

Doses moyennes de rayonnement reçues par la population suisse (mSv/an)



1.3 Valeurs légales de la concentration de radon

Les valeurs caractéristiques de la concentration de radon sont fixées depuis 1994 dans l'ordonnance fédérale sur la radioprotection (ORaP). Selon des études épidémiologiques menées dans plusieurs pays et les dernières découvertes scientifiques, l'OMS recommande un niveau de référence de 100 à 300 Bq/m³ pour le radon. Ainsi la valeur limite sur la concentration moyenne du radon dans l'air de 1'000 Bq/m³ dans l'ancienne ORaP a été remplacée par un niveau de référence de 300 Bq/m³ dans la nouvelle ordonnance en vigueur depuis le 1er janvier 2018, niveau applicable aux locaux dans lesquels les personnes séjournent régulièrement plusieurs heures par jour. **À l'avenir, l'exposition au radon devra être mieux surveillée dans toute la Suisse au moment de la construction.** Sur les plus de 150 000 bâtiments mesurés en Suisse, près de 12 % dépassent la nouvelle valeur de référence de 300 Bq/m³. Pour l'ensemble du parc immobilier suisse, il faut compter désormais avec 50 000 à 100 000 bâtiments nécessitant un assainissement.

Selon l'ORaP révisée, le canton ou la commune rend le propriétaire ou le maître d'ouvrage attentif aux exigences de l'ORaP concernant la protection contre le radon dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire pour les nouveaux bâtiments et lors de transformations. Si le niveau de référence est dépassé, le propriétaire du bâtiment prend les mesures d'assainissement nécessaires à ses frais. Des recommandations de l'OFSP et des cantons concernant l'urgence des mesures d'assainissement lui sont remises. Si le propriétaire du bâtiment demeure inactif, le canton peut ordonner l'assainissement. En cas de valeurs supérieures à 300 Bq/m³ dans une école et un jardin d'enfants, le canton ordonne l'assainissement dans un délai maximal de trois ans. Dans le cadre de la révision de l'ORaP, la valeur limite de 3000 Bq/m³ aux postes de travail a été remplacée par une valeur de seuil de 1000 Bq/m³. En cas de dépasse-

ment de cette valeur de seuil, l'entreprise est tenue de déterminer la dose efficace annuelle due au radon reçue par les personnes exposées. Elle est établie à partir de la concentration de radon dans l'air et de la durée de séjour sur le lieu de travail, et est indiquée en millisieverts (mSv) par an. Si la dose efficace d'une personne exposée à son lieu de travail dépasse 10 mSv par an, l'entreprise est tenue de prendre des mesures. Si la dose efficace ne peut pas être abaissée sous les 10 mSv par an, la personne est considérée comme professionnellement exposée aux radiations et l'entreprise soumise à autorisation.

Minergie-Eco

Les exigences sont encore plus strictes pour le standard de construction Minergie-Eco : l'objectif à atteindre est de 100 Bq/m³ pour les nouvelles constructions et de 300 Bq/m³ pour les bâtiments assainis. Pour les modernisations, le respect de ces valeurs doit être démontré au moyen de mesures, celles-ci étant facultatives pour les nouvelles constructions. Les éventuelles mesures à prendre sont cependant du ressort des responsables cantonaux du radon.

Niveau de référence du radon

Le niveau de référence du radon fixé à 300 Bq/m³ s'applique aux locaux dans lesquels des personnes séjournent régulièrement plusieurs heures par jour.

Valeur de seuil

Sont considérés comme exposés au radon les postes de travail pour lesquels la valeur de seuil de 1000 Bq/m³ est dépassée ou est présumée dépassée par ex. dans les installations souterraines, les mines, les cavernes ou les installations d'alimentation en eau.

Tableau 1.1: Comparaison des valeurs légales du radon.

Ordonnance 2018		
Types de locaux	Niveau de référence	Valeur de seuil
Locaux dans lesquels des personnes séjournent régulièrement plusieurs heures par jour	300 Bq/m ³	–
Postes de travail exposés au radon	–	1000 Bq/m ³
Ordonnance 1994		
Types de locaux	Valeur directrice	Valeur limite
Locaux d'habitation et de séjour	400 Bq/m ³	1000 Bq/m ³
Jardins d'enfants, écoles	400 Bq/m ³	1000 Bq/m ³
Postes de travail	400 Bq/m ³	3000 Bq/m ³

1.4 Mesure du radon

La concentration de radon dans l'air, exprimée en becquerels par mètre cube (Bq/m^3) se mesure à l'aide de dosimètres simples et économiques. Ils peuvent être obtenus auprès de services de mesure agréés. Ils doivent leur être renvoyés après leur exposition, d'une durée minimale de 90 jours, pour l'évaluation des résultats. Mesurer le radon à l'aide d'un dosimètre coûte entre 70 et 100 francs.

Une variante plus coûteuse consiste à effectuer ces mesures à l'aide de dosimètres électroniques. Ceux-ci coûtent entre 300 et 400 francs et indiquent la concentration en radon en temps réel. Cela permet de surveiller cette concentration de manière continue. On utilise souvent des appareils de mesure en continu pour le contrôle et l'optimisation des assainissements.

La concentration de radon à l'intérieur d'une pièce peut fluctuer fortement au cours du temps. C'est pourquoi les valeurs moyennes enregistrées sur une durée plus longue, soit sur trois mois au moins, sont les seuls moyens de décision fiables. Cette règle vaut pour les appareils de mesure passifs et électroniques. Plus la mesure dure longtemps, plus le résultat sera fiable.

Toutes les mesures effectuées par des services agréés en Suisse sont réalisées selon un protocole de mesure prédéfini, puis enregis-

trées dans la base de données du radon de la Confédération.

Une mesure agréée doit durer au minimum 90 jours et être réalisée pendant la période de chauffage des bâtiments. Dans les maisons individuelles, elle devrait avoir lieu de préférence dans une pièce habitée en contact avec le terrain. Dans les immeubles collectifs, elle doit être menée dans les étages inférieurs. Par unité d'habitation (ou maison individuelle), il faut si possible mesurer au minimum deux pièces distinctes dans lesquelles le séjour est prolongé (salon, chambre à coucher).

Les lieux soumis à de forts courants d'air ou à une forte humidité (cuisine, salle de bain) ne conviennent pas comme lieux de mesure. Il est recommandé d'effectuer une mesure supplémentaire dans le sous-sol ou dans un espace à haut potentiel en radon (par ex. une cave dotée d'un sol naturel). Les endroits à mesurer doivent remplir les critères suivants :

- Le dosimètre est placé à hauteur du visage (par ex. sur un meuble) et à l'air ambiant (pas dans une armoire ni dans un tiroir).
- Une distance d'un mètre au minimum des fenêtres, des portes du bâtiment et de celles du jardin est à respecter.
- Il faut éviter l'exposition au rayonnement solaire direct et la proximité d'une source de chaleur (par ex. radiateur, cheminée, téléviseur).
- La mesure devrait être effectuée durant une période d'utilisation courante des locaux. Le nombre de jours successifs au cours desquels le lieu de mesure n'est pas habité ne devrait pas excéder 20 % de la durée totale de la mesure.
- Les conditions de mesure ne doivent pas être modifiées pendant la durée de la mesure ; les instruments ne doivent pas être déplacés.

Figure 1.3: Les dosimètres à radon sont plus petits qu'un pot de yaourt (source: OFSP).



1.5 Présence de radon en Suisse

La concentration moyenne de radon dans les bâtiments habités en Suisse est d'environ 75 Bq/m^3 . Des valeurs dépassant $10\,000 \text{ Bq/m}^3$ ont été mesurées de manière sporadique. Des concentrations aussi élevées se retrouvent surtout dans les Alpes et dans l'Arc jurassien, mais on trouve également quelques bâtiments isolés hautement pollués sur le Plateau, car **la concentration de radon peut fortement varier au niveau local**. La carte du radon de la Confédération (map.geo.admin.ch) donne une première indication et permet de voir s'il faut compter avec une concentration dépassant 300 Bq/m^3 dans l'air ambiant des bâtiments. Lorsque la probabilité de dépassement est supérieure à 10 % en un point de la carte, on peut considérer que le potentiel de radon est élevé.

Avec la nouvelle estimation du risque du radon, la plus grande partie de l'exposition moyenne aux radiations de la population en Suisse revient aujourd'hui au radon. Le nouveau niveau de référence rend caduque la répartition en zones à concentrations accrues ou non en radon, car des dépassements du niveau de référence de 300 Bq/m^3 sont possibles dans toutes les communes suisses. Tout le territoire est désormais concerné par la problématique du radon. C'est pourquoi les propriétaires de bâtiments, les maîtres d'ouvrage, les architectes et les planificateurs doivent y accorder une grande attention.

Tout le territoire suisse est désormais concerné par la problématique du radon. C'est pourquoi les propriétaires de bâtiments, les maîtres d'ouvrage, les architectes et les planificateurs doivent y accorder une grande attention.

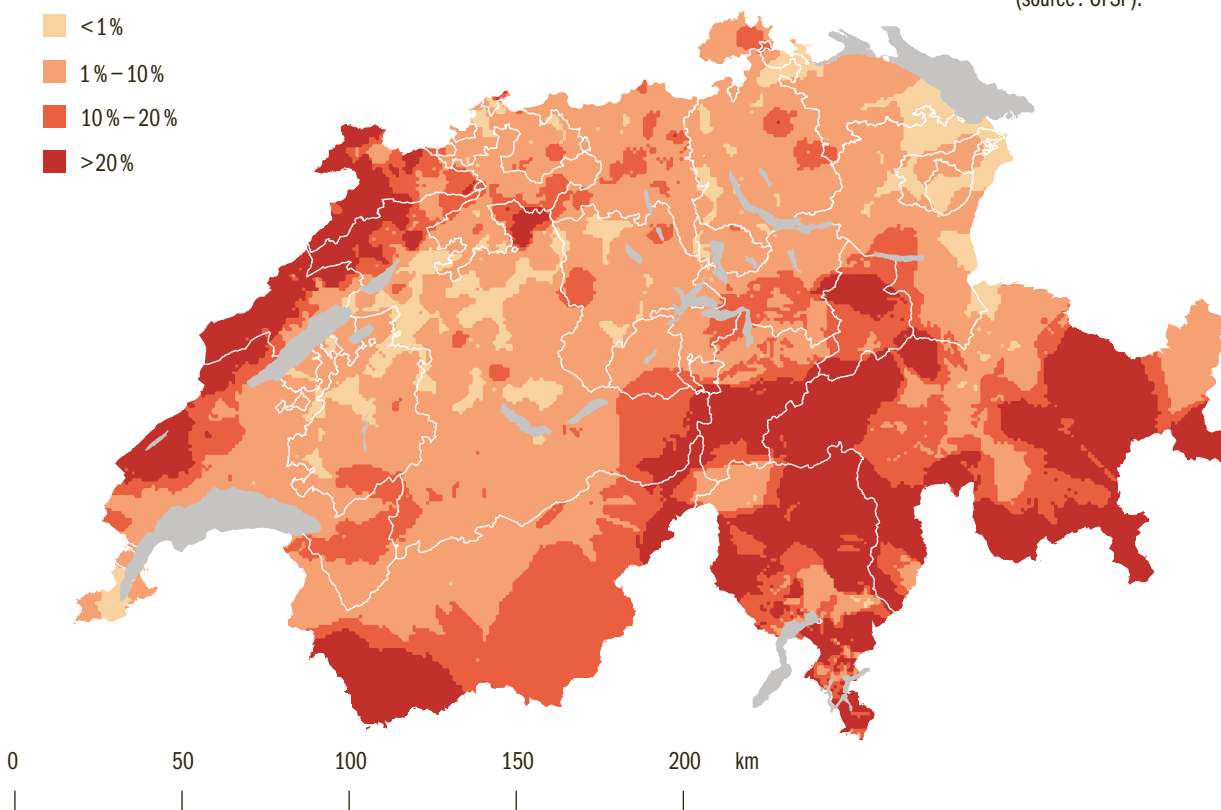


Figure 1.4: La carte du radon décrit la probabilité de voir un lieu soumis à une concentration de radon dépassant 300 Bq/m^3 dans l'air ambiant des bâtiments (source: OFSP).

1.6 Le radon dans les bâtiments

Le radon présent dans l'air intérieur des bâtiments provient principalement du sol. Le gaz se propage depuis le substrat rocheux vers la surface du sol. Plus le terrain est perméable, plus le radon peut facilement parvenir à la surface et s'infiltrer dans les constructions. Les terrains accidentés ou caillouteux se révèlent très perméables, alors que les couches d'argile ne laissent pratiquement rien passer. C'est pourquoi le potentiel de radon peut varier localement de façon notable. Un bâtiment peut ainsi être largement protégé du radon, parce qu'il repose sur une couche d'argile épaisse étanche au radon – même si la concentration de radon est relativement élevée dans le terrain sous-jacent. À l'inverse, de faibles concentrations de radon dans le terrain combinées à une couche de sol perméable suffisent pour engendrer des situations critiques au niveau du radon dans l'air intérieur.

Le radon peut s'infiltrer à l'intérieur des bâtiments par deux voies : soit par **des défauts d'étanchéité et des ouvertures dans l'enveloppe du bâtiment**, soit par des éléments de construction en contact avec le terrain. Cette **diffusion** via les éléments de construction est cependant d'une importance mineure, car seules de faibles quantités de radon peuvent s'infiltrer de cette manière. Les défauts d'étanchéité dans l'enveloppe des bâtiments sont donc en règle générale la principale voie d'accès du radon. Les entrées possibles sont les caves en terre ou en gravier (sols naturels), les fondations filantes bétonnées après-coup (très fréquentes dans les maisons individuelles des années 1960 et 1970), les fissures ou les interstices dans les sols et les murs, ainsi que les passages de câbles et de conduites. Il est également nécessaire d'observer les écarts de pression, car ils permettent l'in-

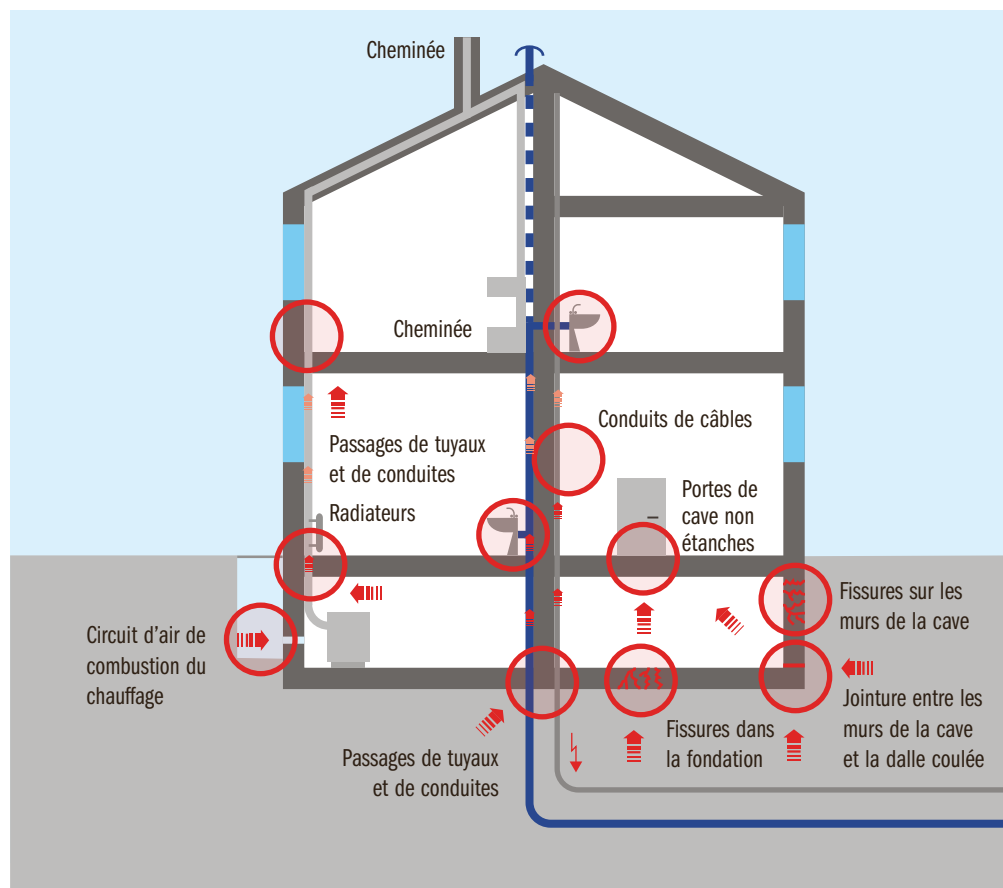


Figure 1.5: Voici comment le radon s'infiltré dans le bâtiment.

filtration du radon dans le bâtiment par convection. Il faut tout particulièrement insister sur «l'effet de cheminée» produit lorsque de l'air chaud monte dans la maison – réel moteur pour l'infiltration du radon. L'ascension de l'air chaud provoque une légère dépression dans la cave et les étages inférieurs, qui «aspire» littéralement l'air du sol riche en radon. Cet effet d'aspiration est plus important durant la période de chauffage que le reste de l'année, et peut être renforcé par les cheminées ou les ventilateurs. Les systèmes d'aération peuvent également favoriser l'infiltration de radon, par exemple par un équilibre insuffisant entre l'apport d'air et le débit d'air vicié (dépression), un capteur géothermique perméable ou l'emplacement inadapté d'une prise d'air au ras du sol.

Le gaz s'infiltre d'abord dans la cave et les étages inférieurs. De là, il se propage vers les étages supérieurs. La concentration diminue toutefois d'étage en étage. La plupart du temps, il ne faut plus compter avec des valeurs élevées à partir du deuxième étage.

Chaque bâtiment est un cas particulier en matière d'exposition au radon. Les recherches menées en Suisse ont montré que même deux maisons voisines construites de manière similaire peuvent présenter des valeurs de radon complètement différentes.

C'est pourquoi, sur la base des procédés de construction et de l'investigation du terrain, il n'est pas possible de prédire exactement la concentration de radon dans un bâtiment existant ou lors de la planification d'une nouvelle construction. De même, il n'existe pas d'approche générale valable pour localiser des bâtiments existants à concentration élevées de radon.

Seule une mesure peut fournir des indications sûres. La concentration de radon peut la plupart du temps être abaissée à l'aide de mesures de construction simples, tant dans les nouvelles constructions que dans les bâtiments existants. Les méthodes appropriées sont connues grâce à la documentation détaillée de nombreux assainissements réalisés en Suisse et à l'étranger (chapitre 6).

1.7 Interlocuteurs

En Suisse, chaque région linguistique dispose d'un service technique spécialisé sur le radon, service hébergé par une haute école et dirigé par un délégué en radon. Les trois services techniques régionaux garantissent le soutien professionnel des consultants en radon et organisent leur formation et leur formation continue (adresses en annexe, page 113). Ils mettent aussi leur expertise à disposition en cas d'assainissement et de mesures préventives.

Les responsables cantonaux du radon sont compétents pour l'exécution des mesures de protection contre le radon dans les locaux dans lesquels des personnes séjournent régulièrement plusieurs heures par jour ; ils peuvent fournir des renseignements sur la situation au niveau régional. La liste de ces interlocuteurs, ainsi que celles des consultant(e)s en radon et des services de mesure agréés sont disponibles sur le site internet de l'OFSP www.ch-radon.ch.

1.8 Radon : les dix défauts les plus fréquents

1. Les sols et les murs du sous-sol ne sont pas étanches : passages de câbles et de conduites dans le terrain, fissures dues à un affaissement.

Mesures appropriées : colmater les ouvertures ; installer des passages étanches au radon ; aérer ou ventiler le sous-sol au moyen d'un ventilateur. Page 27



De préférence en cas d'assainissement

2. Les parties de la construction séparant le sous-sol du rez-de-chaussée ne sont pas étanches : (portes menant à l'entrée de la cave, fissures et joints, passages de câbles et de conduites).

Mesures appropriées : Mesures appropriées : colmater les ouvertures (portes menant à la cave) ; installer des passages étanches au radon ; aérer le sous-sol au moyen d'un ventilateur. Page 33



De préférence en cas d'assainissement

3. Il n'y a pas de barrière au radon ou de membrane d'étanchéité entre le lit de graviers ou la couche de protection et la dalle (ou entre la dalle et le plancher de la cave).

Mesures appropriées : il est difficile de remédier à ce défaut ; installer ultérieurement une membrane étanche au radon à l'étage de la cave (sol et murs) ; aérer le sous-sol au moyen d'un ventilateur ; si possible, créer une dépression sous la dalle. Page 37



De préférence dans les nouvelles constructions

4. Le sol de la cave est en terre naturelle.

Mesures appropriées : installer une porte étanche au gaz ou une chape dans la cave en terre naturelle, le cas échéant avec une membrane étanche au radon placée côté terrain ; veiller à l'étanchéité des raccords aux murs de la cave. Combiner si possible cette méthode avec un drainage du radon sous la chape (et l'éventuelle membrane) ; si possible : créer une dépression sous le bâtiment. Page 27



De préférence en cas d'assainissement

5. Des sondes ou des capteurs géothermiques sont placés sous le bâtiment.

Mesures appropriées : placer l'embouchure d'une sonde géothermique vers l'extérieur et de l'extérieur vers le local technique ; colmater les entrées d'air ; aérer ou ventiler le sous-sol au moyen d'un ventilateur. Page 33



De préférence dans les nouvelles constructions

6. L'installation d'une ventilation dans la cuisine et la salle de bain/WC ou l'installation d'un chauffage produit une dépression qui aspire l'air riche en radon du sous-sol.

Mesures appropriées : aménager des ouvertures d'aération ; mettre en place un système de ventilation avec conduite d'insufflation et d'extraction d'air ou encore une installation d'amenée d'air frais ; installer un circuit d'air de combustion indépendant de l'air de la pièce en direction du chauffage du séjour. Page 42



**Assainissement
et nouvelles
constructions**

7. Le flux d'air vicié est nettement plus élevé que le flux d'air entrant, ce qui engendre une dépression dans les locaux de séjour et favorise l'aspiration de l'air riche en radon du sol.

Mesures appropriées : équilibrer le bilan de pressions en réglant le débit volumique du système de ventilation ; le flux entrant devrait dépasser l'air vicié de 5 % ; un contrôle à l'aide de mesures s'avère judicieux. Page 42



**De préférence dans les
nouvelles constructions**

8. Les prises d'air extérieur des systèmes de ventilation sont mal placées (par ex. aspiration d'air extérieur pollué via le puits de lumière d'une fenêtre à la cave).

Mesures appropriées : déplacer la prise d'air extérieur en rallongeant la conduite d'air extérieur ; utiliser des gaines conformes au cahier technique SIA 2023 ou à la norme SIA 382/5 (2018) et les placer à 1,5 m au-dessus du sol au minimum (maison individuelle : 0,7 m). Page 45



**De préférence dans les
nouvelles constructions**

9. Les gaines techniques non hermétiques, les anciennes cheminées, les conduites vides favorisent l'ascension de l'air de la cave.

Mesures appropriées : identifier et étanchéifier les points d'entrée et de sortie d'air dans les gaines et les cavités ; priorité à la protection contre la convection. Page 33 et page 36



**De préférence en cas
d'assainissement**

10. L'air riche en radon s'infiltre par des cavités reliées sur une longue distance entre les cloisons.

Mesures appropriées : colmater les défauts d'étanchéité des cavités conductrices d'air à l'aide d'un film protecteur empêchant la convection, le cas échéant en parallèle avec une membrane étanche au radon. Page 36



**De préférence en cas
d'assainissement**

Chapitre 2

Protection contre le radon dans le processus de planification

2.1 Approche globale

La norme SIA 180 «Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments» prend en compte la protection contre le radon en tant qu'aspect de la qualité de l'air dans les locaux. La norme prévoit que les locaux dans lesquels des personnes séjournent régulièrement durant plusieurs heures doivent être conçus de manière suffisamment étanche à l'eau, à la vapeur d'eau et au radon. **Les méthodes préventives en matière de protection contre le radon appliquées dans les nouvelles constructions sont en général moins onéreuses que les dispositions prises sur des bâtiments existants.** Dès lors, une approche globale est particulièrement indiquée : s'agis-

sant d'une nouvelle construction, la planification et la conception du projet – tout comme la planification de la mise en œuvre – devraient s'effectuer dès le début notamment sous l'angle de la protection contre le radon au même titre que la protection thermique, la protection contre les incendies et la protection contre le bruit qui font déjà partie intégrante des processus de planification et de construction. Il est recommandé de ne pas agir sur des éléments de construction déjà terminés. Les méthodes globales pouvant être réalisées de manière plus cohérente, elles sont en règle générale beaucoup plus efficaces et souvent également meilleur marché.

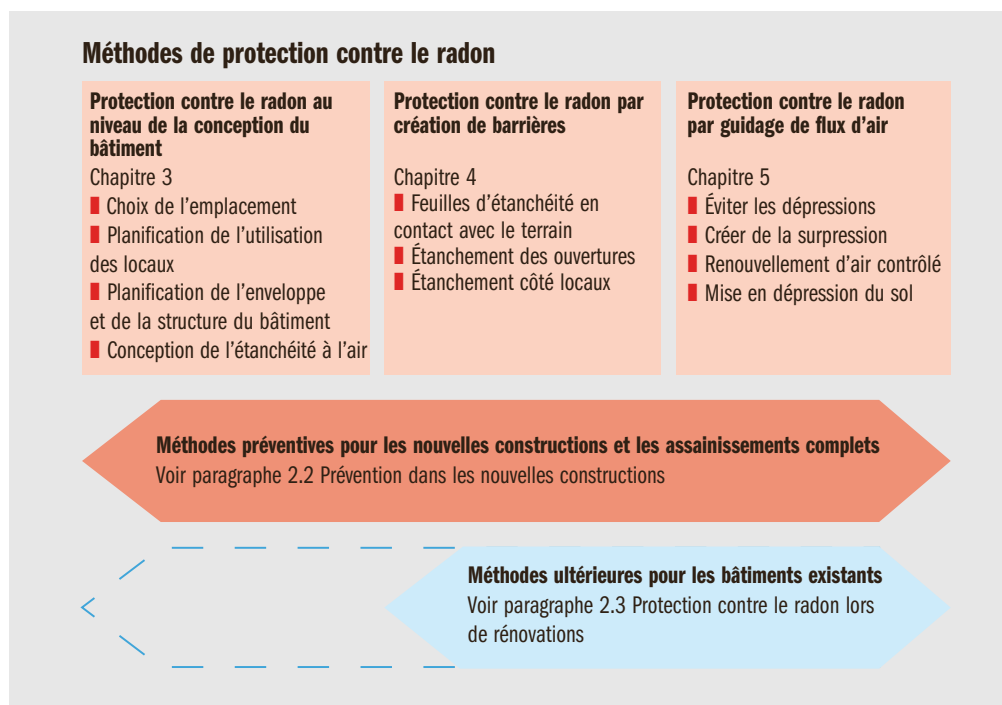


Figure 2.1 : Méthodes de protection contre le radon.

2.2 Prévention dans les nouvelles constructions

Les méthodes appliquées pour éviter des concentrations accrues de radon dans les bâtiments devraient être adaptées à la charge potentielle. Des séries de méthodes appropriées peuvent être évaluées par une simple estimation (Tableau 2.1). L'élément central est constitué par la charge potentielle due au contact entre le bâtiment et le terrain, la nature du sous-sol (terrain situé sous le bâtiment) étant le paramètre le plus important. La création de barrières constitue la première priorité (chapitre 4). Le risque en radon est en effet d'autant plus faible que l'enveloppe du bâtiment est étanche par rapport au terrain. Les valeurs limites et les valeurs cibles en matière de perméabilité à l'air de la surface enveloppante figurent au paragraphe 3.5 de la norme SIA 180 «Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments». Le critère est constitué par le débit volumique de fuite horaire concernant la surface enveloppante du local ou de la suite de locaux lorsque la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur est de 50 Pa (Tableau 2.2). Souvent ce paramètre ne peut pas être déterminé en ce qui concerne les locaux du sous-sol. Il est toutefois possible de déceler des points faibles dans l'accès à la cave ou les plafonds.

Méthodes préventives de base – Enveloppe du bâtiment et bilan d'air équilibré

Ces méthodes visent à une mise en œuvre systématique des exigences de la norme SIA 180 en ce qui concerne l'étanchéité à l'air de l'enveloppe des bâtiments et à la réduction

de la dépression. Le choix des méthodes dépend de la nature de la construction et du risque en matière de radon. Souvent l'objectif peut être atteint par une combinaison de méthodes :

- une attention particulière est accordée aux éléments de l'enveloppe du bâtiment situés dans le terrain ;
- radier d'un seul tenant en béton de type A selon SN EN 206 (classe d'exposition XC2) ;
- passages étanches pour les conduites traversant des éléments en contact avec le terrain : têtes de conduites, eaux usées, sondes de pompes à chaleur, etc. ;
- les sondes de pompes à chaleur doivent être décalées latéralement à une certaine distance du bâtiment et ne pas passer sous le radier ;
- étancher les ouvertures dans la dalle de fondation (p. ex., les passages de canalisation) ;
- veiller à l'étanchéité à l'air des tuyaux et des conduits, y compris ceux des échangeurs géothermiques air-sol ;
- dans les bâtiments équipés d'installations d'évacuation d'air : création d'ouvertures pour l'amenée d'air frais afin de réduire la dépression dans les locaux d'habitation et les salles d'eau ;
- alimentation en air de combustion indépendante de l'air ambiant (installation d'une conduite séparée) pour les installations de chauffage pour locaux d'habitation ;
- dans les bâtiments comportant une installation d'évacuation de l'air vicié des zones

Tableau 2.1 : Séries de méthodes en fonction de la situation des locaux.

Estimation du risque en radon pour un emplacement donné

par consultation de la carte du radon (map.geo.admin.ch) ainsi que du responsable cantonal du radon. La liste est publiée sur le site www.ch-radon.ch.

Risque en radon d'origine géologique*	Léger à moyen	Moyen à élevé
Sans locaux de séjour en contact avec le terrain	Méthodes préventives de base	Méthodes préventives de base et méthodes préventives complémentaires
Avec des locaux de séjour en contact avec le terrain	Méthodes préventives de base et méthodes préventives complémentaires	Méthodes préventives de base, méthodes préventives complémentaires et méthodes préventives supplémentaires

*La carte du radon décrit la probabilité selon laquelle la concentration de radon dans l'air ambiant des bâtiments peut dépasser 300 Bq/m³ pour un emplacement donné. Une probabilité supérieure à 10 % peut être considérée comme un indice de risque moyen à élevé en matière de radon.

de cuisson des cuisines : introduction d'ouvertures pour l'amenée d'air frais ;

■ **drainage du radon** : une mesure très efficace est constituée par le drainage du radon sous le radier. Les feuilles d'étanchéité et les colmatages ponctuels s'usant au fur et à mesure des décennies, la question du drainage du radon se posera à un moment donné. C'est pourquoi il y a lieu d'examiner son infiltration préventive. Dans le cas des nouvelles constructions comportant des locaux d'habitation en contact avec le terrain ou une cave en sol naturel, des méthodes constructives préventives, comme l'installation de tuyaux de drainage, doivent être appliquées selon la norme SIA 180.

Méthodes préventives complémentaires – Enveloppe du bâtiment

Lorsqu'il existe un risque accru en radon pour des raisons géologiques et que la structure du bâtiment et l'utilisation des locaux augmentent en outre ce risque, l'application de méthodes complémentaires est indiquée. Citons notamment :

- mesures d'étanchement entre les locaux non habités en contact avec le terrain et les locaux d'habitation prévus pour une utilisation durable, p. ex. portes de caves étanches, puits pour conduites et canalisations étanches ;
- radier d'un seul tenant et murs en contact avec le terrain réalisés en béton étanche à l'eau de la classe 1 selon la norme SIA 272 (p. ex. cuve blanche) ;
- pose de feuilles d'étanchéité sous le radier et sur la surface externe des murs extérieurs en contact avec le terrain.

Méthodes préventives supplémentaires – Guidage des flux d'air

Sur des emplacements à risque en radon moyen à élevé et dans le cas de constructions comportant des locaux en contact avec le terrain dans lesquels des personnes séjournent régulièrement durant plusieurs heures par jour, des «méthodes préventives supplémentaires» devraient être prises en

considération, si possible de manière appropriée à chaque local :

- mise en dépression du sous-sol : drainage de radon ou puisard à radon ;
- mise en dépression des cavités et espaces intermédiaires résultant de la construction proches du terrain ;
- renouvellement de l'air contrôlé dans les locaux d'habitation et de travail.

Remarque au sujet du Tableau 2.2 : les valeurs limites et les valeurs cibles en matière d'étanchéité à l'air concernant la surface de l'enveloppe du bâtiment au sens de la norme SIA 180 n'ont qu'une signification limitée parce que des fuites isolées peuvent conduire à des dommages aux bâtiments et à des infiltrations de radon même lorsque les valeurs limites sont respectées. Pour les éléments de construction concernés de ce point de vue, les exigences posées à l'étanchéité à l'air doivent être définies ou ordonnées spécialement.

Tableau 2.2 : Valeurs limites et valeurs cibles du débit volumique de fuite en m^3 par heure et par m^2 de la surface de l'enveloppe du bâtiment lorsque la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur est de 50 Pa (source : norme SIA 180).

Valeurs en $\text{m}^3/\text{h m}^2$	Valeur limite		Valeur cible
	Aération par les fenêtres	Système de ventilation	
Nouvelles constructions	2,4	1,6	0,6
Transformations, rénovations	3,6	2,4	1,5

Constructions en béton étanche à l'eau

Les exigences relatives à la siccité d'un bâtiment ou de certains de ses éléments sont décrites dans la norme SIA 272 «Etanchéité et drainage d'ouvrages enterrés et souterrains» sur la base de quatre classes d'étanchéité allant de 1 (complètement sec) à 4 (humide à mouillé). La classe d'étanchéité à prendre en compte est déterminée d'entente entre le maître d'ouvrage et le planificateur, et consignée dans la convention d'utilisation. En Suisse, on choisit généralement la classe d'étanchéité 1 pour les nouvelles constructions afin d'assurer une flexibilité d'utilisation maximale.

Pour la classe d'étanchéité 1, la norme SIA 272 recommande un béton avec une faible résistance à la compression et une résistance élevée à la pénétration de l'eau, p. ex., un béton de la classe d'exposition XC2 selon la norme SIA 262, mais avec une profondeur de pénétration de l'eau $e_w \leq 50$ mm. Pour atteindre ce résultat, le volume des pores capillaires doit être inférieur à 20 %, ce qui est le cas lorsque le rapport eau/ciment (e/c) est égal à 0,5 au maximum. L'élément considéré doit avoir une forme régulière et une dimension d'au moins 250 mm.

Cela va également dans le sens de la protection contre le radon, car lorsque le rapport eau/ciment est égal à 0,5 ou lorsque la densité du béton est supérieure à 2350 kg/m^3 , la diffusion du radon est pratiquement nulle (D. P. Georgescu, UT Bucarest, 2012). L'armature, les fissures, les joints, les raccords et les passages sont, à côté de la qualité du béton, également significatifs pour l'étanchéité à l'eau de l'ensemble de la construction.

2.3 Protection pour les bâtiments existants

Mesures immédiates

L'urgence et l'ampleur des mesures d'assainissement dépendent de la concentration de radon mesurée dans les locaux de séjour. Lorsque la concentration en radon est supérieure à 300 Bq/m³, un **des mesures immédiates** doit être entrepris :

- aération accrue des locaux d'habitation principalement avant leur utilisation, p. ex. aérations ponctuelles ;
- si possible réaffectation des locaux contaminés, ce qui entraîne une durée de séjour réduite ;
- transformations provisoires ou simples au cas par cas ;
- en règle générale, démarche par étapes impliquant des contrôles d'efficacité fondés sur des mesures de concentration en radon.

Mesures de base

La création de barrières et la réduction de la dépression en sont les points importants :

- obturation ou étanchement des ouvertures et des fissures présentes dans les éléments de l'enveloppe du bâtiment en contact avec le terrain, en particulier des passages dans ces derniers (sol et murs) ;
- étanchement ou obturation des ouvertures entre les parties inhabitées (cave, vides sanitaires et cavités) et les locaux d'habitation et de travail ;
- équilibre de la pression entre l'intérieur et l'extérieur si possible par des ouvertures pour l'amenée d'air frais n'entraînant pas de dépression ;
- alimentation en air de combustion indépendante de l'air ambiant (installation d'une conduite séparée) pour les installations de chauffage pour locaux d'habitation.

Travaux complémentaires – Enveloppe du bâtiment

- Bétonnage ultérieur des sols, pièce par pièce, étanchés le long des murs.
- Introduction d'une feuille d'étanchéité sur la surface intérieure des sols et des murs extérieurs. Cette mesure est toutefois onéreuse et liée à des risques inhérents à la physique des bâtiments. En outre de telles feuilles sont fortement soumises au phénomène de vieillissement. Conclusion : à n'appliquer que sur de petites surfaces!

Travaux supplémentaires – Guidage des flux d'air

Ces méthodes servent à réduire la concentration de radon lorsque l'assainissement de base et les travaux complémentaires sont insuffisants :

- mise en place d'une aération douce ;
- installation mécanique d'amenée d'air pour créer une légère surpression dans les locaux d'habitation et de travail ;
- ventilation du sous-sol (cave) ou création d'une dépression dans le vide sanitaire ;
- ventilation d'un plancher intermédiaire ou des murs d'un local fortement contaminé ;
- mise en dépression du terrain (puisard à radon) ;
- lorsqu'un renouvellement complet de la structure sous le plancher est possible et économiquement acceptable, un système de drainage du radon entre en ligne de compte.

Jardins d'enfants et écoles

Si l'on constate que la valeur de référence de 300 Bq/m³ est dépassée dans une école ou un jardin d'enfants, le canton ordonne un assainissement par rapport au radon dans un délai de trois ans à partir de la constatation du dépassement.

	Bâtiments à forte concentration de radon (> 300 Bq/m ³)	Bâtiments à faible concentration de radon (< 300 Bq/m ³)
1^{re} étape	Mesures immédiates	–
2^e étape	Mesures de base	Mesures de base
3^e étape, si nécessaire	Travaux complémentaires et supplémentaires	Travaux complémentaires

Tableau 2.3: Choix des méthodes d'assainissement.

Chapitre 3

Protection contre le radon dans la conception du bâtiment

3.1 Aperçu

Dès la planification des nouvelles constructions, des décisions conduisant à une réduction des dangers liés au radon peuvent être prises. Les décisions concernant les questions suivantes exercent une influence sur la concentration de radon :

- le choix de l'emplacement ;
- l'utilisation des locaux ;
- l'enveloppe et la structure du bâtiment.

Par une planification judicieuse, la problématique du radon peut être désamorcée à moindres frais dès la phase préparatoire en évitant des mesures de protection ultérieures onéreuses. La figure 3.1 montre comment une protection contre le radon au niveau de la conception du bâtiment peut être intégrée dans le modèle de prestations SIA 112 et planifiée conformément à SIA 180.

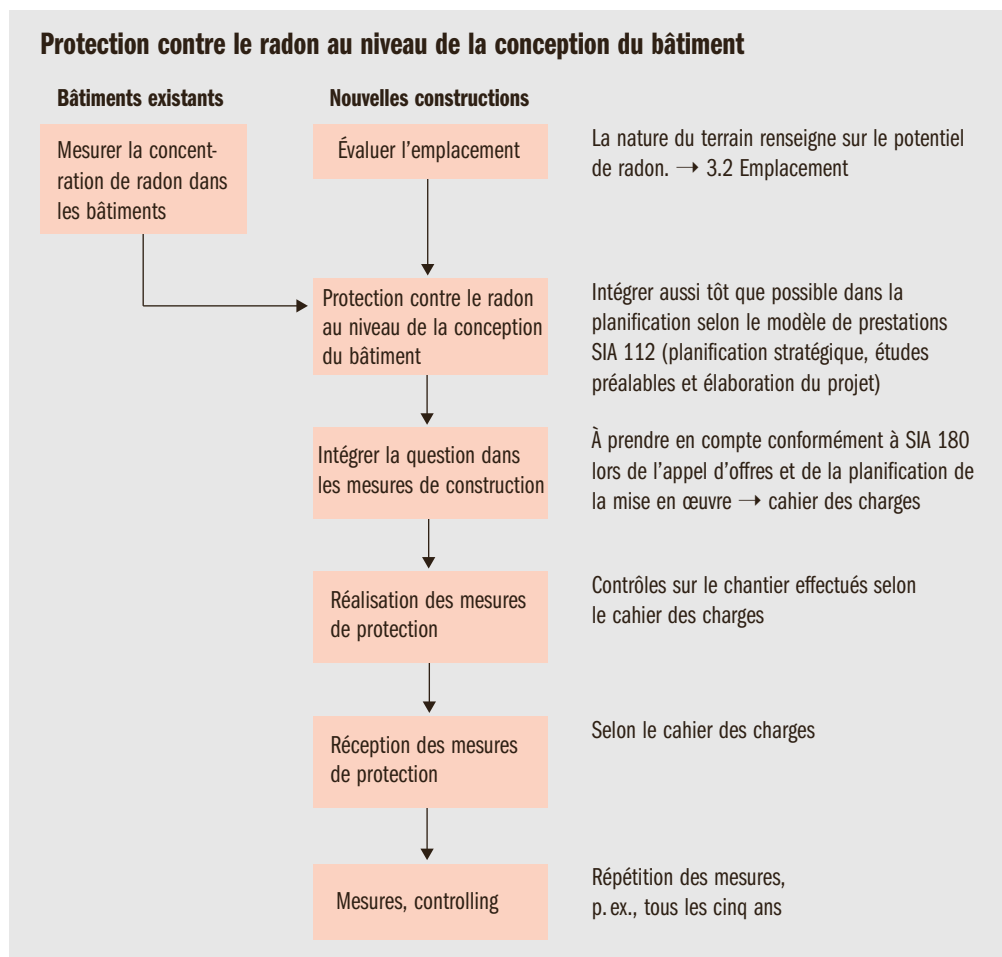


Figure 3.1 : Déroulement de l'élaboration de la protection contre le radon au niveau de la conception du bâtiment.

3.2 Choix de l'emplacement

La concentration de radon existant en un emplacement donné dépend des conditions géologiques. Toutefois la présence de radon pouvant varier fortement d'un endroit à l'autre, il n'est pas possible d'émettre des considérations générales pour une région. Même à l'intérieur d'un terrain, la structure géologique peut différer sur de très petits espaces. De fortes concentrations de radon peuvent apparaître localement, le gaz pouvant par exemple s'échapper de couches de gravier, de remblais ou de fouilles réalisées à l'aide d'explosifs.

Il est conseillé de collecter des informations sur les données géologiques et la situation en matière de radon des bâtiments voisins. La carte du radon en Suisse (page 11) livre des informations sur le potentiel en radon d'un emplacement donné. Si, sur cette carte, un emplacement donné présente une probabilité de dépassement de la concentration de 300 Bq/m³ supérieure à 10 %, cela peut être considéré comme une indication d'un potentiel accru en radon. Dans ces conditions, il convient d'accorder une attention particulière à la protection contre le radon lors de la planification ultérieure du bâtiment.

3.3 Planification de l'utilisation des locaux

Les locaux de séjour proches du terrain sont préoccupants en ce qui concerne la concentration de radon. Toute stratégie visant à déconnecter les locaux de séjour du terrain atténue la problématique du radon. Une solution consiste à ne pas utiliser les locaux de la cave et les autres locaux en contact avec le terrain pour des séjours prolongés. Pour les nouvelles constructions, il est toutefois recommandé de prévoir la possibilité de transformer ultérieurement des locaux de

la cave en locaux de séjour. Dans tous les cas, l'intensité de l'occupation et le risque en matière de radon devraient être harmonisés. Comparés à des locaux d'habitation normaux, les chambres d'amis, les locaux de stockage et de bricolage sont occupés nettement moins souvent. Ainsi, par une planification judicieuse de l'ordonnance des locaux, le problème du radon peut être réduit ou même contourné.

3.4 Planification de l'enveloppe et de la structure

L'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment joue un rôle essentiel dans la protection contre le radon. Lors de la planification, il y a lieu de déterminer les éléments de construction devant assurer les protections contre le froid, l'air et l'humidité. Du point de vue de la thématique du radon, il est important qu'il existe une couche d'étanchéité d'un seul tenant entre le terrain et les étages habités. En règle générale, on peut dire que construire de manière étanche à l'eau revient à construire de manière étanche au radon. Une protection sans faille, compa-

nable à l'isolation thermique périphérique, devrait être visée en ce qui concerne le radon. C'est dans le secteur de la cave que les solutions ne sont pas toujours évidentes. La barrière de protection peut en effet être posée sous le radier ou sous le plafond de la cave, alors que par ailleurs il y a lieu de veiller à l'étanchement des escaliers. La résolution de ces questions assure à la fois une bonne protection contre le froid, l'air et l'humidité, et une bonne protection contre le radon. Le chapitre 4 décrit comment la conception de l'étanchéité peut être mise

en œuvre au niveau de la construction. De manière générale, on doit recommander :

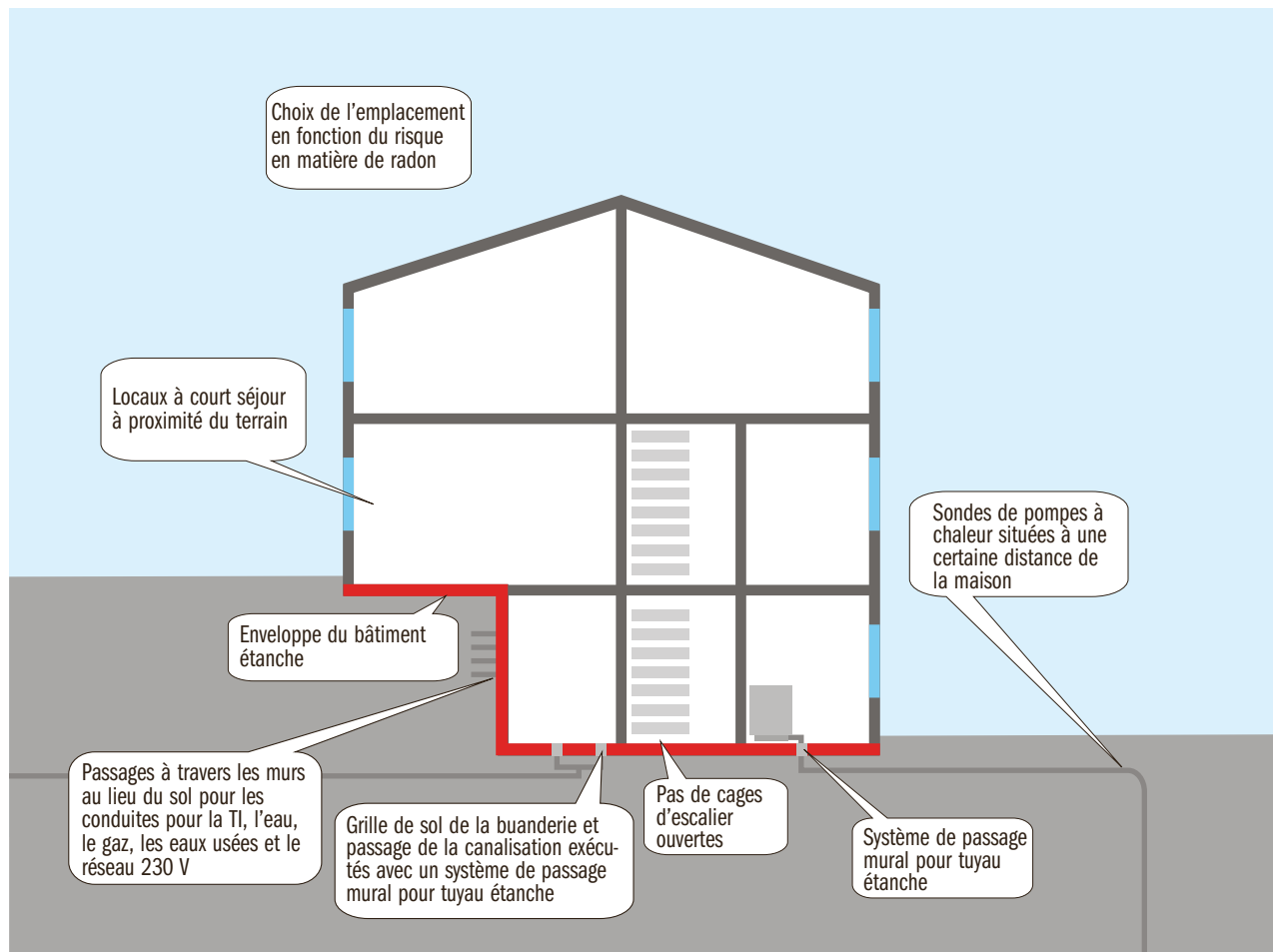
- un radier d'un seul tenant ; et
- pas de cages d'escalier ouvertes (portes de cave étanches ou accès à la cave par l'extérieur).

Lors de la planification de la pose des conduites, il y aurait lieu d'éviter les passages dans des éléments de construction en contact avec le terrain. Les conduites d'eau, de gaz et de mazout ainsi que les câbles devraient passer autant que possible à travers les murs et non à travers le radier. Les canalisations ne devraient traverser le sol de la cave qu'en peu d'endroits. Cela doit être pris en compte lors de la planification des salles d'eau et des colonnes de chute. Il y a lieu de prévoir un nombre restreint de canalisations, de surcroît non ramifiées, sous le radier. Le passage de la canalisation ainsi que

la grille de sol de la buanderie doivent être exécutés avec un système de passage mural pour tuyau (RDS) étanche. Cela vaut également pour les passages dans les murs en contact avec le terrain.

En outre, dans certains cas, le renouvellement d'air peut être favorisé dans le terrain situé sous le bâtiment : les couches perméables situées sous le bâtiment peuvent en effet parfois être reliées à un remblai latéral lui-même perméable.

Figure 3.2 : Principes de la protection contre le radon au niveau de la conception du bâtiment.



Chapitre 4

Création de barrières anti-radon

4.1 Aperçu

Nouvelles constructions

A des fins de protection contre le radon, une couche de protection doit être appliquée sur les bâtiments – principalement contre le terrain. Dans la plupart des cas, il suffit que les enveloppes soient étanches à l'air pour empêcher la pénétration de radon dans les bâtiments. En plus de la protection convective, il convient d'examiner la question de la mise en place d'une barrière anti-radon étanche aux gaz empêchant également la diffusion du radon. La nature des éléments de construction en contact avec le terrain exerce une grande influence sur la concentration de radon dans les locaux d'habitation. En Suisse, il est plutôt rare que les planchers du rez-de-chaussée soient en contact avec le terrain, les bâtiments construits dans des pentes comme les maisons en terrasses et dans les régions de montagne faisant exception.

Assainissement

Lorsque, dans une maison, l'air ambiant des locaux exposés présente une teneur élevée en radon, il est indiqué de procéder à un assainissement. Il est avantageux de lier celui-ci à une rénovation ou une extension de la protection thermique et de la protection contre l'humidité, ou à une mise en dépression du terrain sous le radier. **L'expérience montre que les mesures d'étanchement sont difficiles à réaliser surtout lors des assainissements.** Elles doivent donc être conçues et réalisées avec un soin extrême. Souvent l'objectif n'est atteint qu'en combinaison avec des mesures techniques d'aération. En cas de concentration élevée de radon dans des bâtiments existants, il peut être

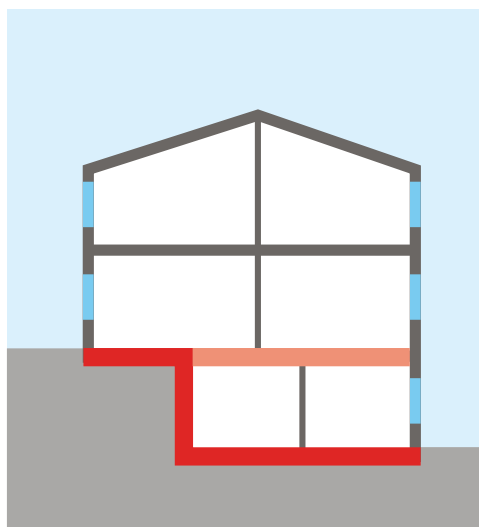


Figure 4.1: La barrière d'étanchéité primaire (rouge foncé) longe les éléments de construction en contact avec le terrain, la barrière d'étanchéité secondaire (rouge clair) longe les éléments de construction entre les locaux habités et les locaux inhabités.

judicieux de définir, en plus de la barrière d'étanchéité primaire longeant les éléments de construction en contact avec le terrain, une barrière d'étanchéité secondaire entre la cave et les locaux de séjour (Figure 4.1).

Le radon dans les bâtiments

Les voies suivies par l'air chargé de radon sont multiples. Très souvent, des flux d'air verticaux agissent dans les constructions dans lesquelles aucune barrière anti-radon horizontale n'est introduite au niveau du socle.

Voies de propagation (intérieur du bâtiment)

- Gains techniques et leurs ouvertures de contrôle
- Passage de câbles et de conduites, canalisations, cheminées, puits de lumière et autres puits

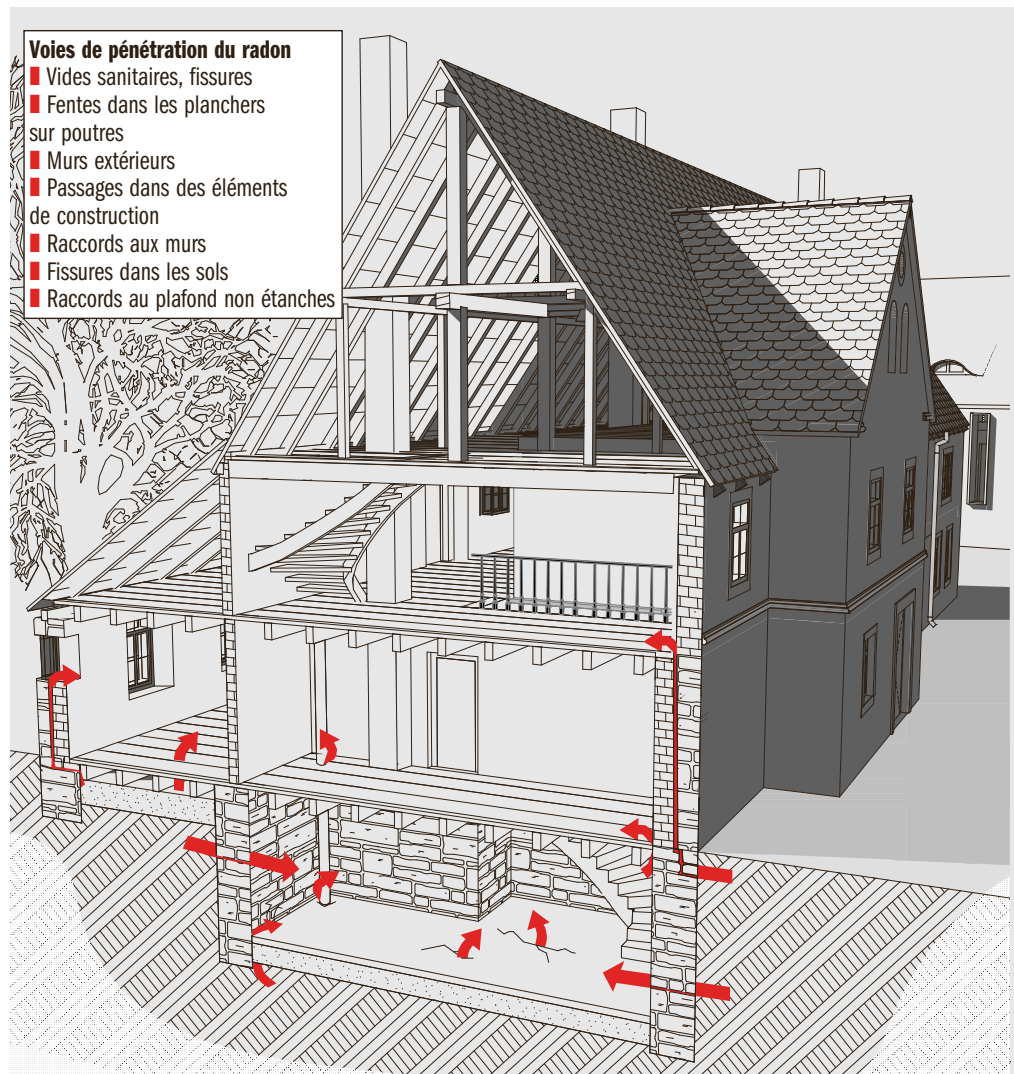


Figure 4.2: Voies de propagation typiques du radon – depuis le terrain jusqu’aux locaux d’habitation (source: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft SMUL).

Tableau 4.1: Aperçu des mesures d’étanchement de fuites ponctuelles.

Éléments de construction en contact avec le terrain et éléments de séparation : étanchement de fuites ponctuelles				
Mesure	Étanchement de surface par pose de barrières anti-radon (feuilles) ou intégration d’un radier	Colmatage de fissures et de joints par injection d’un matériau assurant l’étanchéité	Étanchement d’éléments de construction mobiles comme les portes, les gaines techniques et les trappes (d’évacuation)	Passages étanchés pour câbles, tuyaux et conduites
Réalisation	Utilisation de feuilles certifiées, généralement avec revêtement métallique (aluminium) ; intégration de radiers dans les parties polluées ou naturelles	Matériau d’étanchement de préférence à élasticité durable, p. ex., polyuréthane (PUR), résine époxy ou suspension de ciment	Joints d’étanchéité à élasticité durable entre portes et murs ou sols, intégration de seuils aux ouvertures de porte et de clapets dans les gaines techniques	Disponible comme élément préfabriqué dans la sous-traitance du bâtiment (qualité certifiée)
Efficacité	En général, très efficace lors des assainissements des bâtiments existants, mais aussi onéreux	En général, efficacité limitée – selon le nombre et la géométrie des fissures et des joints ; fortement soumis au vieillissement	Très grande efficacité ; bon rapport coût-efficacité	Grande efficacité si exécution professionnelle

- Planchers sur poutres, plafonds en hourdis
 - À l'intérieur d'une maçonnerie à double paroi, surtout dans la couche d'air longeant l'isolation principale
 - Dans la maçonnerie à double paroi sans isolation principale
 - Dans des éléments préfabriqués munis de doublages, également et surtout dans les constructions en bois
 - Dans les murs en pierre comportant des fissures ou des cavités
- Le long des fissures et des fentes liées à des installations techniques (câbles, conduits)
- Cage d'escalier
 - Porte de cave

Points d'infiltration (enveloppe du bâtiment)

- Sol en contact avec le terrain (sols en briques, en terre cuite, naturels ou en bois)
- Fissures et joints dans les sols et les murs

- Passages de conduites (électricité, communication, eau, eaux usées, gaz, mazout, ventilation)
- Ouvertures (portes, fenêtres, clapets, couverts, etc.)

Diffusion et convection

Les effets convectifs s'exerçant dans l'enveloppe du bâtiment sont déterminants en ce qui concerne la concentration de radon dans les locaux. Certes, la diffusion du radon à travers des éléments de construction contribue également à la charge de radon, mais ces contributions sont d'une importance mineure. La part de la convection dépend principalement de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment. Cette différenciation relativise la recommandation d'installer des feuilles d'étanchéité, une protection convective étant en effet souvent suffisante.

4.2 Couche d'étanchéité en contact avec le terrain

Étanchement par l'isolation thermique périphérique – (nouvelles constructions)

Dans les nouvelles constructions, une isolation thermique externe au niveau du terrain s'est avérée comme une protection parfaite. Le sous-sol peut ainsi être réalisé comme un espace chauffé ou comme un espace non chauffé faisant tampon entre le terrain et les locaux chauffés. En ce qui concerne la protection contre le radon, sont recommandées des constructions avec un radier d'un seul tenant en béton de type A selon SN EN 206 (classe d'exposition XC2) posé sur un matériau d'isolation résistant à la compression comme le verre cellulaire ou le polystyrène extrudé. D'autres matériaux atteignent rarement une étanchéité élevée au radon et exigent en outre, dans les régions à risque accru de radon, la pose d'une feuille étanche aux gaz. Cette feuille est collée sur la totalité de la couche de finition de l'isolation périphérique des murs extérieurs (sous les plaques drainantes).

Radier ultérieur (assainissement)

L'introduction ultérieure d'un radier dans les caves en sol naturel restreint la pénétration de radon dans les locaux de bâtiments existants. Des mesures d'accompagnement comme la mise en place de systèmes de tuyaux pour la ventilation mécanique des sols (drainage) peuvent être réalisées en même temps. Les sous-sols avec des sols en terrain naturel doivent être bien étanchés et, le cas échéant, leur accès réalisé par l'extérieur. Toutefois la pose de feuilles d'étanchéité est difficile à réaliser lors des assainissements et, très souvent, elle n'est efficace que combinée à des mesures techniques d'aération. La question d'un radier d'un seul tenant – en béton étanche à l'eau de la classe d'étanchéité 1 selon la norme SIA 272 ou avec une barrière anti-humidité – doit également être examinée dans le cas des nouvelles constructions (voir encadré «Constructions en béton étanche», page 19).

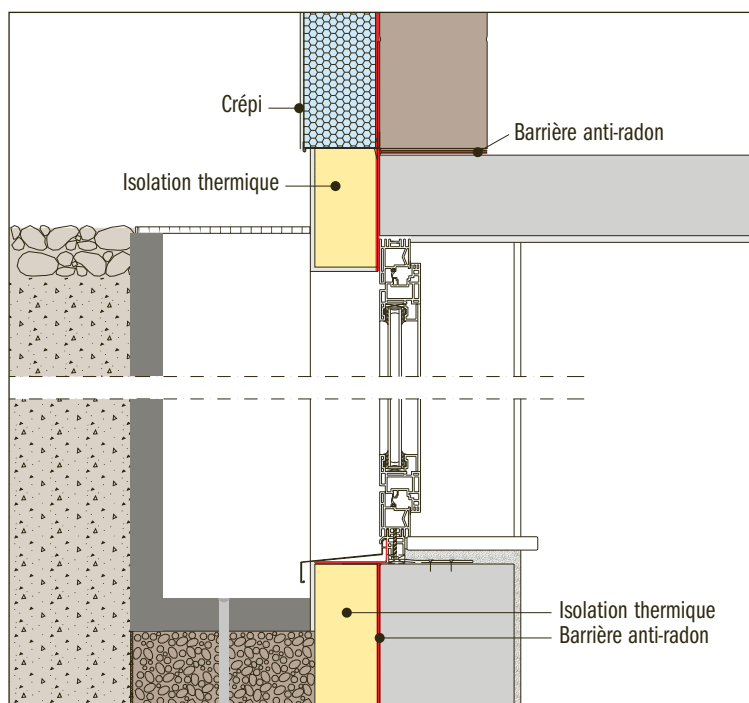
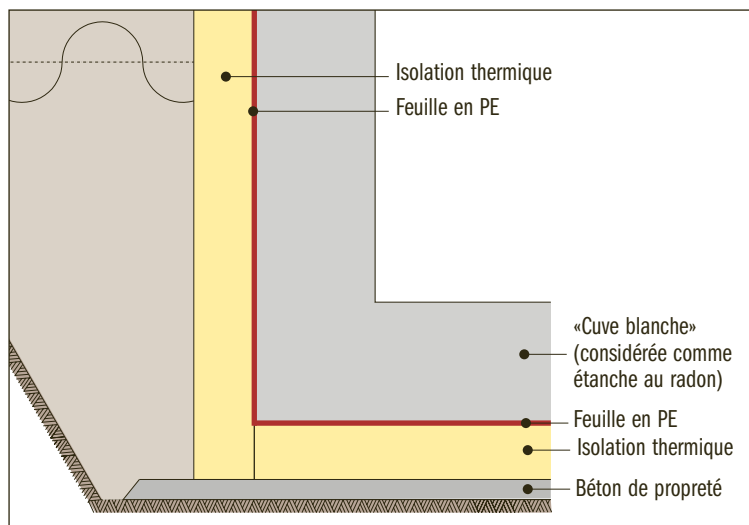


Figure 4.3 (en haut) :
«Cuve blanche» dans les
nouvelles constructions
(source : Dow Building
Solutions).

Figure 4.4 (en bas) : Puits
de lumière dans un mur ex-
térieur de cave (source :
Dow Building Solutions).

Blanc, noir, brun

La création d'un sous-sol en béton étanche à l'eau de la classe d'étanchéité 1 selon la norme SIA 272 constitue une protection efficace contre le radon et, de plus, dans le cas des nouvelles constructions, elle est facile à réaliser sans surcoûts.

Par **cuve blanche**, on entend les constructions en béton qui sont étanches à l'eau indépendamment de mesures d'étanchement, même sous compression. Pour garantir cette caractéristique sur la durée, le béton doit également être étanche à l'humidité, donc aux gaz, et donc au radon.

La **cuve noire** est constituée par une couche d'étanchéité appliquée sur une structure primaire, p. ex., une construction en béton. L'étanchement peut être effectué avec du bitume ou des feuilles de plastique. Par l'utilisation de feuilles à revêtement métallique, la cuve noire est également étanche au radon.

Cuve brune : lorsque l'étanchement est effectué à la bentonite, la cuve est considérée comme brune.

Puits de lumière

Des puits en contact avec le terrain et les murs extérieurs sont une source de danger lorsqu'ils servent à la prise d'air extérieur ou à la prise d'air de combustion. Dans la mesure où le puit est étanche à l'eau par rapport au terrain et aux murs extérieurs, par exemple du fait d'une construction en béton ou en maçonnerie, le risque est considérablement réduit. Il est important que la barrière d'étanchéité (eau, air, radon) soit continue.

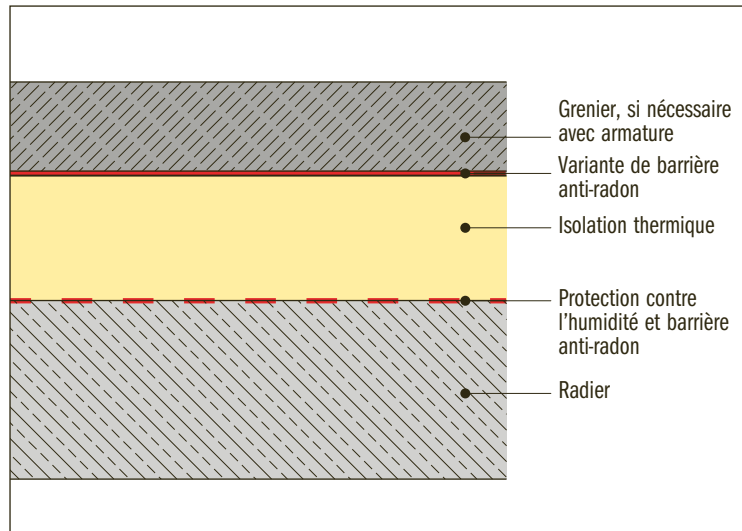


Figure 4.5 : Structure du sol classique (source : Dow Building Solutions).

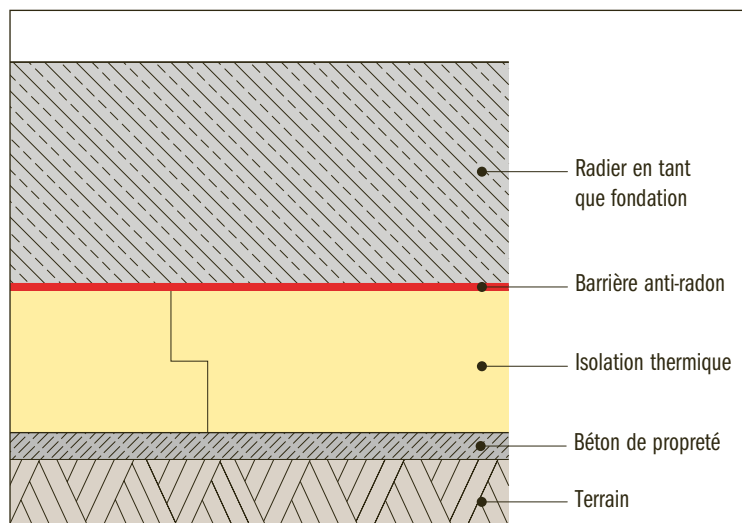


Figure 4.6 : Barrière anti-radon et isolation thermique en dessous de la dalle de fondation (source : Dow Building Solutions).

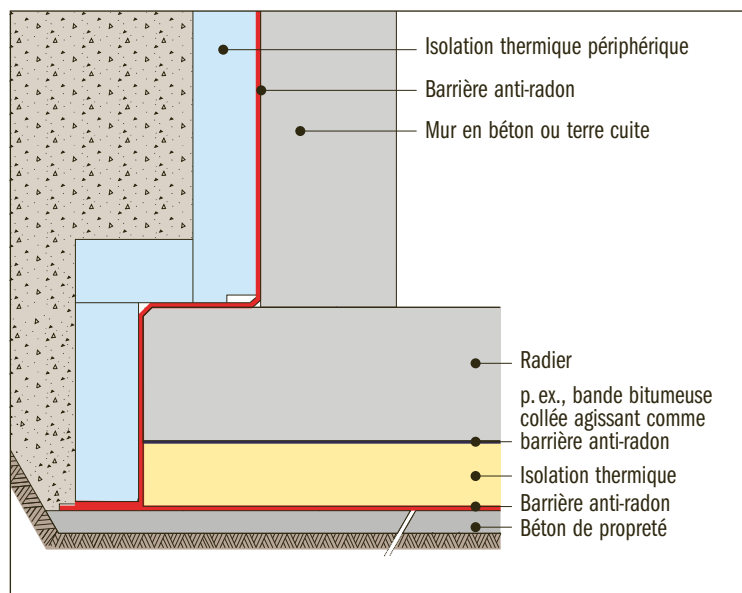


Figure 4.7 : Nouvelle construction avec isolation thermique périphérique et radier (source : Dow Building Solutions).

Étanchéité entre le bâtiment et le terrain

Le radon est incolore et inodore. Comme pour les barrières contre l'humidité, les dommages ou une diminution de l'étanchéité ne sont pas immédiatement reconnaissables. Il est donc important d'accorder une attention particulière à la qualité et la durabilité des étanchements ainsi qu'aux soins de la réalisation. Des feuilles d'étanchéité appliquées sous le radier constituent une mesure préventive de protection contre l'humidité largement répandue. Cette technique protège également contre les pénétrations de radon. Dans les régions où la nappe phréatique est à faible profondeur, une bonne protection contre le radon est donc

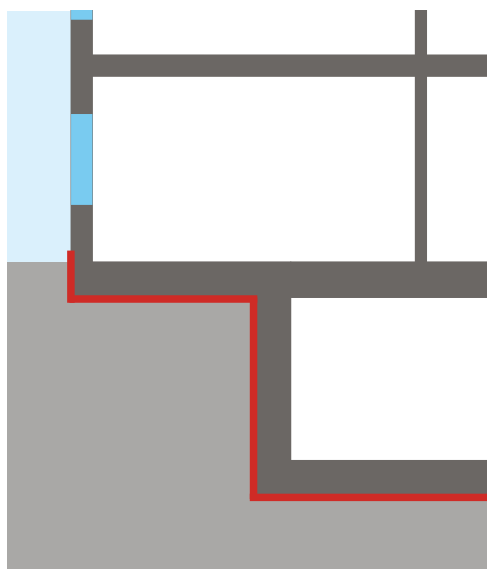
déjà donnée par les mesures de protection contre l'humidité. Dans les régions à risque accru en radon, il est judicieux d'employer la technologie d'étanchement avérée dans le cas des constructions étanches à la nappe phréatique. En plus de la mise en place des feuilles d'étanchéité, il y a lieu d'étancher les éléments de construction particuliers que sont les passages de conduites et les joints de dilatation.

Dans les régions à risque accru de radon, il est recommandé d'appliquer de grandes feuilles étanches aux gaz sur les murs extérieurs, surtout si aucun radier en béton étanche à l'eau n'est prévu. L'étanchement de la fouille peut être réalisé au moyen de revêtements en polymères bitumineux ou en plastique. Dans tous les cas, il y a lieu de veiller à ce que les feuilles d'étanchéité appliquées à l'extérieur présentent une durée de vie comparable à celle de la structure primaire afin qu'elles ne pourrissent pas ou ne se fragilisent pas trop tôt. En outre, la planification et la réalisation précisées par le fabricant doivent être respectées. Une feuille d'étanchéité posée dans la fouille est ensuite remontée le long des murs du sous-sol (Figure 4.10). Le support des feuilles et les charges différentielles admissibles dépendent du matériau et du fournisseur. Le conduit de drainage est disposé à l'extérieur du bâtiment. On veillera à ne pas endommager les feuilles d'étanchéité en évitant les rayons

Figure 4.8 (à droite) : Étanchement externe par des bandes d'étanchéité sous la dalle de fondation.

Figure 4.9 (en bas à gauche) : Pose de bandes d'étanchéité avant le coulage du radier (source : Sika).

Figure 4.10 (en bas à droite) : Étanchement externe des murs du sous-sol par des bandes d'étanchéité (source : Sika).



de courbure trop aigus. Dans les régions à concentration accrue de radon, on devrait utiliser de préférence des radiers en béton.

Barrière anti-radon

Nouvelles constructions : le béton de propreté en tant que couche inférieure d'une nouvelle construction constitue une base idéale pour la barrière anti-radon. Au-dessus seront introduites des couches d'isolation thermique ou une dalle de fondation.

Dans le cas des **assainissements en matière de radon** de bâtiments existants, l'application de barrières anti-radon sur la surface intérieure des murs et des sols en contact avec le terrain est certes une mesure coûteuse et délicate du point de vue de la physique de la construction, mais elle constitue une solution efficace. Les feuilles appliquées en intérieur doivent être protégées durablement contre les dommages. Une autre solution consiste à équiper un plafond de cave avec une barrière anti-radon, ce qui implique cependant la plupart du temps l'étanchement d'un nombre relativement élevé de passages, de portes et autres ouvertures.

Pose de barrières anti-radon

■ Les feuilles d'étanchéité s'appliquent sur le béton de propreté (p. ex., béton maigre avec couche de séparation ou isolation périphérique), directement sur le radier ou dans la structure d'un plafond de cave.

■ Les manchons doivent se recouvrir sur au moins 15 cm et doivent être secs et dépoussiérés.

■ Les barrières anti-radon sont à disposer comme les pare-vapeur : bande adhésive double face butylique pour assurer l'étanchéité entre les segments se recouvrant et recouvrement du manchon avec une bande adhésive acrylique pour assurer la sécurité mécanique.

■ Les coutures de renforcement ne sont permises qu'au niveau du recouvrement.

■ Les relevés des murs, des colonnes et des passages doivent atteindre au moins 15 cm et être raccordés de manière étanche.



Figure 4.11 (à gauche) : Remonter la feuille d'étanchéité depuis le fondement afin de parvenir à un recouvrement avec la feuille posée sur le mur (source : Ampack).

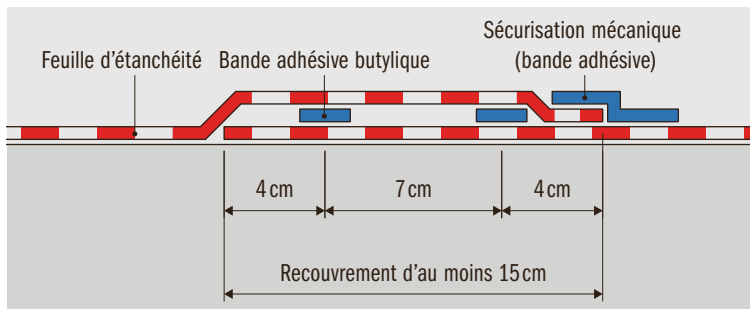


Figure 4.12 (en bas) : Détail du recouvrement d'une feuille d'étanchéité collée (source : Ampack).

Propriétés des feuilles d'étanchéité usuelles		
Caractéristiques	Unités	Définition
Structure		2 couches PE avec réseau intermédiaire en polyester et revêtement en alu de 0,02 mm d'épaisseur
Pose		Côté alu contre le sous-sol, donc sur le béton de propreté ou le radier, etc.
peve	0,022 g/m ² en 24 h	La perméabilité à la vapeur d'eau, peve, indique la quantité de vapeur d'eau diffusant à travers 1 m ² de feuille durant 24 h.
μ	Sans dimension	Le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau indique combien de fois le matériau est plus étanche à la vapeur d'eau qu'une couche d'air de même épaisseur. Plus la valeur de μ est élevée, plus le matériau est étanche à la vapeur d'eau.
s _D	> 1100 m	Couche d'air présentant la même diffusion de vapeur d'eau, soit l'épaisseur de couche d'air de même coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau, que l'élément considéré. Les éléments de construction étant composés de plusieurs couches, les valeurs s _D de chaque couche s'additionnent. μ multiplié par l'épaisseur de l'élément donne s _D .
R _D	1532 m ² h Pa/mg	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau
	2,3 · 10 ⁻¹² m ² s ⁻¹	Coefficient de diffusion du radon (cf. page 32)
	7,2 · 10 ⁻⁹ ms ⁻¹	Degré de perméabilité au radon
Épaisseur	0,4 mm	
Poids	363 g/m ²	
Recouvrement	15 cm	Coller deux bandes l'une sur l'autre.

- Le sous-sol ne doit comporter aucun endroit ou objet pointu ou acéré.
- En cas de tassements prévisibles, les feuilles d'étanchéité doivent être suffisamment longues ou être appliquées en forme de z afin qu'elles ne soient pas endommagées si la structure bouge.
- Immédiatement après leur pose, les feuilles d'étanchéité au radon doivent être protégées, par exemple, par une isolation thermique, un radier ou une dalle de béton.
- Les passages doivent être impérativement doublement étanchés : étanchement accompagné d'une sécurité mécanique afin de garantir la protection contre le radon sur la durée.
- Lors du stockage, les feuilles d'étanchéité contre le radon doivent être protégées contre les dommages et le rayonnement UV.

Étanchéité au radon

Le fait qu'un matériau soit considéré comme étanche au radon est fondé sur des recommandations. Les normes et les ordonnances ne font pas état de cette évaluation. Dans la pratique, l'étanchéité au radon se

déduit du coefficient de diffusion du radon mesuré sur le matériau. Les matériaux peuvent être considérés comme étanches au radon lorsque leur épaisseur est au moins égale au triple de la longueur de relaxation du radon. Selon des estimations de Kempster + Partner, Bonn, les matériaux étanches au radon retiennent 95 % du radon, seuls 5 % diffusant à travers le matériau. La longueur de relaxation (aussi appelée longueur de diffusion) d'un matériau est égale à la racine carrée du quotient du coefficient de diffusion du radon (mesuré) par la constante de désintégration du radon 222 ($= 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}$). Exemples de calcul de la longueur de relaxation :

Béton léger : $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} / 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 0,62 \text{ m}^2 = 620\,000 \text{ mm}^2$; racine carrée : environ 800 mm.

Membrane bitumeuse : $10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} / 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 0,48 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 0,48 \text{ mm}^2$; racine carrée : 0,7 mm

Verre cellulaire

Le matériau de construction en verre plat recyclé est approprié tant à l'isolation thermique qu'à l'étanchement d'éléments extérieurs, le verre cellulaire étant imperméable à l'eau et aux gaz. En outre le matériau offre une grande résistance à la compression, ce qui le prédispose à une utilisation sous le radier. Dans les nouvelles constructions, les plaques de verre cellulaire sont posées sur un socle, par exemple, le béton de propreté, et les joints sont étanchés, idéalement par une membrane bitumeuse d'un seul tenant posée à chaud.

Tableau 4.2 : Étanchéité au radon de matériaux.
Source : Keller, G.; Hoffmann, B. (2002) : Durchlässigkeit von Baumaterialien. In : BMU (Éd.) : Forschung zum Problemkreis Radon; Vortragsmanuskripte des 14. Statusgesprächs, Berlin 23. et 24. octobre 2001.

Étanchéité au radon de matériaux				
Matériau	Épaisseur du matériau en mm	Coefficient de diffusion du radon en $10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	Longueur de relaxation (longueur de diffusion) en mm	Étanche au radon oui/non
Matériaux de construction				
Béton léger	100	1,30	800	non
Béton normal	100	0,007	60	non
Grès	100	2,20	1000	non
Grès calcaire	150	0,34	400	non
Brique	150	0,35	400	non
Plâtre	150	2,35	1100	non
Peintures				
Peinture	0,5	0,001	20	non
Peinture synthétique	0,2	0,08	200	non
Résine synthétique	2	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	oui
Enduit de polyuréthane	5	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	oui
Enduit de résine époxy	3	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	oui
Bandes d'étanchéité				
Bande bitumeuse	3	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	oui
Bande d'étanchéité PEHD	1	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	non
Caoutchouc silicone	3	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	oui
Bande d'étanchéité en caoutchouc	1,5	$< 10^{-5}$	2	non
Matériau en PP	2	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	oui
Feuille de polyamide	0,05	$< 10^{-6}$	$< 0,7$	non

Avantages et inconvénients du verre cellulaire comparé aux feuilles d'étanchéité (barrière anti-radon)

Avantages du verre cellulaire	Inconvénients du verre cellulaire
Approprié à l'isolation thermique	Application complexe (onéreux)
Stabilité mécanique	Sensible au gel
Ininflammable (selon AEAI RF1)	Fabrication très énergivore

Tant le verre cellulaire que les barrières anti-radon à revêtement métallique sont étanches aux gaz.

4.3 Étanchement des passages, fissures, joints sur les éléments de construction en contact avec le terrain

Les enveloppes de bâtiments étanches réduisent en général les infiltrations de radon alors que les points de fuite les facilitent. Une protection contre les infiltrations d'humidité peut déjà réduire fortement les infiltrations de radon. On accordera une attention particulière à l'étanchéité des passages pour conduites dans les éléments de construction en contact avec le terrain comme les sondes de pompes à chaleur et les échangeurs géothermiques. Les gaines techniques, les cages d'ascenseur et les trappes d'évacuation doivent être étanchées sur tout le pourtour. La moindre fissure dans les éléments de construction en contact avec le terrain peut déjà conduire à une surcharge en radon. Les fissures et les ouvertures pratiquées dans les sols et les murs ainsi que les joints constituent des points faibles devant être étanchés avec des moyens appropriés. Avant la mise en œuvre de ceux-ci, les surfaces concernées doivent être nettoyées et préparées en conséquence.

Mastics à élasticité permanente

Les mastics à élasticité permanente conviennent pour l'étanchement de petites ouvertures comme les fissures, les joints et les petites perforations. Elles restent étanches même lorsqu'elles se dilatent ou rétrécissent légèrement suite à des variations de tempéra-

ture. Différents matériaux à élasticité permanente (mastics à base de silicone, acryliques ou polysulfurés) peuvent être employés. Pour assurer une adhérence optimale du mastic, les lèvres des fissures doivent être nettoyées et éventuellement agrandies. Les fissures profondes peuvent être colmatées. D'autres travaux préparatoires peuvent également s'avérer nécessaires (rectification des lèvres et application d'une couche d'accrochage).

Bandes élastiques autocollantes

Les bandes de recouvrement disponibles en différentes sortes de matériaux de diverses qualités sont particulièrement efficaces. Elles s'appliquent au moyen de colles liquides ou pâteuses sur les éléments de construction à raccorder. Les bandes élastiques autocollantes sont particulièrement indiquées pour le raccordement étanche d'éléments de construction, par exemple, de feuilles d'étanchéité à des plafonds ou de revêtements de sol à des panneaux muraux, de même que pour le recouvrement de joints de dilatation. Des bandes autocollantes double face, p. ex., en butyle, devraient si possible être maintenues mécaniquement sous pression à l'endroit du collage. Les bandes en butyle permettent ainsi de raccorder deux feuilles d'étanchéité en polyéthylène sous un lattage maintenant le collage sous pression.

Figure 4.13 (à gauche) : Différents détails relatifs aux étanchements.

Figure 4.14 (à droite) : Détail relatif à l'étanchement d'un passage mural pour tuyau avant le coulage du radier (source : Sika).



Figure 4.15 :
Point d'insertion dans la
maison (source :
Aladin AG).



Figure 4.16 : Les colliers
muraux constituent une al-
ternative bon marché au
système de passage mural
pour tuyau et aux manchet-
tes (source : Aladin AG).



Passages de conduites

Les passages de conduites pour les sondes de pompes à chaleur ainsi que les passages pour l'eau, le gaz et l'électricité présentent un risque en radon du fait de leur situation dans le bâtiment.

Les systèmes de passage mural pour tuyau étanches (RDS) permettent d'étancher les passages de conduites à travers les éléments de construction en contact avec le terrain. Les manchons doivent être étanchés, mais le matériau utilisé doit également résister sur la durée aux influences chimiques et physiques (polyéthylène). Les sondes de pompes à chaleur doivent être installées sur le côté et à une certaine distance du bâtiment et leurs liaisons ne doivent pas passer sous le radier.

Figure 4.17 : Exemple de
passage mural pour tuyau
étanche au radon avec une
bride de collage (source :
Foamglas).

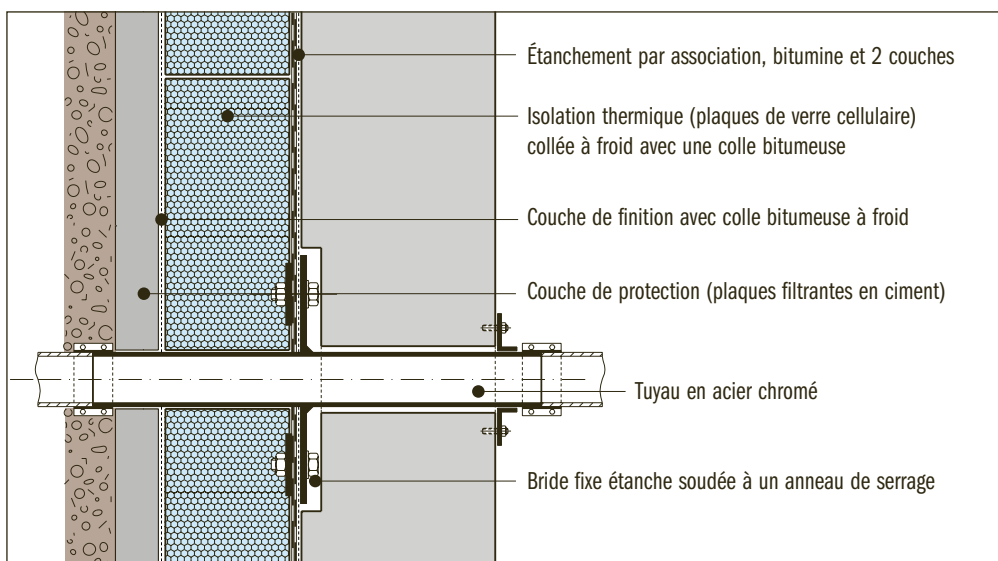
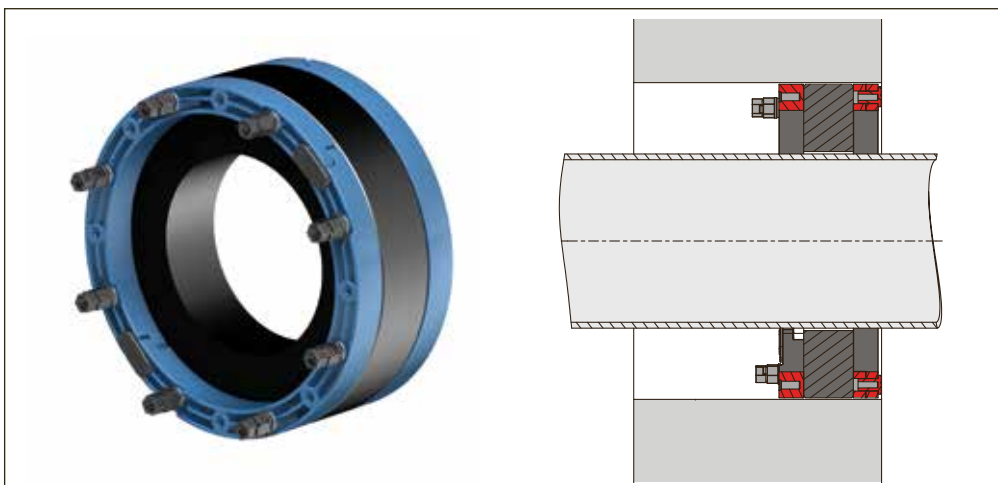


Figure 4.18 : Manchette
étanche au radon pour un
passage mural pour tuyau
(source : Rematec AG).



Cages d'escalier fermées

Au contraire des escaliers ouverts, les cages d'escalier fermées empêchent la dispersion du radon dans les étages supérieurs et diminuent considérablement le risque en radon. Des revêtements étanches à l'air peuvent également être installés ultérieurement dans les accès à la cave et empêcher ainsi les remontées de radon par cette voie.

La séparation du sous-sol en deux secteurs par un mur étanche aux gaz présente l'avantage de permettre de renoncer à un étanchement complet de la surface intérieure du mur extérieur et du sol de cave. Seules les parties de locaux ouverts sur la cage d'escalier doivent être protégées contre les infiltrations de radon. Une planification optimale permet de réduire considérablement les frais d'assainissement.

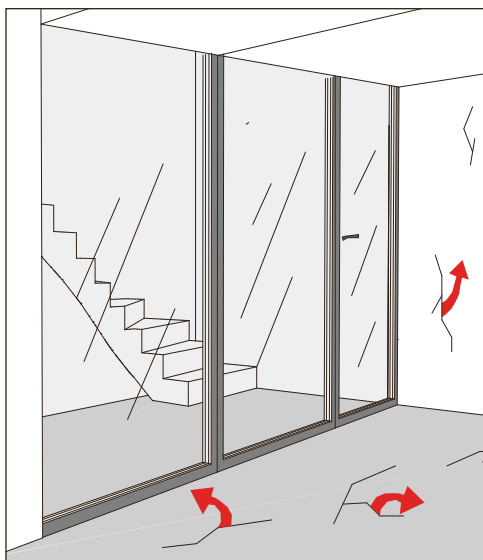


Figure 4.19 : Mur de séparation étanche aux gaz (source : SMUL).

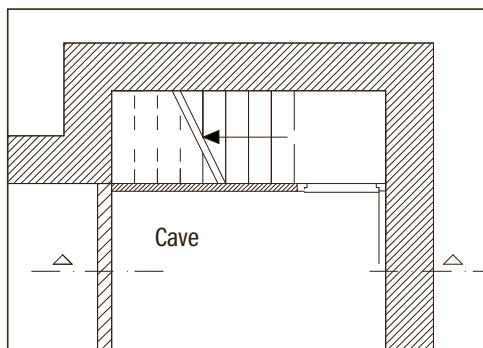


Figure 4.20 : Plan d'un accès à la cave (source : SMUL).

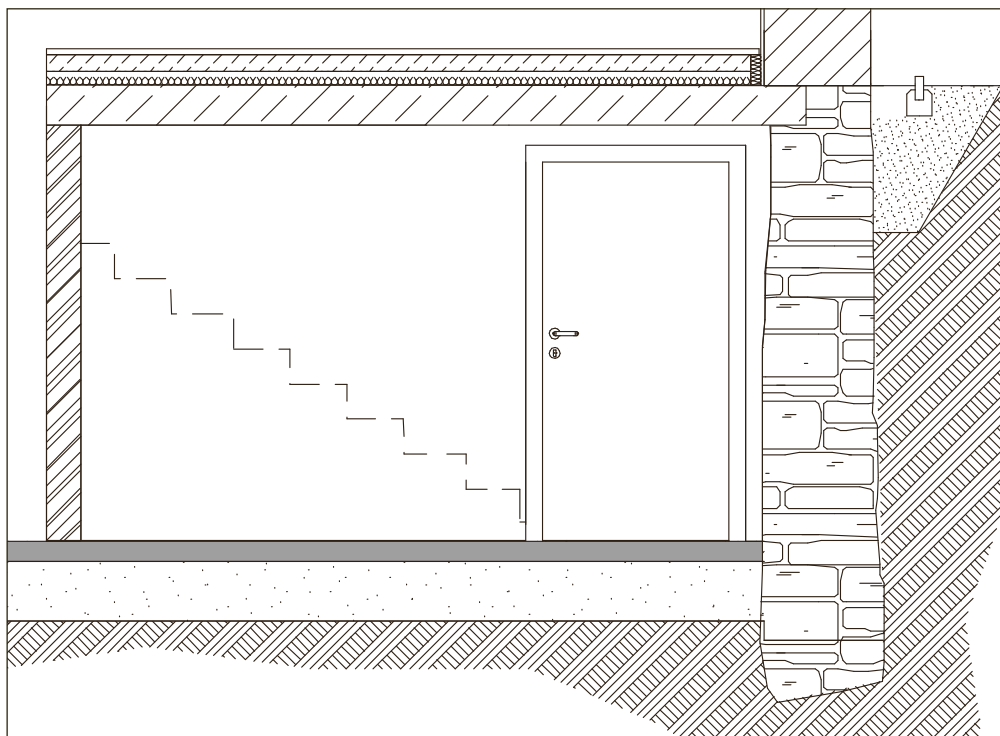


Figure 4.21 : Accès à la cave (source : SMUL).

4.4 Étanchement de portes, trappes, couvercles et autres

Des concentrations accrues de radon peuvent apparaître dans les locaux de la cave même si les locaux de séjour sont faiblement chargés. C’est pourquoi tous les passages entre le secteur de la cave et le secteur habité doivent être étanchés. Lorsque la concentration de radon dans la cave ne peut pas être suffisamment abaissée, p. ex., si on ne veut pas renoncer à un sol en terre battue dans la cave ou si les mesures d’étanchement n’ont pas eu l’efficacité escomptée, les passages menant aux locaux d’habitation et de travail doivent être étanchés. Ces passages sont généralement constitués par des portes. Il peut s’agir de portes de cave, mais aussi de portes palières donnant sur une cage d’escalier. D’autres passages possibles sont constitués par les couvercles des regards installés dans les sols de cave à des fins de contrôle. De minuscules ouvertures peuvent déjà constituer des points d’infiltration de radon. C’est pourquoi les portes devraient être fermées en permanence durant la saison froide et non équipées de serrures anciennes présentant de grandes ouvertures. Par ailleurs, les systèmes de fermeture automatique des portes et un accès à la cave uniquement par l’extérieur méritent considération.

La perméabilité des joints est un paramètre défini principalement pour les fenêtres, qui s’avère également utile pour les portes. Pour l’étanchement de locaux à fortes concentrations de radon, la perméabilité des joints devrait au moins être de classe 2 (Tableau 4.4). Les portes phoniques et les portes coupe-feu présentent en général une bonne étanchéité à l’air et au radon. Si les portes,

trappes et couvercles doivent être étanchés au radon, on tiendra compte des points suivants.

Joint d’étanchéité élastiques

Pour étancher suffisamment les éléments de construction mobiles, on utilisera des joints d’étanchéité élastiques (à lèvres ou creux). Ces joints doivent toutefois être parfaitement adaptés aux battues et être posés correctement et de manière continue sur tout le tour de l’ouverture. Si des concentrations de radon élevées subsistent dans la cave, et si la porte en question est fréquemment utilisée, un second joint peut s’avérer utile. Lorsque des portes ou trappes existantes sont étanchées ultérieurement au moyen de joints élastiques, on veillera à ce que les joints soient placés dans des rainures sur tout le tour de l’ouverture. En outre, les déformations saisonnières ne doivent pas nuire à l’étanchéité. Les joints élastiques doivent être contrôlés périodiquement et remplacés tous les cinq à huit ans. De simples joints en V collés ultérieurement dans les battues de portes et de fenêtres n’apportent pas une étanchéité suffisante dans le cadre de la protection contre le radon.

Seuils

Afin d’assurer une étanchéité suffisante, les seuils de portes devraient si possible être conçus avec une battue munie d’un joint d’étanchéité élastique relié de manière continue aux joints latéraux. Les systèmes à base de brosses ou de joints fixes n’offrent pas une étanchéité suffisante. Les joints mobiles offrent une étanchéité satisfaisante. Les surfaces de contact de ces joints doivent toutefois être parfaitement lisses et planes. Les portes présentant un coefficient d’isolation phonique élevé offrent à cet égard une bonne protection.

Tableau 4.3 : Perméabilité à l’air selon SN EN 12207 : les valeurs de la perméabilité à l’air selon EN 12207 se réfèrent à une pression de 100 Pa et une longueur de joint d’un mètre. Pour une bonne protection contre la convection, il y a lieu de garantir une étanchéité à l’air des classes 2 ou 3 au moins.

Classes Q100	
Classe	Perméabilité à l’air
0	Pas de couches
1	12,5 m³/h m
2	6,75 m³/h m
3	2,25 m³/h m
4	0,75 m³/h m

4.5 Étanchéité intérieure

Dans les bâtiments à assainir, les couches d'étanchéité ne peuvent souvent être posées qu'à l'intérieur, ce qui implique toutefois un nombre nettement plus élevé de raccordements et de passages. C'est pourquoi l'étanchéité intérieure ne conduit souvent au résultat voulu qu'en combinaison avec d'autres mesures de protection. Dans les bâtiments à construire, on veillera autant que possible à l'étanchéité extérieure. Les feuilles d'étanchéité doivent être posées soigneusement et collées ou soudées de manière parfaitement continue. À côté des feuilles d'étanchéité, il existe également, pour ce domaine, des revêtements à appliquer à l'état liquide. Le principe selon lequel ce qui est efficace contre l'humidité l'est aussi contre le radon s'applique également ici. Toutefois la mise en place de l'étanchéité intérieure est délicate. La maçonnerie n'est souvent pas complètement sèche, par exemple, à cause de remontées d'humidité. L'application d'une feuille d'étanchéité en intérieur peut entraver l'assèchement de l'intérieur d'un mur extérieur, ce qui peut conduire à des dommages à la construction (Figure 4.22).

Feuilles d'étanchéité contre l'humidité

Les feuilles d'étanchéité utilisées contre la pénétration de l'humidité sont également efficaces contre la pénétration du radon. Un collage soigné des raccords et un raccordement soigné à tous les percements sont indispensables. Elles doivent être posées sur la face intérieure du bâtiment. Dans ce cadre, on veillera à ne pas endommager les membranes par des éléments de fixation inappropriés. De plus, on accordera une attention particulière au raccordement des bandes au plafond de la cave, qui doit être parfaitement étanche.

Pare-vapeur

Les parties du bâtiment en contact avec le terrain isolées thermiquement doivent être protégées contre l'humidité par des mesures

appropriées à leur structure. Les éléments de construction étanches ou offrant une forte résistance à la vapeur d'eau constituent également une barrière suffisante contre le radon, même si les perméabilités au radon et à la vapeur d'eau ne sont pas identiques. Le montage parfaitement continu de l'élément pare-vapeur est crucial tant pour la protection contre le radon qu'en matière de diffusion de la vapeur d'eau.

Revêtements d'étanchéité

On utilise également, contre la pénétration d'humidité, des revêtements à appliquer à l'état liquide ou pâteux. Ils sont aussi effi-

Figure 4.22 : Feuille d'étanchéité posée côté local (source : SMUL).

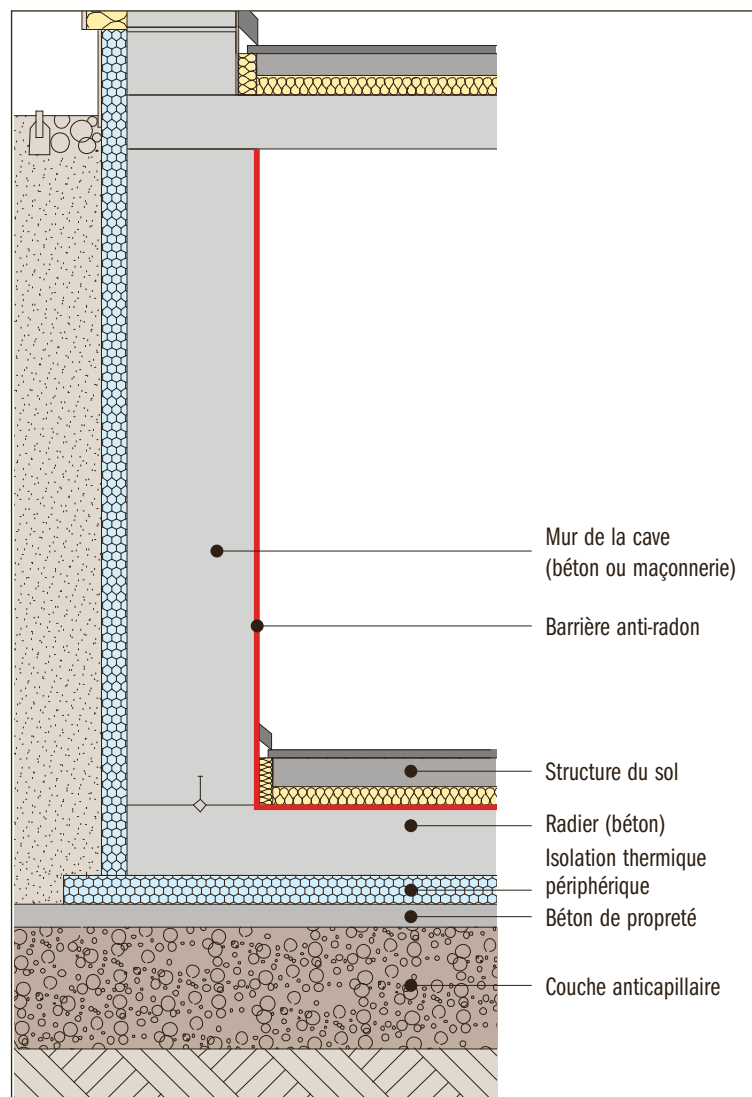
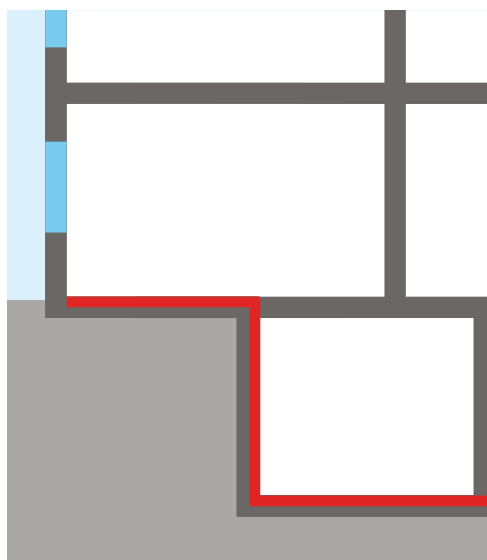


Figure 4.23 : Revêtements avec enduits (badigeon d'étanchéité) et peintures pour les étanchements côté local.



caces contre la pénétration de radon (Figure 4.23). Les défauts d'étanchéité sont difficiles à repérer et conduisent à des concentrations accrues de radon dans les locaux. Les fissures dues à des modifications de la forme des matériaux de construction doivent être évitées même dans le cas de revêtements d'intérieur relativement étanches comme les carrelages ou des revêtements liquides imperméables comme les peintures de caoutchouc chloré. Ils peuvent cependant être utiles dans le cadre de mesures d'appoint. Les injections, telles qu'utilisées souvent contre les problèmes d'humidité dans les murs anciens, ne conviennent pas à la protection contre le radon.

Etanchement de plafonds de cave

Lorsque la concentration de radon dans les locaux inhabités de la cave ne peut pas être suffisamment réduite, les éléments de séparation, en particulier les plafonds séparant cette cave des locaux d'habitation doivent être étanchés. Les dalles en béton armé peuvent être considérées comme suffisamment étanches au radon. Dans le cas d'anciens plafonds en dur, il est possible que des joints localement non étanches entre le plafond et le mur doivent être colmatés. Dans le cas de planchers sur poutres, on examinera quelle couche ou quel élément de construction assure l'étanchéité à l'air et au radon ; on examinera également l'étanchéité de tous les raccords.

Chapitre 5

Protection contre le radon par guidage des flux d'air

5.1 Aperçu des mesures de protection

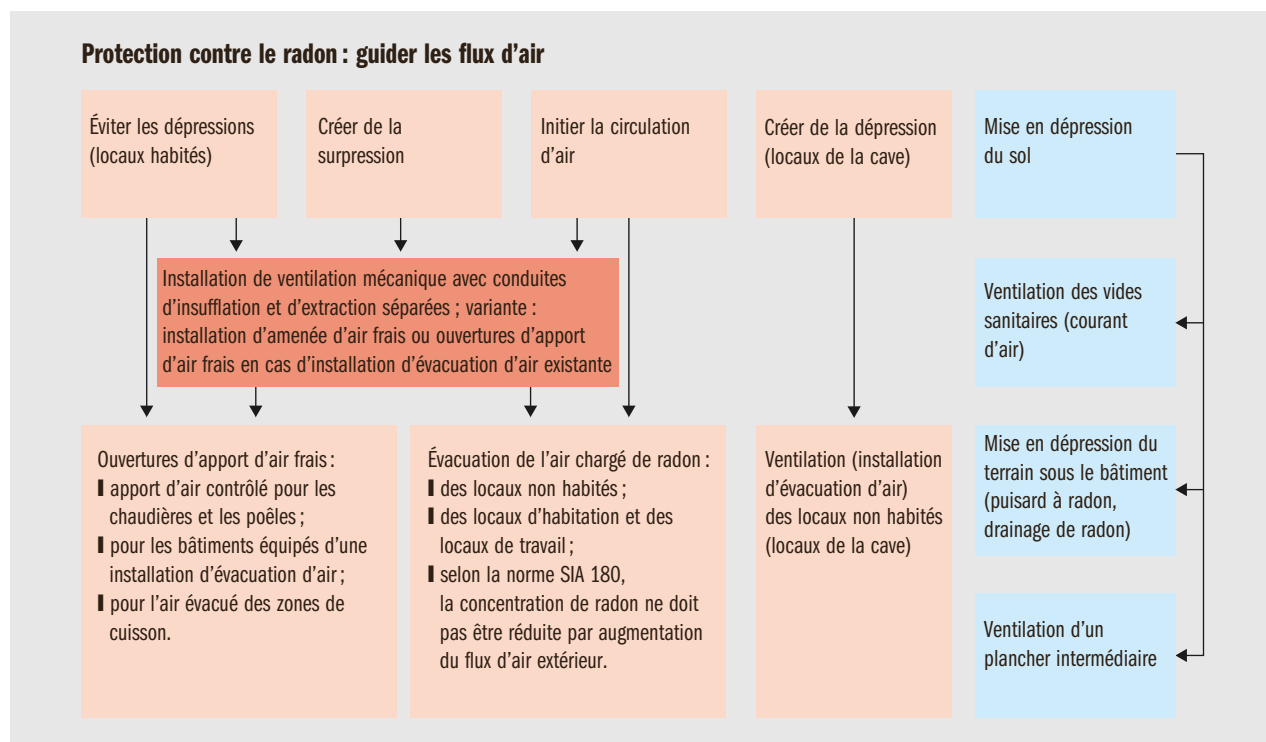
Le radon est transporté par l'air. Le gaz radioactif peut s'être concentré dans l'air du sol et parvenir avec celui-ci dans l'atmosphère et les bâtiments. Cet apport de radon peut éventuellement conduire à des concentrations critiques dans l'air ambiant des locaux – notamment de locaux hermétiquement fermés ou mal aérés. Les caves ainsi que les locaux d'habitation et de travail, surtout ceux des étages inférieurs d'un bâtiment, sont souvent concernés.

Afin de réduire ce potentiel de danger, la pénétration d'air riche en radon devrait autant que possible être empêchée. Comme mesure d'appoint, la ventilation de l'air riche en radon peut contribuer à la résolution du problème.

Les mesures peuvent être subdivisées en cinq groupes (Figure 5.1) :

■ éviter que les locaux d'habitation et de travail soient en dépression par rapport à l'extérieur ou à l'espace situé en dessous ;

Figure 5.1 : Protection contre le radon par action sur les conditions de pression et par une circulation d'air définie dans le bâtiment.



- créer une surpression dans les locaux habités ;
- initier la circulation d'air ;
- mise en dépression des locaux de la cave (ventilation des locaux de la cave) ;
- mise en dépression du sol situé sous le bâtiment.

Un choix de diverses méthodes de ventilation est proposé dans chacun des cinq groupes (Tableau 5.2).

La diffusion du radon dans les locaux est comparable à celle de la vapeur d'eau ; l'apport de radon qui en résulte est extrêmement faible comparé à l'apport par convection. Selon les mesures, il s'agit de quelques pour cent seulement.

Les enveloppes des bâtiments doivent être conçues et réalisées de manière étanche. La norme SIA 180 contient une liste des valeurs limites et des valeurs cibles pour la perméabilité à l'air ; ces valeurs sont différentes selon qu'il s'agit de nouvelles constructions ou de bâtiments transformés et dépendent de la méthode ou du système de ventilation utilisé. L'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment exerce également une influence sur la concentration de polluants de l'air

Figure 5.2: Le remplacement de l'air ambiant par de l'air extérieur exerce une grande influence sur la concentration de radon dans les locaux.

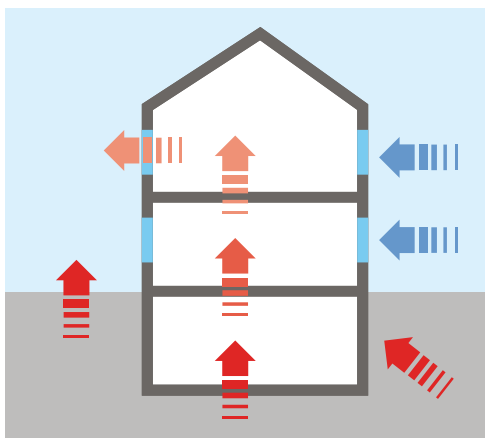


Tableau 5.1: Étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment: débit volumique de fuite admissible (norme SIA 180).

	Valeurs limites pour les bâtiments		Valeur cible
Unité : $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$	Ventilation naturelle	Ventilation mécanique	En général
Nouvelles constructions	2,4	1,6	0,6
Transformations, rénovations	3,6	2,4	1,5

ambiant. Dans les locaux en dépression, de l'air, éventuellement extérieur, est aspiré par le biais des constructions – avec parfois des conséquences préoccupantes, de nombreux matériaux contenant des substances nocives. D'un autre côté, les points non étanches de la partie de l'enveloppe du bâtiment située en dehors du terrain provoquent une circulation d'air conduisant à une réduction de la concentration de radon («dilution»). Il peut en résulter une contradiction en matière d'objectif, à discuter avec les spécialistes. Ce qui demeure certain, c'est que les murs et les sols en contact avec le terrain étanches à l'air constituent une protection efficace contre le radon.

Pour l'évaluation de l'étanchéité des enveloppes de bâtiments, le SIA fixe des valeurs limites et des valeurs cibles pour le débit volumique de fuite horaire par mètre carré de surface enveloppante admettant que les ouvertures de ventilation soient fermées (Tableau 5.1). Les surfaces en contact avec le terrain font explicitement partie de cette surface enveloppante. Le débit en question est mesuré pour une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur de 50 Pa. Le respect des valeurs limites selon la norme SIA 180 ne garantit pas que l'enveloppe du bâtiment soit étanche au radon, des points d'infiltration isolés pouvant conduire à des apports de radon. Les éléments de construction concernés devraient donc remplir des exigences particulièrement élevées en matière d'étanchéité.

Les flux d'air sont la conséquence de différences de température et de pression plus ou moins naturelles, ou d'une impulsion mécanique fournie généralement par un ventilateur. Dans certains cas, cela peut conduire à une importante consommation d'électricité. Pour une puissance installée de 50 W, le moteur d'un ventilateur consomme déjà plus de 400 kWh par an. En outre, les aérations mécaniques exigent elles aussi des ventilateurs, ainsi que de l'entretien et de la maintenance. Les systèmes passifs seront donc privilégiés par rapport aux installations actives.

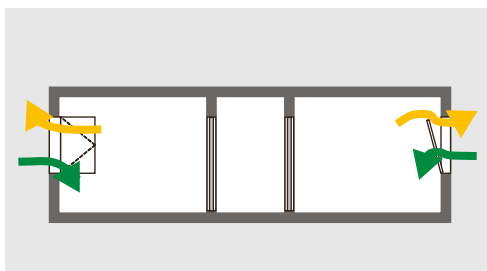


Figure 5.3 (à gauche) :
Aération par les fenêtres.

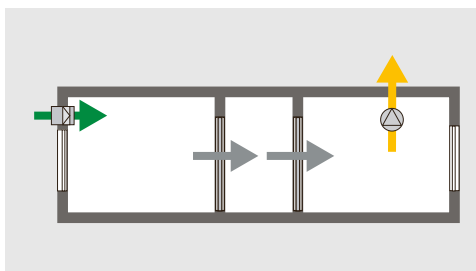


Figure 5.4 (à droite) : Installation simple d'évacuation d'air avec apport d'air contrôlé.

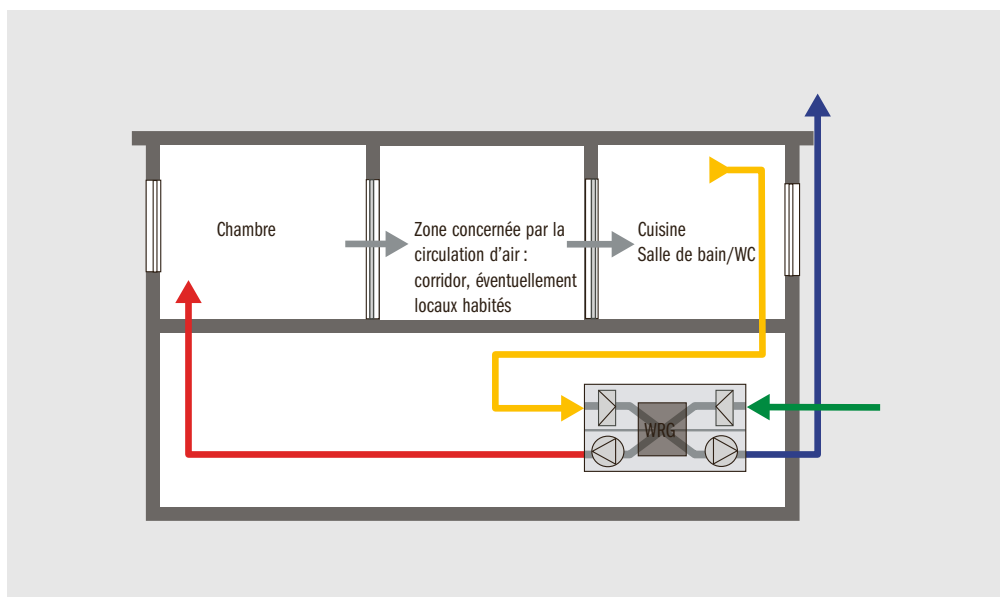


Figure 5.5 : Installation de ventilation simple.

Méthode, système	Remarques	Adéquation à la protection contre le radon
Aération par les fenêtres Figure 5.3	Impossible dans de nombreux bâtiments pour des raisons de bruit et de confort	Inappropriée par manque de systématique dans la circulation de l'air
Installation simple d'évacuation d'air Figure 5.4	Type d'installation équipant de nombreux bâtiments ; les défauts d'étanchéité souvent présents dans les constructions génèrent de la dépression.	Appropriée uniquement avec des ouvertures d'apport d'air frais (sinon risque de dépression dans les locaux).
Installation simple de ventilation avec conduites d'insufflation et d'extraction séparées Figure 5.5	En général, les nouvelles installations sont équipées d'un système de récupération de chaleur. Les débits de pulsion et d'extraction peuvent être choisis à l'aide de ventilateurs à régulation de régime.	Appropriée. Très appropriée, lorsque le flux d'air entrant est supérieur au flux d'air évacué (surpression). Veiller au bilan d'air.
Ventilation individuelle des pièces	En général, les nouveaux appareils sont équipés d'un système de récupération de chaleur. Prudence en ce qui concerne les émissions sonores.	Approprié en principe ; veiller au bilan d'air (débits de pulsion et d'extraction égaux).
Installation de ventilation équipée d'un système de chauffage d'air	De nombreux bâtiments dont l'air entrant est chauffé présentent des problèmes de confort.	Appropriée, en particulier lorsque le flux d'air entrant est supérieur au flux d'air évacué (surpression). Veiller au bilan d'air.

Tableau 5.2 : Méthodes et systèmes de renouvellement de l'air selon le cahier technique SIA 2023.

5.2 Éviter les dépressions

En cas de dépression dans les locaux de séjour, de l'air chargé de radon pourrait être aspiré depuis les locaux contigus, par exemple, depuis la cave, la construction ou le terrain situé sous le bâtiment. La dépression dans les locaux habités résulte du fait que l'air de ces locaux est plus chaud que celui des locaux contigus ou que l'air extérieur. En général, le gradient de pression est donc plus grand en hiver que durant les saisons chaudes. Dans les bâtiments chauffés, l'air chaud monte (sa densité est plus faible). Ce flux d'air convectif ascendant – connu comme effet de cheminée – provoque un gradient de pression vertical dans la maison (la pression dans les étages inférieurs est plus faible que celle dans les étages supérieurs). C'est pourquoi une dépression par rapport aux locaux non chauffés, aux locaux de la cave ou au terrain situé sous la maison apparaît dans les étages inférieurs. Les puits de lumière et les gaines techniques accentuent cet effet.

Par réduction du taux d'évacuation par réglage sur les installations d'évacuation, par les ouvertures d'apport d'air frais ou au moyen d'une installation d'apport d'air frais, les dépressions peuvent être réduites (Tableau 5.3). Ces mesures sont surtout ap-

propriées aux bâtiments existants. Pour les nouvelles constructions, des installations simples de ventilation avec conduites d'insufflation et d'extraction séparées constituent une solution idéale. Si les dimensions des ouvertures d'apport d'air frais sont trop petites ou si les ouvertures ne s'ouvrent qu'en cas de dépression, de l'air chargé de radon pourrait être aspiré depuis le terrain sous le bâtiment, malgré les ouvertures. Le principe de la «moindre contrainte» est déterminant.

Dans beaucoup de maisons, les **poêles de salon, les cheminées et les chaudières** utilisent l'air ambiant des locaux d'habitation ou du secteur de la cave comme air de combustion. Durant la combustion, l'air ambiant est évacué vers l'extérieur sous forme de fumé par la cheminée. Le volume de l'air de combustion dépend de la puissance de chauffage, donc à nouveau de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur.

La solution professionnelle consiste à installer un apport d'air de combustion séparé comme cela est souvent le cas pour les cheminées et les chaudières des nouvelles constructions et comme cela est exigé par la norme SIA 180. Le dimensionnement est

Tableau 5.3: Éviter les dépressions – 3 mesures possibles.

Réduire le taux d'air vicié*	Ouvertures d'apport d'air frais	Installation d'amenée d'air frais*
L'installation d'évacuation d'air de la salle de bain et des WC n'est en service que si le local est utilisé (interrupteur couplé à l'interrupteur électrique). Autre possibilité: réduire le flux d'air évacué sur l'installation.	Installation d'ouvertures d'apport d'air frais par un trou percé dans le mur extérieur, couvert des deux côtés; faire attention à l'eau de condensation (Figure 5.6). Une ouverture d'apport d'air frais est dite «active» lorsqu'un ventilateur initie le flux d'air entrant.**	Les installations d'amenée d'air frais sont rarement appropriées, surtout dans les anciennes maisons équipées d'une installation d'évacuation d'air. Une installation d'amenée d'air frais peut conduire à des problèmes de confort si l'air amené n'est pas chauffé. La capture de l'air frais devrait s'effectuer à au moins 3 m au-dessus du sol.
Remplacer l'installation d'évacuation de l'air vicié de la cuisine par un système de circulation d'air.	Compléter l'installation d'évacuation de l'air vicié de la cuisine par une ouverture d'apport d'air frais. Le clapet peut être réglé de manière à ce qu'il ne soit ouvert que si l'installation d'évacuation de l'air vicié de la cuisine est en service.	
Solution très bon marché	Solution relativement bon marché	Solution relativement onéreuse
* Dans les locaux avec une installation de ventilation mécanique (équipée pour l'air frais et l'air vicié), les débits volumiques d'air frais et d'air vicié peuvent être fixés de cas en cas par des ventilateurs à régulation de régime. Un flux d'air entrant de 5 % supérieur au flux d'air évacué empêche la formation d'une dépression.		
** Les bouches d'air d'un mur extérieur sont désignées comme ouvertures d'apport d'air frais, celles d'un mur ou d'une porte de chambre comme des orifices de trop-plein. Les deux types d'ouverture peuvent être exploités activement, donc avec ventilateur, ou passivement.		

effectué en fonction des besoins en air de combustion et donc en fonction de la puissance de chauffage. Dans le cas des chaudières, cet apport d'air concerne l'installateur de chauffage, dans le cas des cheminées l'architecte ou le poêlier-fumiste.

Un risque de dépression existe dans les locaux d'habitation également du fait des appareils d'évacuation d'air vicié des zones de cuisson et des salles d'eau. Soit ces appareils sont intégrés au système de circulation d'air ou alors ils doivent être complétés par une ouverture d'apport d'air frais.

Lorsque le bâtiment a 5 mètres de hauteur et lorsque la différence de température entre

l'intérieur et l'extérieur est de 20 K, une dépression peut apparaître sur le sol du rez-de-chaussée pouvant entraîner plusieurs mètres cubes d'air par heure par une fissure d'un mètre de long et d'un millimètre de large. C'est pourquoi les dépressions ne peuvent souvent pas être totalement évitées.

■ **Débit volumique d'air extérieur :** La norme SIA 382/1 contient les valeurs directrices relatives au taux d'air extérieur. Pour les locaux d'habitation et les chambres à coucher : 30 m³ par personne, la nuit 15 m³ par personne. Lorsque les flux d'air traversent des pièces, des valeurs plus élevées s'appliquent aux installations de ventilation.

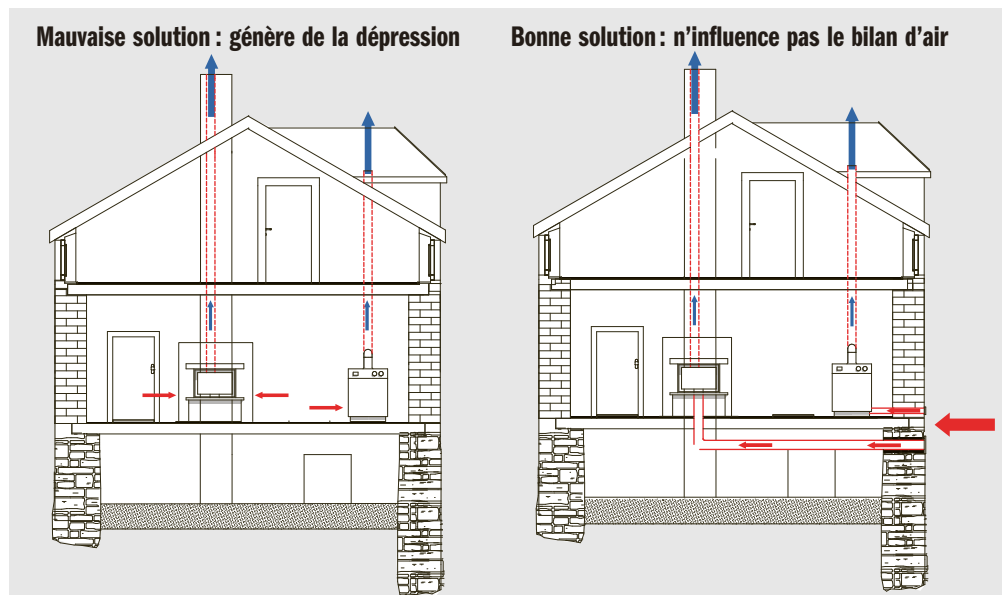


Figure 5.6 : Par une amenée d'air de combustion (cheminée) et une évacuation d'air vicié de la zone de cuisson indépendantes de l'air ambiant, on évite une mise en dépression des locaux d'habitation (source : SMUL).

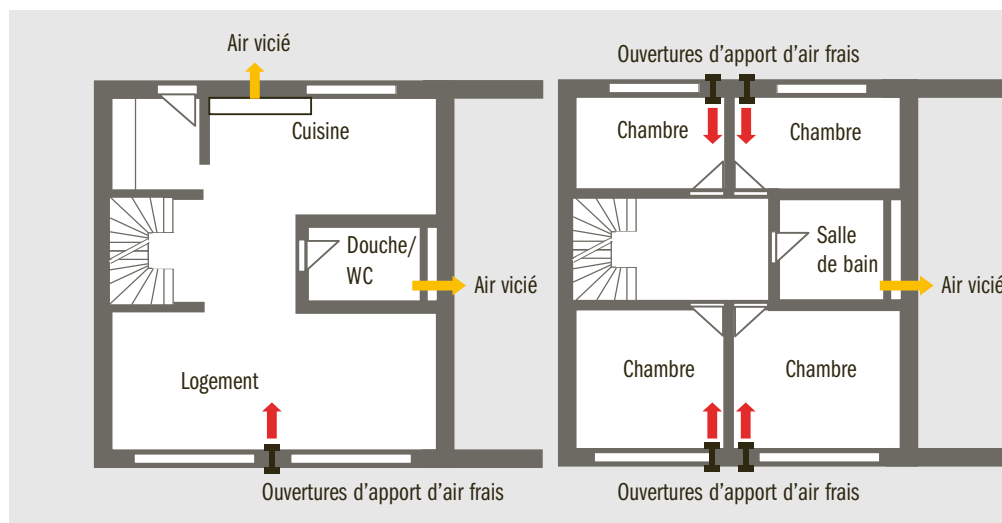


Figure 5.7 : Solution simple de renouvellement de l'air pour un logement avec une installation d'évacuation d'air et des ouvertures d'apport d'air frais.

5.3 Créer de la surpression

Une légère surpression de 2 à 3 Pascal à l'intérieur d'un bâtiment peut empêcher la pénétration d'air du sol chargé de radon dans le bâtiment. Dans les locaux aérés mécaniquement, donc dans les bâtiments disposant d'une installation de ventilation (équipé pour l'air frais et l'air vicié), les débits volumiques d'air apporté et d'air évacué peuvent être fixés de cas en cas par des ventilateurs à régulation de vitesse. Un flux d'air apporté supérieur de 5 % au flux d'air évacué engendre une légère surpression dans les locaux. Une différence de pression aussi faible est cependant difficile à régler et l'installation est donc difficile à exploiter. Dans les bâtiments sans installation de ventilations mécaniques, une installation d'apport d'air frais constitue une alternative (cf. § 5.2). Par la création d'une surpression dans les locaux potentiellement ou effectivement chargés en radon, la protection contre le radon se trouve partiellement en conflit avec la norme SIA 180 «Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments». Car la surpression engendre un débit volumique d'air évacué passant à travers les points de fuite de l'enveloppe du bâtiment. Les valeurs limites de la norme SIA 180 s'appliquent à ces points de fuite (Tableau 5.1). En outre, les déperditions de chaleur dues à la ventilation

augmentent de ce fait considérablement. Il est donc important que la conception de la protection soit basée sur une légère surpression et des espaces ventilés petits.

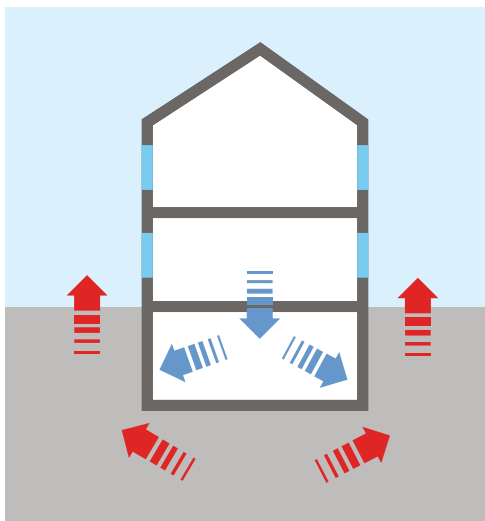


Figure 5.8: Une surpression dans le bâtiment empêche la pénétration de radon.

5.4 Initier la circulation d'air

Le renouvellement de l'air des locaux s'opère par le biais de l'ouverture des fenêtres, d'une installation d'évacuation d'air ou d'une installation de ventilation mécanique (Tableau 5.4).

Dans la mesure où une installation de ventilation (mécanique) simple, équipée pour

l'air frais et l'air vicié, et en règle générale, d'un système de récupération de chaleur, est planifiée et installée correctement, elle constitue une solution fiable de renouvellement de l'air et ainsi de réduction de la concentration de radon dans les locaux aérés (norme SIA 180).

Aération par les fenêtres	Aération par des fenêtres à servomoteurs	Installation d'évacuation d'air	Installation de ventilation mécanique
Opération manuelle, concernant, si possible, deux fenêtres en face l'une de l'autre.	De petits moteurs ouvrent et ferment les fenêtres, le réglage automatique étant facultatif.	L'air vicié est évacué des salles d'eau et de la cuisine.	Apport d'air frais et évacuation d'air vicié via une installation de ventilation, en général équipée d'un système de récupération de chaleur.
– Inconvénient: conduit à des déperditions de chaleur relativement élevées (déperditions par ventilation). Souvent le confort est également insuffisant.	– Inconvénient: génère de la dépression et entraîne souvent un appel d'air par le biais de la construction.	– Inconvénient: coûts élevés, difficile à installer dans les bâtiments anciens (question de place). Génère de la dépression, ce qui peut entraîner un apport d'air riche en radon.	– Inconvénient: risque de dépression si le bilan d'air n'est pas correct.
+ Avantage: bon marché	+ Avantage: relativement bon marché	+ Avantage: souvent déjà existant	+ Avantage: grand confort, économie d'énergie
En résumé: guère appropriée à la protection contre le radon en raison d'un manque de systématique dans le renouvellement de l'air.	En résumé: ne convient qu'en partie à la protection contre le radon (la systématique du renouvellement d'air peut être programmée).	En résumé: non appropriée à la protection contre le radon (uniquement avec des ouvertures d'apport d'air frais).	En résumé: solution idéale pour la protection contre le radon, sous réserve d'une mise en place professionnelle.

Tableau 5.4:
Renouvellement de l'air.

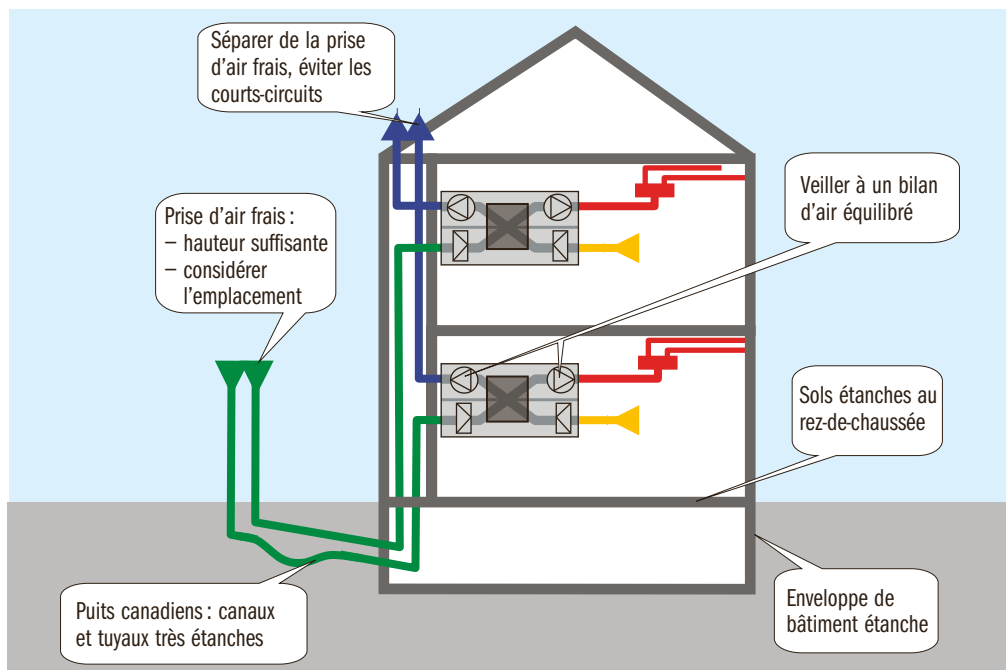


Figure 5.9: Points importants de la planification d'une installation de ventilation d'un logement, cf. également le cahier technique SIA 2023.

5.5 Mise en dépression du sol situé sous le bâtiment

L'évacuation d'air du sol chargé de radon par la mise en dépression du terrain sous le bâtiment constitue une mesure de protection très efficace contre le radon. Toutefois dans de nombreux bâtiments existants cela est difficile à mettre en œuvre et peut entraîner des déperditions de chaleur. Les mesures suivantes entrent en ligne de compte :

- ventilation des vides sanitaires ;
- mise en dépression du terrain sous le bâtiment (puisard à radon, drainage, intervention standard au Tessin) ;
- ventilation d'un plancher intermédiaire.

Par principe, on distingue deux méthodes :

- mesures d'évacuation d'air entraînant un apport d'air frais (courant d'air) : le renouvellement de l'air réduit la concentration de radon par dilution ;
- aspiration et évacuation d'air du sol chargé de radon (effets de dépression) : une dépression est créée dans les vides sanitaires aspirant l'air chargé de radon à partir du sol.

Ventilation des vides sanitaires

Les bâtiments non construits sur des caves sont souvent érigés sur un vide sanitaire, car celui-ci empêche la survenue de problèmes d'humidité. Les ouvertures destinées à la ventilation de ces vides peuvent être propices à la protection contre le radon. À cet effet, il y a éventuellement lieu de les agrandir et de les disposer de manière optimale. On peut également utiliser des ventilateurs engendrant activement un flux d'air. À cet égard, il existe deux méthodes : soit on laisse arriver de l'air extérieur par les ouvertures de ventilation (Figures 5.10, 5.11 et 5.12) soit on renonce consciemment aux ouvertures d'apport d'air frais en jouant sur l'effet de dépression (Figure 5.13). Dans ces conditions, de l'air chargé de radon est aspiré et évacué du sol du fait de la dépression créée dans le vide sanitaire.

Pour éviter que le débit d'air ne s'élève trop, les surfaces entourant le vide sanitaire devraient être aussi étanches que possible. Les

Figure 5.10 : Principe de base de la mise en dépression avec apport d'air frais (courant d'air).

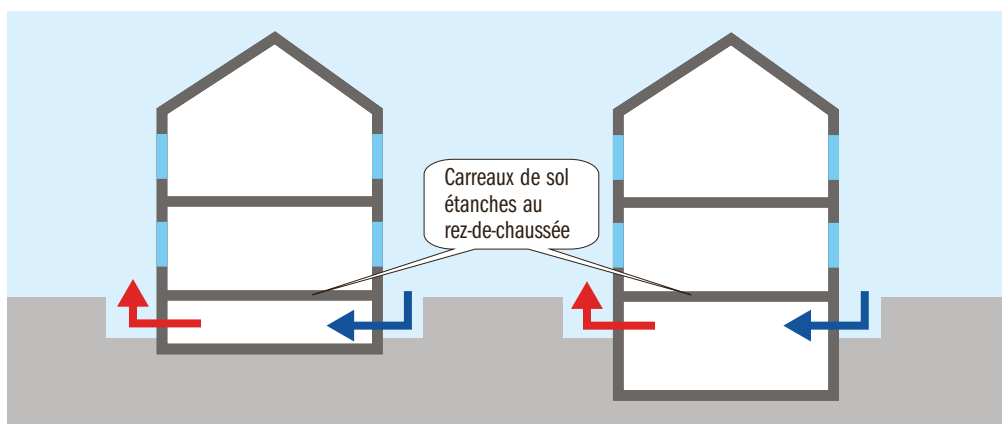


Figure 5.11 (à gauche) : Un flux d'air circulant en diagonale améliore la circulation d'air.

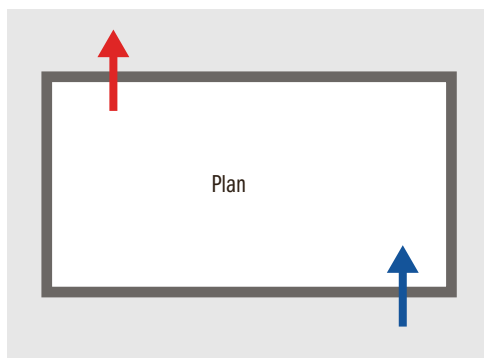
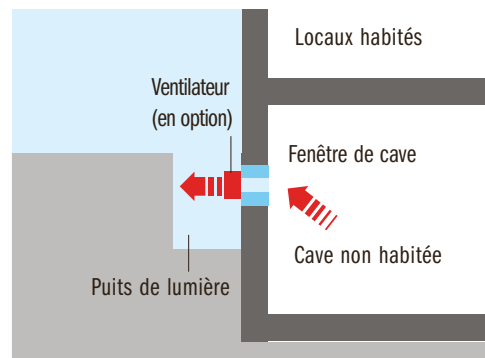


Figure 5.12 (à droite) : La mise en dépression peut s'opérer de manière active par un ventilateur.



surfaces entourant le vide sanitaire et en contact avec la cave ou un local de séjour doivent absolument être étanches.

Que la ventilation sous le bâtiment s'opère de manière passive ou active dépend de la nature des locaux aux niveaux spatial et architectural ainsi que de la concentration de radon. Une ventilation fondée sur un ventilateur est par nature plus efficace qu'une ventilation naturelle.

Même si le vide sanitaire d'un bâtiment n'est ventilé qu'en partie, cela exerce un effet positif sur l'ensemble du rez-de-chaussée, car la dépression engendre une aspiration à grande échelle si bien que la concentration de radon est réduite dans l'ensemble de l'étage.

Les constructions en terrasses présentent selon leur emplacement un risque accru en radon du fait des grandes surfaces de l'enveloppe des bâtiments en contact avec le terrain. Selon le cas, la ventilation par en dessous ou par l'arrière de locaux présentant une grande surface d'enveloppe en contact avec le terrain peut être une mesure judicieuse pouvant être favorisée de cas en cas par des ouvertures latérales.

Mise en dépression du terrain sous le bâtiment

Cette mesure est généralement la solution la plus favorable. Dans ce cas, on crée une dépression sous le radier. Au contraire de la ventilation du vide sanitaire, aucun air extérieur n'est ainsi entraîné, mais plutôt de l'air du sol chargé de radon. L'efficacité dépend donc du fait de pouvoir créer une dépression générale par rapport aux locaux de la cave situés au-dessus. Cela peut par exemple être atteint grâce à du remblai posé directement sous le radier et à des sols compacts situés en dessous.

Puisard à radon

L'aspiration de l'air du sol peut être mise en œuvre ponctuellement par le biais d'un puisard à radon. Dans ce cas, il faut s'assurer que l'air puisse être aspiré sur toute l'étendue de la fondation. La ventilation ponctuelle peut être effectuée ainsi :

- utilisation de cavités (gaines techniques) en liaison avec le terrain sous la dalle de fondation ;
- en cas de présence de remblai sous le bâtiment, percement de la dalle et trou dans le remblai sous-jacent ; ensuite l'air du sol est aspiré au moyen d'un ventilateur et conduit vers l'extérieur via des tuyaux. Au besoin, plusieurs trous peuvent être reliés à une conduite d'aspiration commune. La puissance du ventilateur sera choisie en fonction de la perméabilité du sol et de la pression de l'air du sol ;

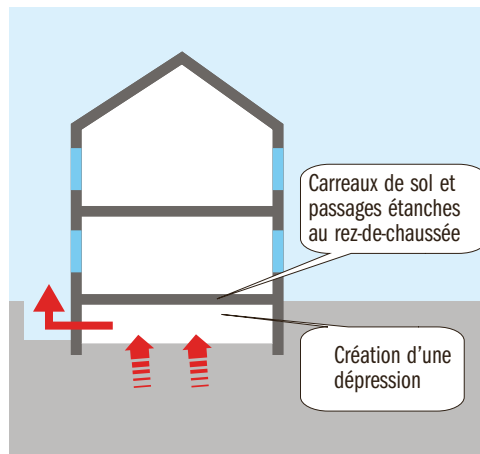


Figure 5.13 : Principe de base d'une mise en dépression.

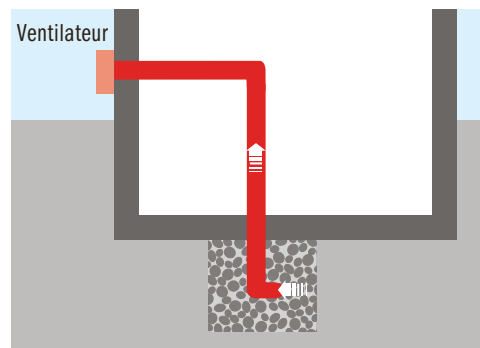


Figure 5.14 : Puisard à radon interne.

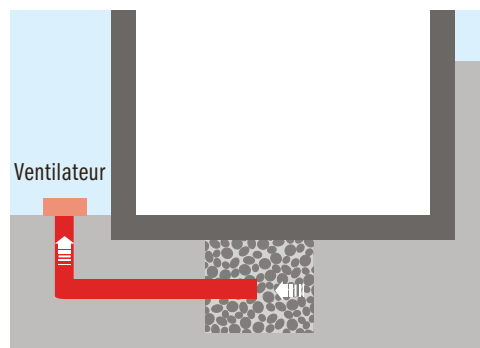


Figure 5.15 : Puisard à radon externe.

■ excavation d'un puit (env. 0,5 x 0,5 x 1 m).

Les tuyaux d'évacuation peuvent également être installés hors du bâtiment (puisard à radon externe, Figure 5.15).

Figure 5.16 : Intégration d'un drainage de radon dans du remblai ou du gravier (distance intertuyaux jusqu'à 8 m).

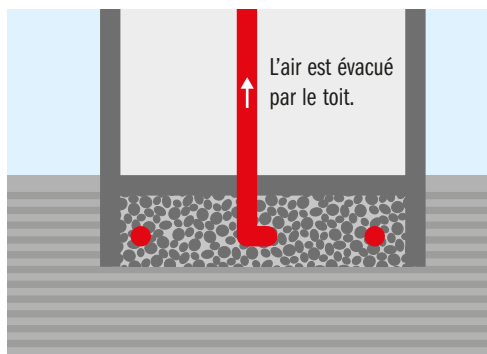


Figure 5.17 : Intégration d'un drainage de radon avec une couche de béton maigre en sus (vert) dans le cas de sols hautement perméables.

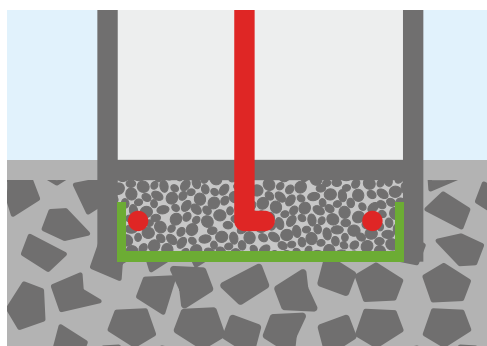


Figure 5.18 : Intégration d'un drainage de radon dans un terrain compact (distance intertuyaux de 1 à 3 m).

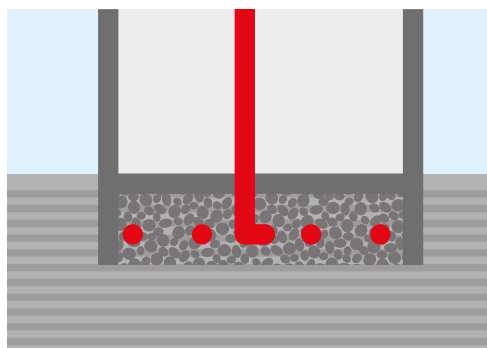
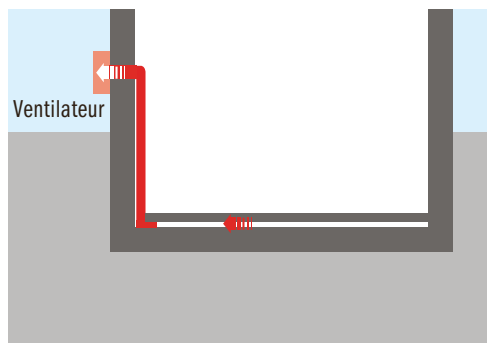


Figure 5.19 : Mise en dépression d'un plancher intermédiaire.



Drainage de radon

Le drainage de radon est encore plus efficace. Des tuyaux de drainage (conduites de drainage ou canaux plats à côté inférieur perforé) d'un diamètre usuel de 10 cm sont disposés sous le bâtiment. Le terrain en contact avec eux doit présenter une perméabilité suffisante à l'air. Celle-ci détermine la manière de poser les tuyaux. Plus le sol est compact, plus le système de tuyaux doit être serré. Si les tuyaux sont placés dans une couche de gravier ou de remblai, ils peuvent être disposés en serpentín, en respectant un écartement maximal de 8 mètres, le système étant connecté à un conduit d'évacuation (tube à paroi solide). En cas de pose directe dans un terrain compact, un écart de 1 à 3 mètres est nécessaire entre les tuyaux. Les drainages sont indiqués pour les assainissements, dans les nouvelles constructions on préférera plutôt un radier étanche. Installer un système de drainage de radon revient à intégrer un nouveau sol dans le bâtiment. Ce sol doit être étanché sur toute sa surface au moyen de membranes bitumeuses ou autres membranes, car sans cela de l'air des locaux est aspiré avec les pertes d'efficacité correspondantes.

Mise en dépression d'un plancher ventilé

Les planchers doubles peuvent être réalisés de différentes manières. Ils peuvent également être introduits dans les bâtiments existants pour autant que la hauteur des locaux le permette. Il existe aussi des produits prêts à être montés et s'appliquant principalement aux bureaux. La cavité devrait être d'un seul tenant. L'air situé entre les deux planchers est extrait, soit de manière passive, soit de manière active au moyen d'un ventilateur, et évacué vers l'extérieur par un système de conduits. Bien entendu, le plancher supplémentaire doit être, autant que possible, étanche à l'air par rapport au local. Cette méthode peut également s'appliquer à des murs en contact avec le terrain.

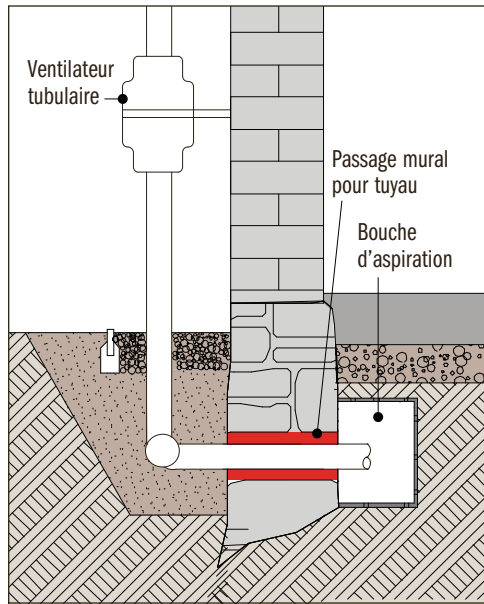


Figure 5.20 (à gauche):
Puisard à radon (source :
SMUL).

Figure 5.21 (en bas): Drainage de radon (source :
SMUL).

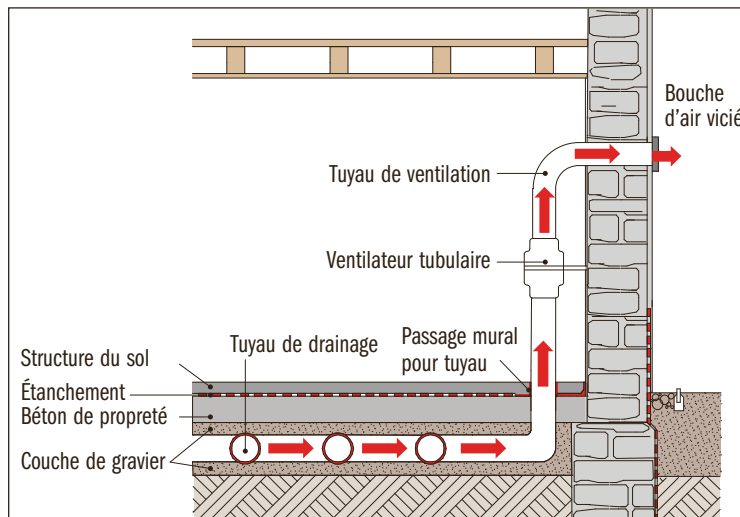
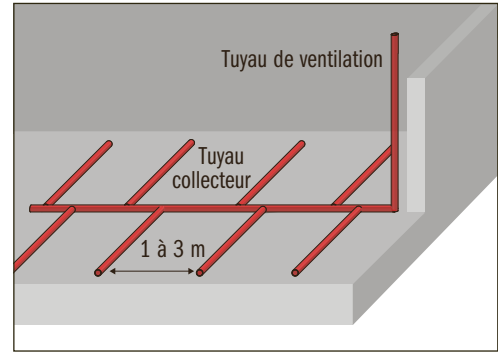
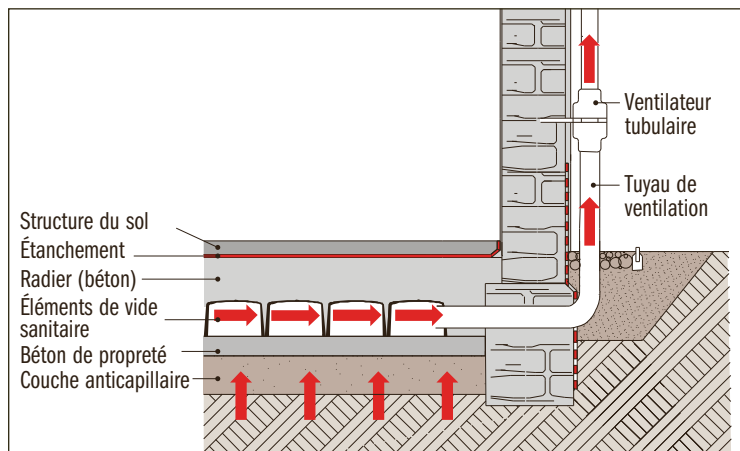


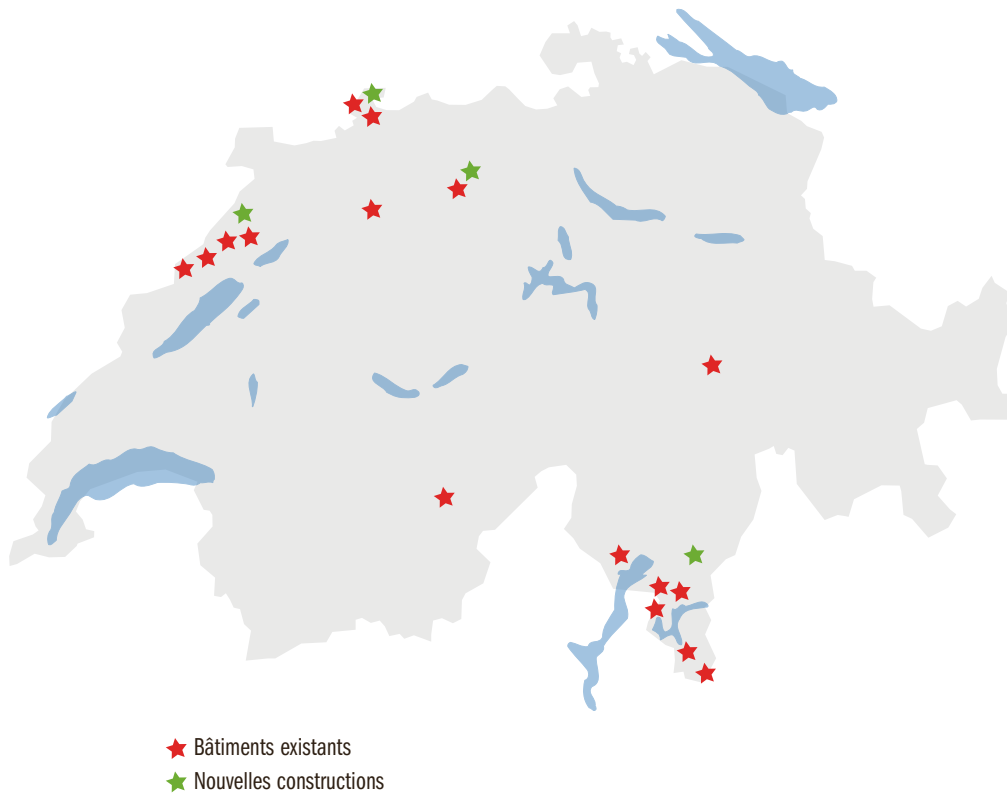
Figure 5.22 et 5.23: Drainage de radon en coupe verticale. En général, il est plus simple de monter les tuyaux d'évacuation de l'air vicié par un local de cave que de les monter en périphérie de l'enveloppe du bâtiment. Les ventilateurs tubulaires n'étant pas complètement étanches, le montage à l'intérieur présente également des inconvénients. C'est pourquoi le ventilateur devrait être monté aussi près que possible de la bouche d'évacuation (source : SMUL).



Chapitre 6

Exemples

6.1 Aperçu



Bâtiments existants : exemples						
Région	District	Objet (année de construction)	Concentration de radon avant assainissement	Concentration après ass.	Mesures	Page
Tessin	Mendrisio	Maison familiale (1962)	REZ : jusqu'à 2200 Bq/m ³	jusqu'à 202 Bq/m ³	Puisard extérieur	53
Tessin	Mendrisio	Immeuble d'habitation	REZ : jusqu'à 1900 Bq/m ³ SS : jusqu'à 4300 Bq/m ³	jusqu'à 102 Bq/m ³	Ventilation de la cave	56
Tessin	Lugano	Maison fam. (env. 1960)	E : jusqu'à 980 Bq/m ³	jusqu'à 190 Bq/m ³	Puisard intérieur	59
Tessin	Malcantone	Maison familiale (1960)	REZ : jusqu'à 2900 Bq/m ³	jusqu'à 54 Bq/m ³	Ventilation du vide sanitaire	62
Tessin	Sottoceneri	Maison familiale (1960)	jusqu'à 2000 Bq/m ³	jusqu'à 53 Bq/m ³	Mise en dépression du terrain	65
Tessin	Locarno	Maison familiale	jusqu'à 3000 Bq/m ³	350 Bq/m ³	Étanchement et aération de la cave	67
Grisons	Surselva	Maison familiale (env. 1700)	REZ : jusqu'à 2500 Bq/m ³ SS : sup. à 10 000 Bq/m ³	inf. à 300 Bq/m ³	Cave en tant que puisard	69
Suisse romande	Jura bernois	Maison familiale (17 ^e siècle)	Cave : 3280 Bq/m ³ Bureau : 2997 Bq/m ³ Cuisine habitable : 2335 Bq/m ³	100 Bq/m ³ à 600 Bq/m ³	Installation de ventilation par surpression dans la buanderie	73
Suisse romande	Franches-Montagnes	Maison familiale (2005)	Salle de bain : jusqu'à 14 000 Bq/m ³	inf. à 250 Bq/m ³	Puisard extérieur	75
Suisse romande	Jura neuchâtelois	École (fin des années 1990)	REZ : jusqu'à 8000 Bq/m ³ Cave : jusqu'à 15 000 Bq/m ³	150 Bq/m ³	Mise en dépression du vide sanitaire	77
Suisse romande	Jura neuchâtelois	Maison familiale (1956)	jusqu'à 4500 Bq/m ³	inf. à 80 Bq/m ³	Puisard extérieur	81
Valais	Haut-Valais	École (années 1950)	Salle de classe : 390 Bq/m ³ Atelier : 3140 Bq/m ³	Salle de classe : 60 Bq/m ³ , Atelier : 783 Bq/m ³	Optimisation de la ventilation	84
Plateau	Soleure	Jardin d'enfants (env. 1970)	REZ : jusqu'à 2700 Bq/m ³	inf. à 100 Bq/m ³	Mise en dépression du vide sanitaire	89
Plateau	Olten	Maison familiale (1974)	Cave : jusqu'à 4500 Bq/m ³ Couloir : 1800 Bq/m ³	300 Bq/m ³	Porte de cave neuve et étanche	92
Suisse du nord-ouest	Bâle	Bâtiment administratif (1903)	Cave : jusqu'à 1500 Bq/m ³	100 Bq/m ³	Ventilation du SS	95
Suisse du nord-ouest	Riehen	Maison familiale (1921)	Cave : 1930 Bq/m ³ Salon : 290 Bq/m ³ Chambre à coucher : 130 Bq/m ³	Pas d'indication	Démontage de la cheminée	98
Immeuble d'habitation présentant des conc. de radon très élevées		Maison familiale	SS : 55000 Bq/m ³ Locaux d'hab. : jusqu'à 9000 Bq/m ³ App. de vac. : jusqu'à 3500 Bq/m ³	Pas de réduction des conc. de radon	Drainage de radon, ventilation mécanique au SS	101

Nouvelles constructions : exemples				
Région	District	Objet (année de construction)	Mesures	Page
Tessin	Bellinzone	Maison familiale (2013)	Étanchement des passages de conduites, radier en béton XC2, système de drainage préventif, apport d'air mécanique pour équilibrer les pressions	103
Suisse romande	Franches-Montagnes	Maison familiale (assainissement global 2015)	Enveloppe de bâtiment étanche, ventilation de confort Éventuellement VMC (ventilation mécanique contrôlée)	106
Plateau	Olten	École (2013)	Valeurs de radon entre 10 et 789 Bq/m ³ (puits d'eau souterraine), aucune mesure nécessaire	108
Suisse du nord-ouest	Riehen	Jardin d'enfants (2017)	Radier du rez-de-chaussée et murs en contact avec le terrain en béton imperméable à l'eau, drainage de radon sous le radier, conduites d'évacuation étanchées allant du SS jusqu'au toit	109

6.2 Bâtiments existants

Maison familiale du région de Mendrisio

La maison familiale est située au Tessin, une région où le potentiel de radon est généralement élevé. Le bâtiment à deux niveaux (rez-de-chaussée et un étage) a été construit en 1962 et a subi une extension en 1999.

Les locaux d'habitation principaux (cuisine, salon, salles de bain, chambre à coucher, espace polyvalent) se trouvent à l'étage. Le rez-de-chaussée a été réaffecté récemment : à présent, à côté des locaux non habités (buanderie, cave) se trouvent également des locaux habités (atelier de bricolage, bureau). Les deux niveaux sont reliés par un escalier.

Problématique du radon

Une première mesure dosimétrique passive effectuée au salon de l'étage a indiqué une concentration de radon de 307 Bq/m³. Des concentrations nettement plus élevées étaient attendues au rez-de-chaussée. Des mesures actives ont fourni des valeurs allant jusqu'à 2218 Bq/m³ dans les locaux du rez-de-chaussée et jusqu'à 983 Bq/m³ dans ceux de l'étage.

Analyse

Le radon peut s'infiltrer dans le bâtiment par divers défauts d'étanchéité de la structure de son sol, c'est pourquoi l'installation d'un puisard a été recommandée, car elle génère une mise en dépression du terrain sous le bâtiment. Deux solutions étaient possibles :

- puisard intérieur dans la buanderie, soufflant de l'air du sol vers l'extérieur ;
- puisard extérieur situé à côté de la maison, dont la conduite est posée jusque sous la maison.

En règle générale, un puisard intérieur est plus efficace. En revanche, le puisard extérieur n'impose pas de modifications dans la structure du bâtiment et ne génère pas de bruit de ventilateur dans le bâtiment, raisons pour lesquelles la variante externe a été choisie.

Mesures

Un premier percement a été effectué à titre de test pour l'installation d'un tuyau d'évacuation, mais l'effet obtenu n'a pas été suffisant. Dans le salon du premier étage, les valeurs de radon se situaient en effet encore entre 567 et 886 Bq/m³. Il s'est avéré que le percement n'était pas assez profond, le socle de fondation n'ayant pas été traversé. Aucune dépression n'a donc pu être générée sous la maison. Un autre percement effectué en un autre endroit a été couronné de succès. Une mesure de suivi effectuée avec des dosimètres passifs sur une période de trois mois a donné les résultats suivants :

- salon (1^{er} E) : 112 Bq/m³
- couloir (REZ) : 202 Bq/m³
- bureau (REZ) : 91 Bq/m³

L'installation fonctionne en permanence durant la période de chauffage. En été, lorsque la maison n'est pas aérée, le ventilateur fonctionne uniquement la nuit.

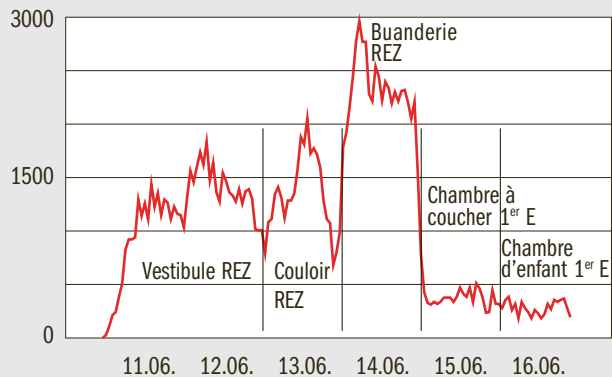
Figure 6.1 (en haut):
Le bâtiment à deux étages
présentait des défauts
d'étanchéité au niveau du
sol, ce qui a entraîné des
valeurs accrues de radon,
en particulier au rez-de-
chaussée.

Figure 6.2 (au milieu):
Les mesures actives ont
fourni des valeurs de radon
nettement accrues.

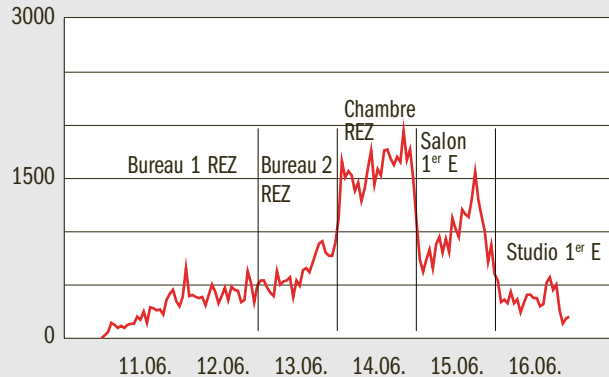
Figure 6.3 (en bas):
Le second percement aux
fins d'installation d'un pui-
sard a permis de réduire
les valeurs de radon.



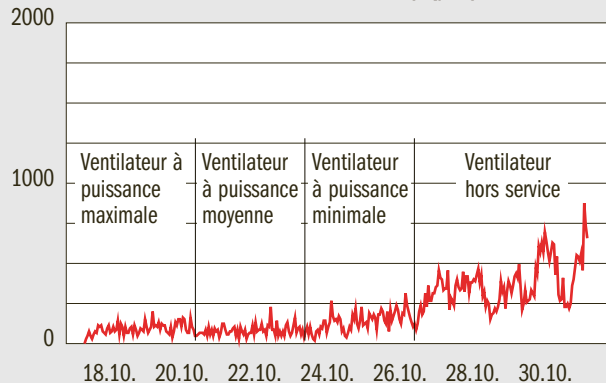
Concentration de radon (Bq/m^3)



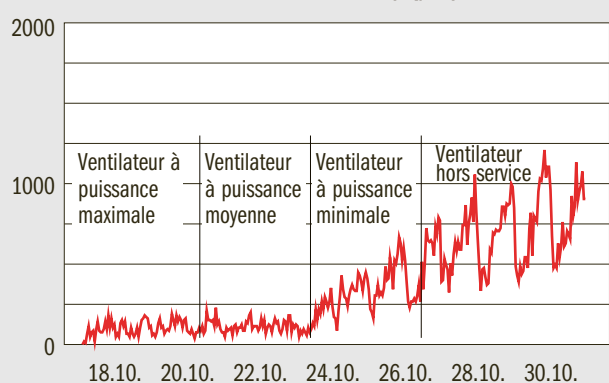
Concentration de radon (Bq/m^3)



Concentration de radon dans le vestibule REZ (Bq/m^3)



Concentration de radon dans le salon 1^{er} E (Bq/m^3)



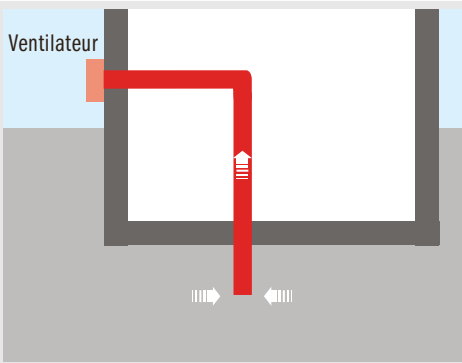
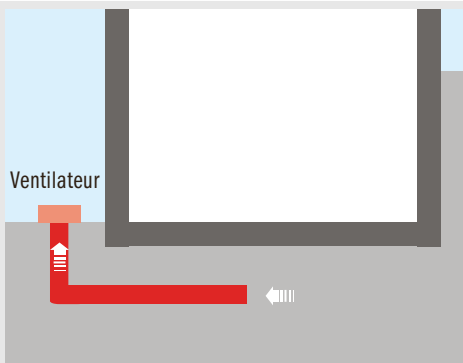
Puisard intérieur	Puisard extérieur
	
Avantages	Avantages
■ En règle générale meilleure efficacité	■ Pas de modifications dans la structure du bâtiment
	■ Moins de bruit dû au ventilateur dans les environs
Inconvénients	Inconvénients
■ Modifications dans la structure du bâtiment (trou dans le radier)	■ En règle générale efficacité moindre
■ Bruit de ventilateur dans le bâtiment et les environs	

Tableau 6.1 : Avantages et inconvénients des diverses solutions.



Figure 6.4 : Pour le puisard extérieur, un percement a été effectué à côté de la maison et un autre sous la maison.



Figure 6.5 : La bouche du puisard se trouve à côté de la maison.

Immeuble d'habitation du région de Mendrisio

L'immeuble d'habitation est situé au centre de la localité sur un terrain graveleux. L'appartement du rez-de-chaussée se trouve partiellement sur une cave. Il comprend un salon, une cuisine, une salle de bain et une chambre à coucher. La cave n'est pas habitée. La partie de l'appartement non située au-dessus de la cave est en contact direct avec le terrain. La cave et l'appartement sont reliés par une porte non étanche. Les voûtes de la cave en constituent une particularité.

Problématique du radon

La première mesure dosimétrique passive effectuée au salon indique une concentration de radon de 647 Bq/m^3 . Des mesures actives ont fourni des valeurs extrêmement élevées :

- au rez-de-chaussée jusqu'à 1919 Bq/m^3
- au sous-sol jusqu'à 4367 Bq/m^3

Analyse

Le terrain graveleux sous la maison a été identifié comme source de radon. Deux solutions ont été envisagées :

- ventilation de la cave : l'installation d'un ventilateur dans la cave provoque une mise en dépression du terrain sous la maison ;
- puisard : un puisard intérieur ou extérieur génère une dépression sous le bâtiment.

Dans un premier temps, la solution de la ventilation a été choisie en raison des coûts peu élevés. La question de la puissance du ventilateur demeurerait cependant ouverte.

Mesures d'assainissement

Un test de ventilation effectué dans le local de la cave a donné de bons résultats. Lorsque le ventilateur était en service, la concentration de radon mesurée au salon du rez-de-chaussée a diminué jusqu'à une valeur moyenne de 142 Bq/m^3 . L'installation définitive a été réalisée avec un ventilateur centrifuge d'une puissance de 41 Watts, avec un débit d'air de $250 \text{ m}^3/\text{h}$.

Des mesures dosimétriques de suivi passives ont fourni les valeurs suivantes :

- chambre à coucher (REZ) : 100 Bq/m^3
- salon (REZ) : 102 Bq/m^3

Après arrêt du ventilateur, la concentration de radon dépassait la valeur mesurée avec le dosimètre, c'est pourquoi l'installation devrait fonctionner en permanence durant la période de chauffage. De plus, la porte de la cave doit être fermée de manière étanche à l'air afin de renforcer l'effet d'aspiration et d'obtenir ainsi une dépression plus grande dans le terrain sous la maison. Pour éviter les effets négatifs du point de vue de la physique de la construction et pour ne pas péjorer le bilan énergétique du chauffage du bâtiment, il est important de vérifier la provenance de l'air évacué.



Figure 6.6 : Une cave voûtée se trouve au sous-sol du logement.



Figure 6.7 : Le logement concerné se trouve au rez-de-chaussée d'un immeuble d'habitation.

Figure 6.8 (à gauche):
Les premiers essais de ventilation ont été effectués par la fenêtre de la cave.



Figure 6.9 (à droite):
Un tuyau traversant le mur extérieur et un ventilateur centrifuge ont été installés en vue de la solution définitive.



Figure 6.10: Avant l'assainissement, les valeurs de radon étaient élevées dans tous les locaux.

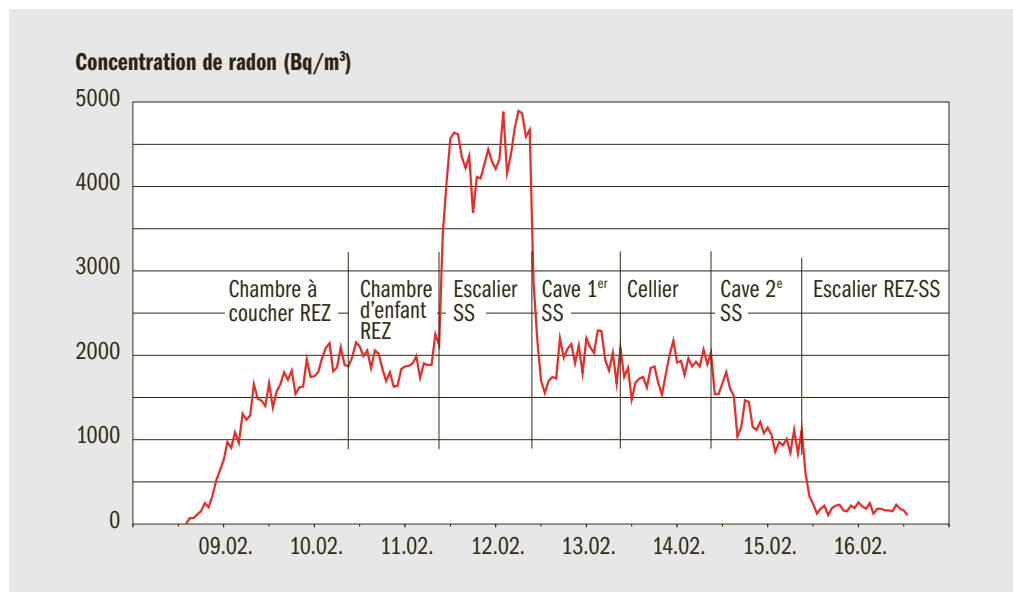
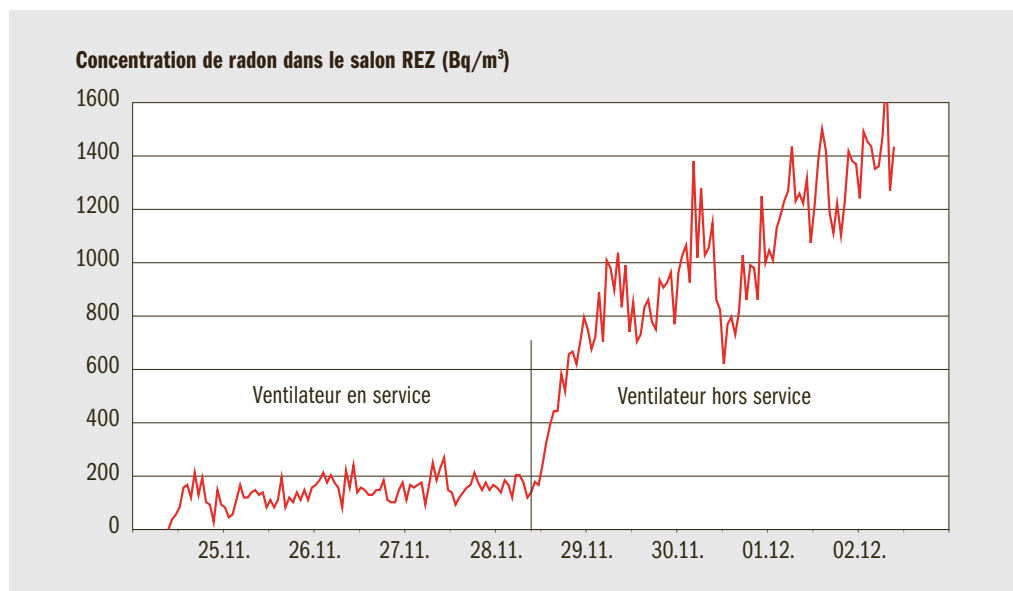


Figure 6.11: Les tests de ventilation effectués dans la cave ont été concluants.



Maison familiale du dans la région de Lugano

La maison familiale à deux niveaux (rez-de-chaussée et un étage) a été construite dans les années 1960 dans une région à risque accru de radon. Au rez-de-chaussée se trouvent un atelier de bricolage, une salle de bain, le local de chauffage, un local à provisions, la buanderie et un réduit ainsi qu'un vide sanitaire en partie souterrain, à l'étage les locaux d'habitation (salon, cuisine, salle de bain, chambre à coucher). Les cages d'escalier reliant les niveaux sont ouvertes.

Problématique du radon

Une mesure dosimétrique passive effectuée dans la chambre à coucher a indiqué une concentration accrue de radon atteignant 983 Bq/m^3 .

Analyse

Deux solutions ont été évaluées :

- ventilation du vide sanitaire : par l'installation d'un ventilateur dans le mur extérieur du vide sanitaire, on crée une dépression dans celui-ci ainsi que sous le bâtiment, dépression entraînant l'évacuation du radon ;

- puisard intérieur : la conduite passe dans le terrain situé sous le bâtiment et y crée une dépression à large échelle.

Le puisard intérieur est plus efficace, mais la solution de la ventilation entraîne des frais moindres, et il n'est pas nécessaire de procéder à des modifications dans la structure du bâtiment. C'est pourquoi la ventilation a été choisie dans une première étape.

Mesures d'assainissement

Des tests de ventilation ont été effectués dans le vide sanitaire. Les résultats des mesures de contrôle n'étaient cependant pas satisfaisants. Même au niveau de ventilation le plus élevé, la concentration moyenne de radon était encore de 1757 Bq/m^3 environ dans l'atelier de bricolage (REZ).

Pour cette raison, un puisard intérieur a été réalisé dans une deuxième étape. Le tuyau d'évacuation a été installé dans le réduit (REZ) et passe dans la dalle du sol afin de créer une dépression sous le bâtiment.

L'air est évacué par un tuyau passant à travers le mur extérieur. Dans ces conditions, les concentrations de radon ont pu être suffisamment abaissées. La mesure de suivi effectuée sur trois mois à l'aide de dosimètres passifs a fourni les valeurs suivantes :

- chambre à coucher (1^{er} E) : 96 Bq/m^3

- corridor (REZ) : 190 Bq/m^3

Le puisard devrait être en service en permanence durant la période de chauffage.



Figure 6.12 : Un vide sanitaire se trouve sous la maison familiale.

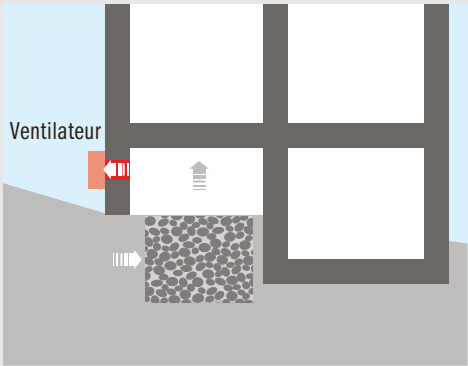
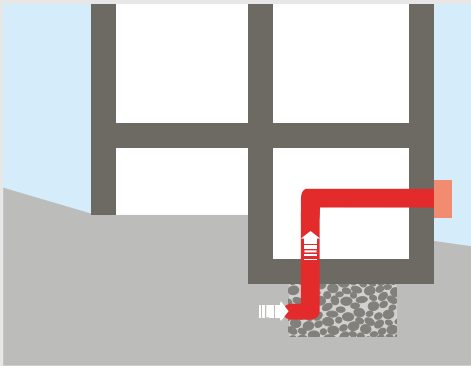
Ventilation du vide sanitaire	Puisard intérieur
	
Avantages	Avantages
■ Faible coût	■ Grande efficacité
■ Pas de modifications dans la structure du bâtiment	
Inconvénients	Inconvénients
■ Bruit de ventilateur éventuellement audible par les voisins	■ Coûts plus élevés
■ Efficacité moindre	■ Bruit de ventilateur dans le bâtiment et les environs

Tableau 6.2 : Avantages et inconvénients des diverses solutions.



Figure 6.13 : Après avoir testé la ventilation du vide sanitaire (à gauche), un puisard intérieur a finalement été installé (à droite).

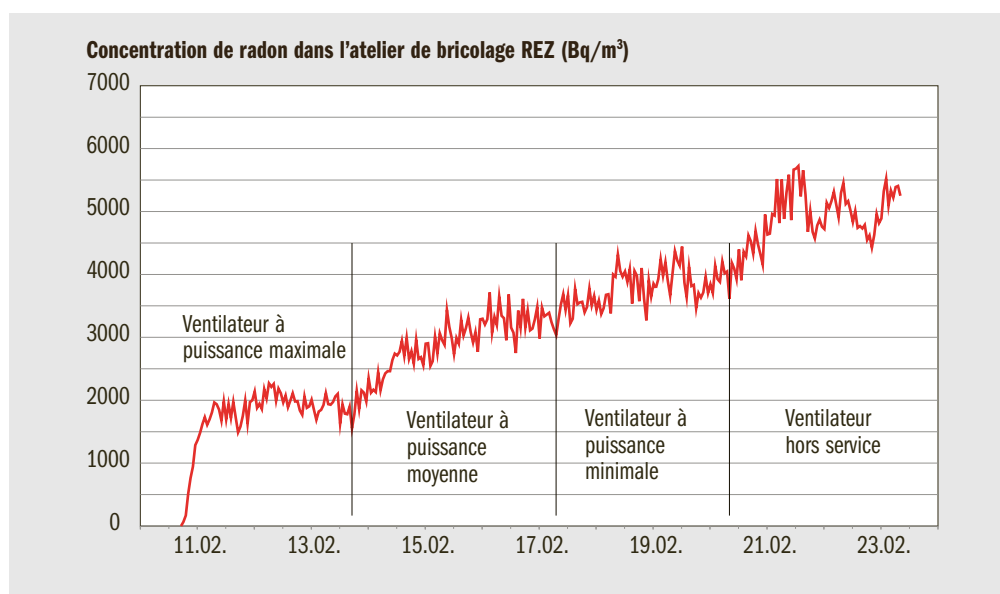


Figure 6.14 : Le test de la ventilation du vide sanitaire effectué en premier lieu n'a pas eu le succès escompté.

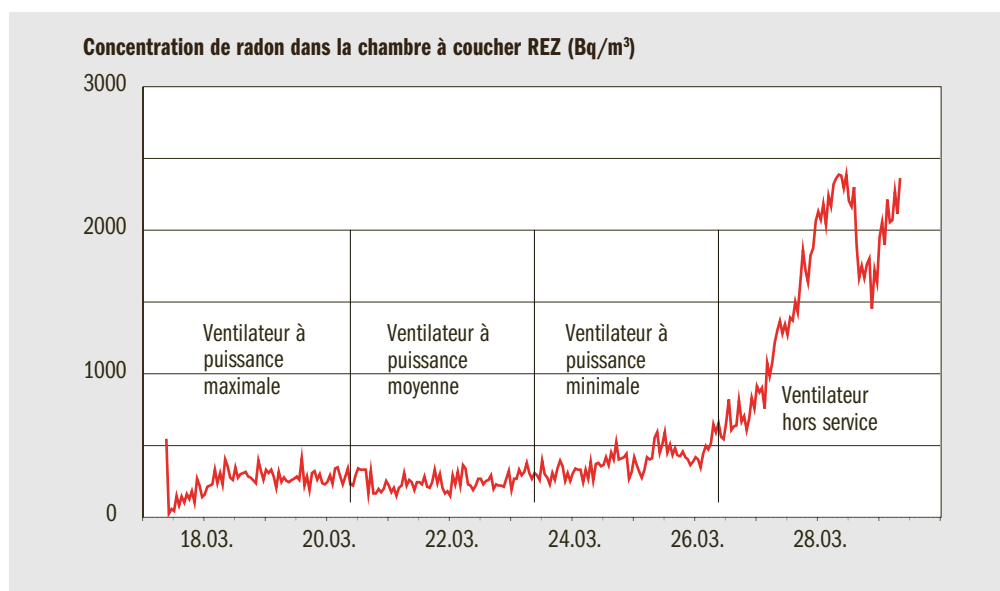


Figure 6.15 : Le puisard intérieur installé dans un second temps a considérablement réduit la concentration de radon. Les valeurs mesurées dans la chambre à coucher étaient inférieures à 300 Bq/m³ par ventilation à puissance maximale et moyenne.

Maison familiale du Malcantone

La maison de plain-pied située au Tessin a été construite en 1960 et a subi un assainissement énergétique en 2015. Elle comprend plusieurs locaux d'habitation (deux chambres à coucher, salle de bain, cuisine ouverte sur le salon) ainsi que deux locaux non habités (local technique, local avec citerne à mazout). Un vide sanitaire disposant de cinq bouches d'aération se trouve sous la maison.

Problématique du radon

Une mesure dosimétrique passive effectuée au salon avant assainissement a fourni une valeur de radon de 2901 Bq/m^3 . Après cette première mesure, quelques dispositions de protection ont déjà été prises :

- dispositif pour le montage d'un ventilateur aux fins de ventilation du vide sanitaire ;
- bouches d'aération dans le vide sanitaire pour augmenter le taux de renouvellement d'air (mode passif).

Comme la maison devait être vendue, on a procédé à un assainissement global.

Analyse

La ventilation du vide sanitaire a été proposée comme solution, supposant que toutes les bouches d'aération aient été hermétiquement fermées. Ensuite, un système de ventilateurs a été monté sur le mur extérieur du vide sanitaire. Ainsi, une dépression est créée, dépression qui entraîne l'extraction de l'air chargé en radon et son évacuation vers l'extérieur.

Mesures d'assainissement

Tout d'abord, on a effectué un test de dépression normal à l'aide d'un prototype. Les valeurs de radon mesurées au rez-de-chaussée étaient inférieures à 300 Bq/m^3 . À titre d'essai, le système de ventilation a été modifié pour créer une surpression. Cela a réduit la valeur moyenne de la concentration de radon à près d'un tiers de la valeur moyenne obtenue par le biais de la dépression, valeur moyenne qui était déjà bonne. Les va-

leurs mesurées lorsque le ventilateur était à l'arrêt étaient cependant nettement plus élevées après la phase de surpression qu'elles ne l'étaient dans le cas de la dépression. Pour éviter tout risque, on a opté pour la solution de la mise en dépression.

L'installation de ventilation définitive a été réalisée avec un ventilateur centrifuge de 70 W, avec un taux de renouvellement d'air de $240 \text{ m}^3/\text{h}$. Des mesures dosimétriques de suivi passives ont fourni les valeurs de radon suivantes :

- salon (REZ) : 54 Bq/m^3
- chambre à coucher (REZ) : 51 Bq/m^3

La ventilation du vide sanitaire a conduit à une réduction considérable des concentrations de radon dans tous les locaux ayant été mesurés. L'installation doit fonctionner en permanence.

Pour éviter les effets négatifs du point de vue de la physique du bâtiment et pour ne pas péjorer le bilan énergétique du chauffage du bâtiment, il est important de vérifier la provenance de l'air évacué.

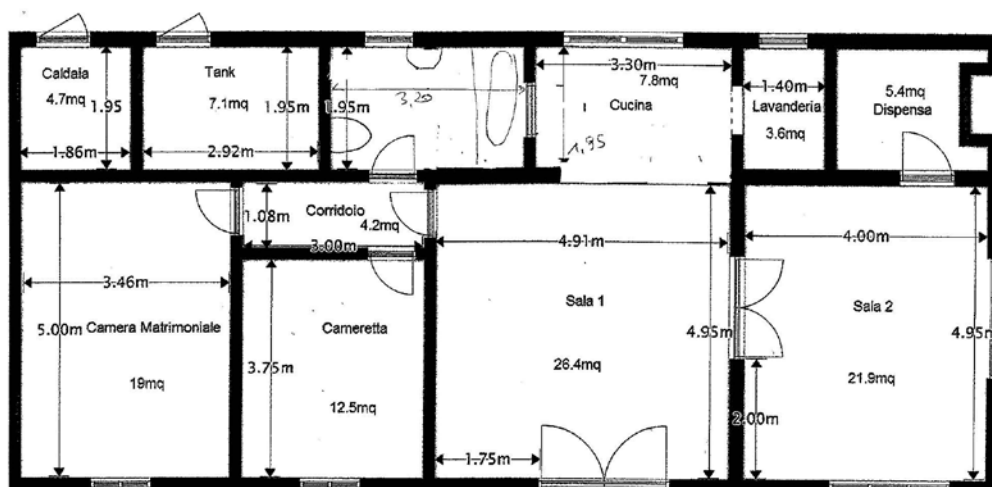


Figure 6.16 (en haut) : Des mesures de protection contre le radon avaient déjà été prises antérieurement.

Figure 6.17 (en bas) : Les bouches d'aération du vide sanitaire ont permis d'accroître le taux de renouvellement d'air.

Figure 6.18 (à gauche) : Plan du rez-de-chaussée. Les locaux d'habitation sont disposés au-dessus du vide sanitaire.

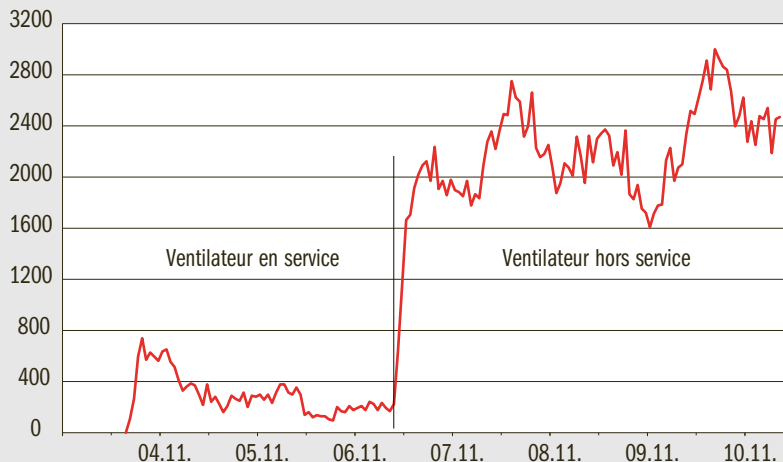
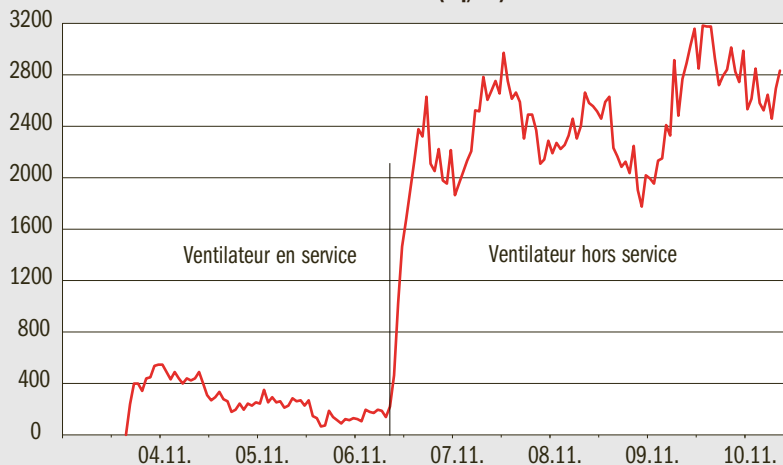
Concentration de radon dans le salon REZ (Bq/m³)**Concentration de radon dans la salle de bain REZ (Bq/m³)**

Figure 6.19 et Figure 6.20 : Les tests de mise en dépression ont montré que la ventilation du vide sanitaire abaissait la concentration de radon à des valeurs inférieures à 300 Bq/m³ au rez-de-chaussée.

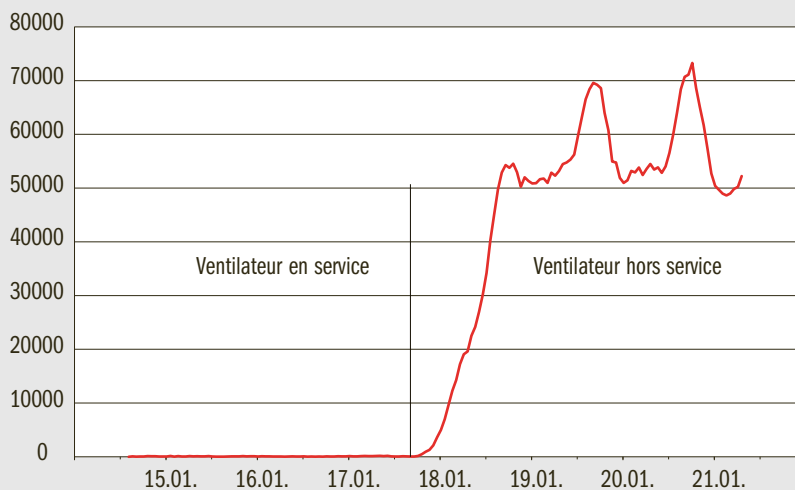
Concentration de radon dans la salle de bain REZ (Bq/m³)

Figure 6.21 : Après une phase de surpression, les concentrations de radon se situaient à des valeurs nettement plus élevées que celles mesurées précédemment. En revanche, durant la phase de surpression, la valeur moyenne n'était que de 75 Bq/m³ et donc nettement inférieure à celle de la phase de dépression (271 Bq/m³).

Maison familiale du Sottoceneri

La maison construite à flanc de coteau comprend plusieurs chambres à coucher et locaux de séjour au niveau du socle. Au rez-de-chaussée se trouvent le salon/salle à manger, la cuisine, une salle de bain et un bureau.

Problématique du radon

Après des mesures précises ayant fourni des valeurs allant jusqu'à 2000 Bq/m^3 au niveau du socle, on a procédé à un assainissement dans une chambre à coucher en 2007. L'installation d'un ventilateur pour pièce individuelle et l'étanchement du sol réalisé avec une membrane bitumeuse cimentée n'ont pas permis d'abaisser la concentration au niveau escompté. Au rez-de-chaussée, les concentrations de radon mesurées n'étaient que légèrement accrues.

Analyse

Au niveau du socle, le radon peut pénétrer dans le bâtiment par un grand nombre de défauts d'étanchéité difficiles à localiser, par exemple par des bandes latérales du niveau de la chape, des joints, des fissures et des murs en contact avec le terrain. Depuis

le niveau du socle, le radon s'infiltrait au rez-de-chaussée par une cage d'escalier ouverte. Après un premier assainissement décevant, on a procédé à une deuxième intervention en 2013.

Mesures d'assainissement

Au niveau du socle, le sol a été ouvert sur une surface d'environ 5 m^2 , des conduites de drainage ont été introduites et isolées thermiquement, puis le sol a été rebouché de manière étanche. Le puits de reprise des conduites de drainage a été conçu comme mini-puisard et permet d'améliorer l'efficacité de l'installation. Pour des raisons de place et afin d'empêcher les émissions de bruit dans les chambres à coucher, un tuyau de ventilation a été monté à l'extérieur du bâtiment et relié à un «aspirateur de radon» spécial, très efficace et très puissant, installé au galeas. L'air du sol est évacué par le toit. Une mesure de suivi effectuée au niveau du socle a fourni les résultats suivants :

- chambre 1 : 26 Bq/m^3
- chambre 3 : 53 Bq/m^3
- chambre 5 : 39 Bq/m^3

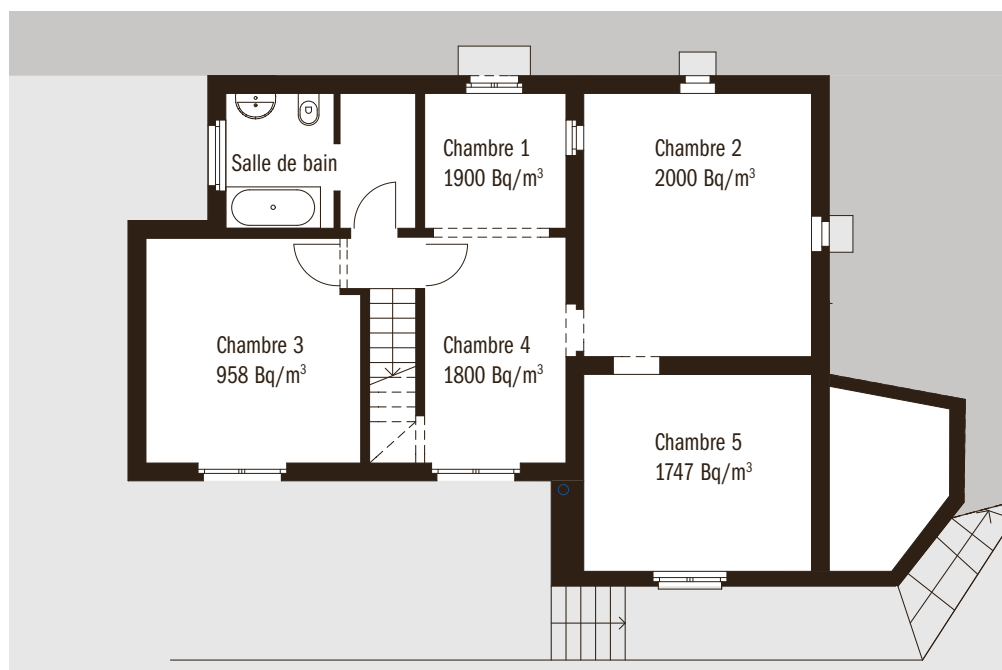


Figure 6.22 : Valeurs de radon au sous-sol avant la seconde intervention.



Figure 6.23: Pour des raisons de place et afin d'empêcher les émissions de bruit dans les chambres à coucher, un tuyau de ventilation a été monté à l'extérieur du bâtiment.



Figure 6.24: Aspirateur de radon au galetas.

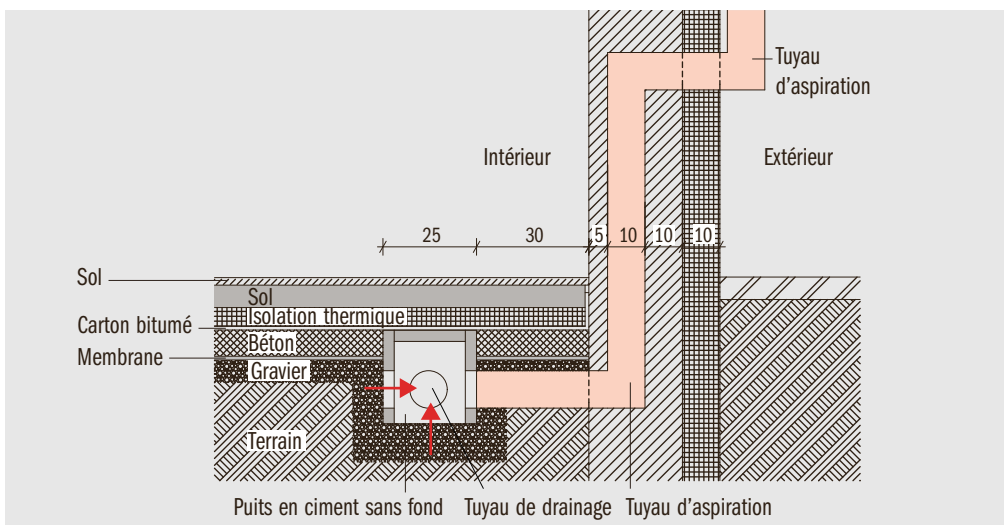


Figure 6.25: Le puits de reprise des conduites de drainage a été conçu comme mini-puisard.

Immeuble d'habitation du district de Locarno

Le propriétaire d'une villa neuve a demandé à un bureau d'ingénieurs de vérifier les résultats des mesures de radon qu'il a lui-même effectuées dans la cave à vin. En automne 2015, les concentrations de radon ont donc à nouveau été mesurées dans ce local. Les résultats étaient alarmants, les valeurs maximales de la concentration de radon se situant vers 3000 Bq/m³. La valeur moyenne était quant à elle supérieure à 2000 Bq/m³.

Analyse

Avant assainissement, le sol de la cave à vin était en terre battue, et le radon pouvait pénétrer également par d'autres voies :

- de la roche apparente située dans le coin nord-ouest du local ;
- une chambre de reprise et un puits drainant situés sous le revêtement de sol et reliés à une conduite de drainage ;
- deux bouches de drainage dans les murs extérieurs pour l'évacuation de l'eau entrant au niveau de la roche ;
- deux trous dans le mur de l'aile sud atteignant au vide sanitaire du local voisin.

Mesures d'assainissement

Diverses mesures d'assainissement ont été réalisées afin d'étancher tous ces points d'entrée potentiels. Seule la zone où se situe la roche n'a pas, à la demande du client et de l'architecte, été étanchée à l'eau.

Tout d'abord, on a excavé une partie du sol afin de pouvoir installer un tuyau de drainage et une dalle de béton étanche à l'eau de 15 cm d'épaisseur. Le tuyau de drainage a été relié au puisard situé dans le terrain, lui-même à nouveau soigneusement isolé.

Il a été posé jusqu'à l'extérieur de la maison dans le saut-de-loup afin de permettre l'installation d'un puisard en cas de besoin. Les murs en béton de la cave ont été étanchés jusqu'au plafond avec une plaque de foam-glas de 5 cm d'épaisseur afin d'éviter la pénétration éventuelle du radon par les interstices du mur en béton. Ensuite, on a

étanché les bouches de drainage et d'aération du vide sanitaire et installé une ventilation contrôlée avec récupération de chaleur rendant possible la circulation de l'air aussi bien dans la cave à vin que dans le vide sanitaire adjacent ; ainsi, la cave est suffisamment aérée et se trouve en surpression. Une porte de cave étanche à l'air a été installée pour empêcher la montée d'air chargé de radon de la cave vers le reste du bâtiment.

Dernières mesures

Au terme de l'assainissement, des mesures ont été effectuées pour vérifier la qualité obtenue. En mars 2016, la concentration de radon a été mesurée dans la cave à l'aide d'un dosimètre, l'installation de ventilation étant hors service. La valeur mesurée était d'environ 650 Bq/m³. Grâce à ces mesures, on a pu vérifier que l'étanchement et le scellement d'entrée conduisaient déjà à eux seuls à une nette réduction de la concentration moyenne de radon de plus de 2000 Bq/m³ à 650 Bq/m³. Lorsque l'installation de ventilation était en service, la valeur mesurée était d'environ 200 Bq/m³.

Dans les locaux d'habitation adjacents à la cave à vin, la concentration de radon n'a été mesurée qu'au terme des travaux d'assainissement. La concentration moyenne mesurée durant 20 jours au mois d'avril se situait à environ 350 Bq/m³. En tenant compte du fait que le bâtiment était pratiquement toujours fermé durant cette période de mesures (pas d'aération), les prestataires ont considéré cette valeur comme acceptable.

Figure 6.26 (à gauche):
Puisard et tuyau de drainage: à l'arrière, on aperçoit la roche apparente.



Figure 6.27 (à droite):
Sortie du tuyau de drainage.



Figure 6.28: Plan de la cave à vin et du drainage.

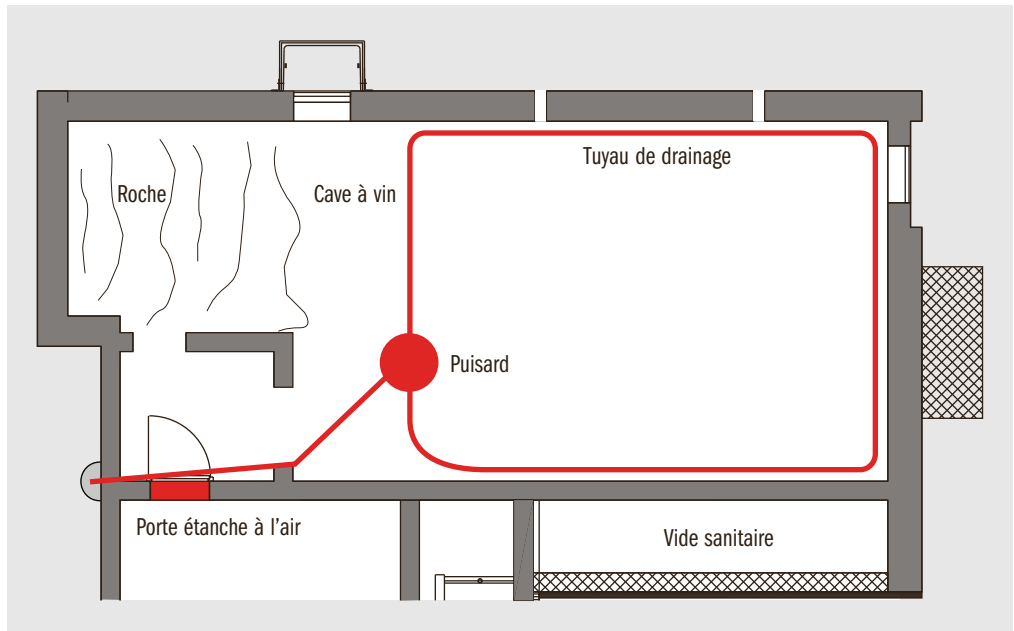
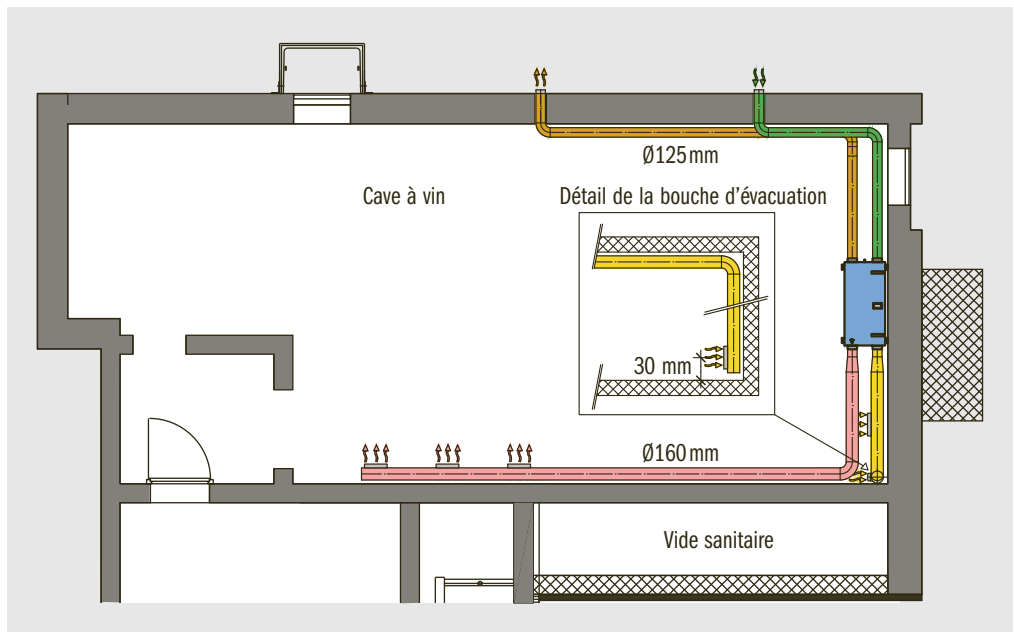


Figure 6.29: Schéma de la ventilation installée.



Immeuble d'habitation de la Surselva

L'immeuble d'habitation vieux de 300 ans est situé dans la vallée du Rhin antérieur. La géologie du lieu est complexe. Le sol se caractérise par une zone de failles et par des structures cristallines avec des ruptures. À proximité se trouve une source d'eau à forte teneur en uranium que l'on avait envisagé d'exploiter.

Le bâtiment à quatre étages comprend une annexe en bois générant un espace continu entre la cave et l'étage au-dessus, ce qui provoque un effet de cheminée dans la maison. N'étant pas équipé d'un système d'apport d'air indépendant de l'air ambiant, le poêle en pierre ollaire central prend l'air de combustion dans le bâtiment. La maison se situe sur un terrain très incliné au bord d'un précipice. Sous l'effet du soleil, le sol se réchauffe fortement, ce qui renforce encore les effets thermiques dans le bâtiment.

Au sous-sol, les murs sont en pierre naturelle, les fissures et les passages de conduites non étanches sont nombreux. On trouve de la roche fissurée apparente dans l'une des pièces. Le sol de l'une des pièces à la cave est en terre battue.

Problématique du radon

Les mesures dosimétriques effectuées précédemment ont fourni des valeurs de radon supérieures à 10 000 Bq/m³ dans la cave et jusqu'à 2500 Bq/m³ dans les locaux d'habitation. Une mesure de contrôle effectuée sur place a fourni des concentrations de radon de 5400 Bq/m³ dans la cave et de 3800 Bq/m³ dans les locaux d'habitation. Ainsi, selon une estimation, le bâtiment fait partie des 1000 maisons d'habitation les plus chargées en radon de Suisse. L'assainissement a été suivi par l'Office de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires.

Analyse

Pour déterminer les points de fuite du bâtiment, en particulier au niveau de la cave, on a réalisé un test d'infiltrométrie (blower-door test en anglais). À cet effet, un puis-

sant ventilateur a été monté sur une porte extérieure créant une dépression ou une surpression dans le bâtiment et permettant de déterminer la perméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment. De plus, les points d'infiltration caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment ont été vérifiés au moyen de tubes détecteurs de courants d'air; aucun point de fuite important n'a été détecté, ce qui signifie que la maison est suffisamment étanche. Afin d'examiner l'influence du renouvellement de l'air dans la cave, on a fait fonctionner des ventilateurs d'extraction dans les locaux de la cave pendant plusieurs jours (ventilation pour pièces individuelles). Le taux de renouvellement est passé de 0 à 180 m³/h. Cette évacuation de l'air de la cave n'a conduit qu'à une faible réduction des valeurs de radon.

Mesures d'assainissement

La ventilation des locaux de la cave n'ayant pas eu le succès escompté, un ventilateur a été installé dans la cave en terre battue (cave en tant que puisard). Le radon est évacué à l'air libre au moyen d'une dépression. En outre, on a installé une nouvelle porte étanche. L'air chargé en radon ne peut donc plus pénétrer dans l'espace habité. Grâce à ces mesures, on a obtenu des valeurs de radon inférieures à 300 Bq/m³ dans les locaux d'habitation. En outre, le poêle en pierre ollaire a été équipé d'un apport d'air frais. De plus, la valeur pourrait être encore améliorée en fermant la cage d'escalier. Pour éviter les effets négatifs du point de vue de la physique du bâtiment et pour ne pas péjorer le bilan énergétique du chauffage du bâtiment, il est important de vérifier la provenance de l'air évacué (locaux de cave voisins, terrain, locaux d'habitation adjacents, par les fissures et les fentes depuis l'extérieur).

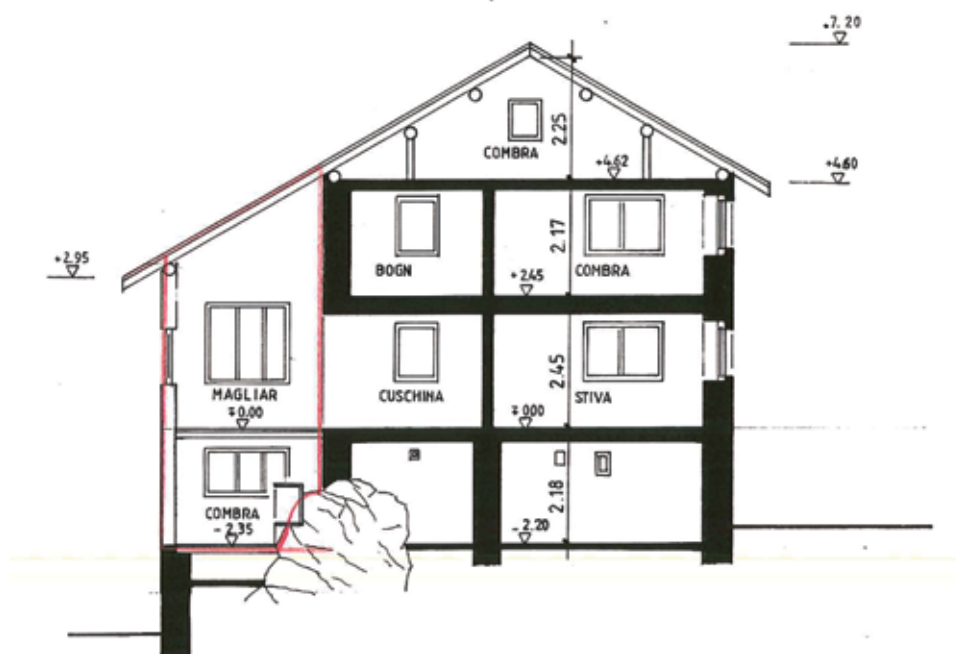


Figure 6.30: L'ouverture de l'annexe (marquée en rouge) génère une forte dynamique thermique dans la maison.



Figure 6.31 (à gauche): La partie historique du bâtiment date de plus de 400 ans.

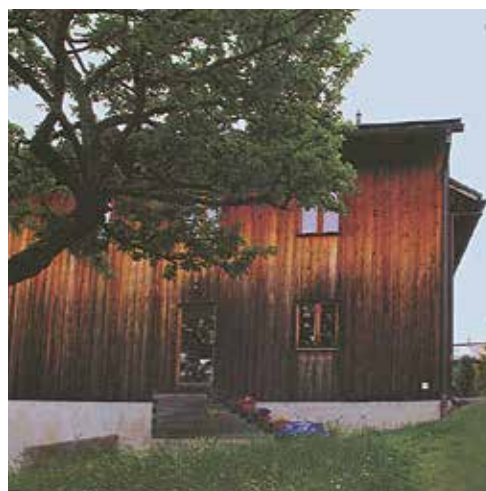


Figure 6.32 (à droite): L'annexe en bois génère un espace continu entre la cave et l'étage, ce qui provoque un effet de cheminée dans la maison.



Figure 6.33 (à gauche): Roche apparente dans la cage d'escalier.



Figure 6.34 (à droite): Une des caves est en terre battue.

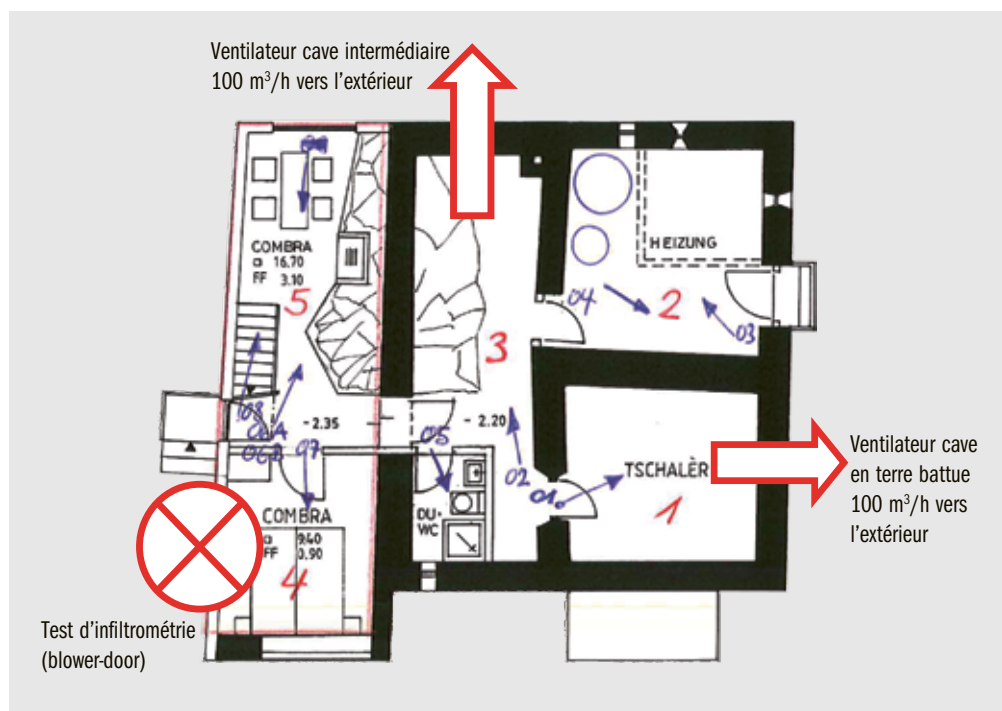


Figure 6.35: L'étanchéité de la maison a tout d'abord été examinée au moyen d'un test d'infiltrométrie, puis les locaux ont été ventilés individuellement, c'est-à-dire que l'air a été évacué des locaux de la cave vers l'extérieur au moyen de ventilateurs.



Figure 6.36: Des tubes détecteurs de courants d'air ont été employés pour repérer les flux d'air émanant de points de fuite caractéristiques (InfraBlow.Siegrist GmbH).

Figure 6.37:
Test d'infiltrométrie.

Figure 6.38 : La ventilation de la cave n'a eu que peu d'effets sur les valeurs de radon malgré un débit volumique poussé jusqu'à 180 m³/h. Par contre, une nette dynamique thermique s'est manifestée, c'est-à-dire que les valeurs de radon variaient fortement selon l'ensoleillement et la température environnante.

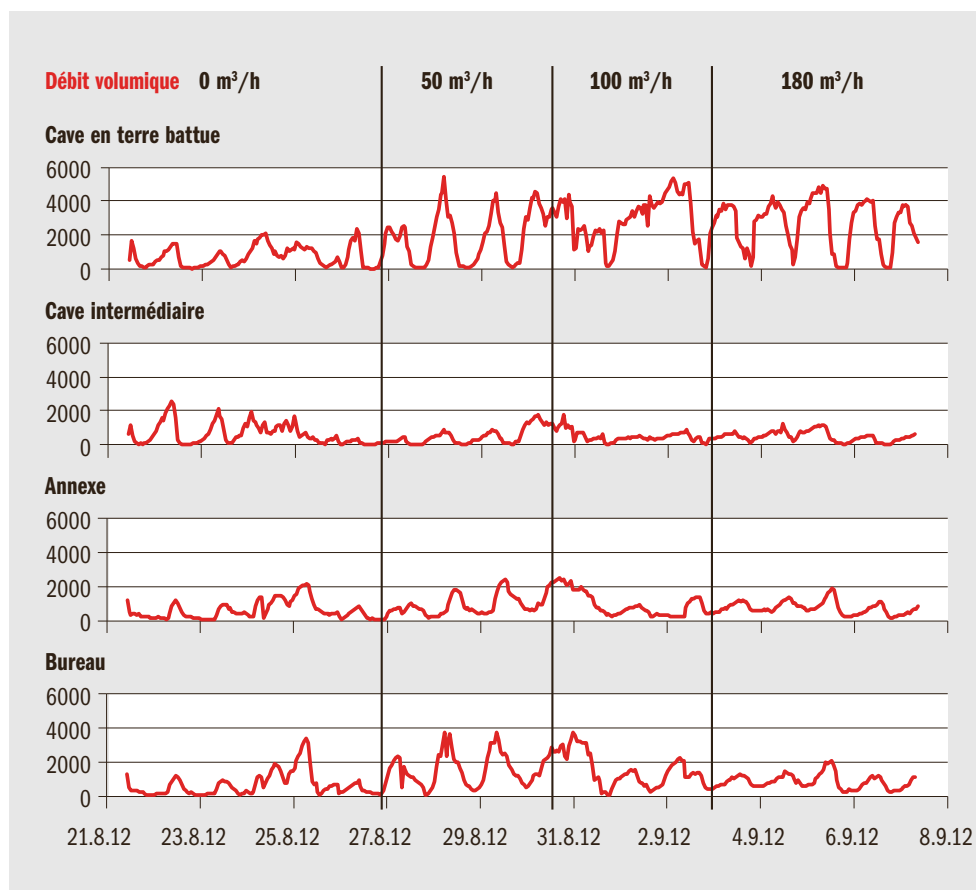


Figure 6.39 : Au moyen d'un ventilateur, l'air de la cave en terre battue est transporté à l'air libre. L'air à forte concentration de radon ne peut donc plus pénétrer dans les locaux d'habitation.



Immeuble d'habitation du Jura bernois

Une ancienne ferme du 17^e siècle du canton de Berne a été assainie globalement en 2000. Le bâtiment a été vidé, une dalle de béton d'un seul tenant a été coulée et les murs ont été étanchés et isolés thermiquement par l'intérieur. Certaines caractéristiques historiques comme la cave voûtée ou le four à bois ont toutefois été préservées. Depuis l'assainissement, le bâtiment est chauffé au moyen d'un chauffage à bûches et de panneaux solaires.

Problématique du radon

La commune ayant publié des résultats de mesures, les propriétaires ont décidé de procéder à une mesure de radon dans le bâtiment en 2010. Une mesure passive de trois mois effectuée avec des dosimètres à traces nucléaires de novembre à février a fourni les concentrations moyennes suivante :

- cave : 3280 Bq/m³
- bureau : 2997 Bq/m³
- cuisine habitable : 2335 Bq/m³

Un appareil de mesure digital acheté en avril 2011 a été posé dans la cuisine et est toujours en service. Le maître d'œuvre a recensé chaque semaine, pendant une année, les données météorologiques et les habitudes d'aération avec les résultats suivants :

- moyenne annuelle à la cuisine : 1761 Bq/m³ ;
- valeurs moyennes par semaine durant les vacances d'été (aucune présence humaine, fenêtres fermées) : 4000 Bq/m³ ;
- par vent d'ouest, la concentration de radon diminue ;
- par bise, la concentration de radon augmente.

Analyse

Tout d'abord, on a tenté de réduire la concentration de radon dans la cave voûtée ou alors en pierres naturelle (selon image) par une ventilation mécanique. L'effet s'est avéré négatif, la dépression créée dans le bâtiment ayant provoqué une nette augmen-

tation de la concentration de radon dans la cuisine. Le remplacement provisoire de la ventilation dans les toilettes du rez-de-chaussée par un apport d'air extérieur par le biais d'un ventilateur a eu plus de succès, la mesure créant une surpression dans l'ensemble de la maison.

Autres mesures d'assainissement

En décembre 2015, une installation de ventilation par surpression a été installée dans la buanderie. En raison de la situation exposée du bâtiment, qui se situe à plus de 1200 m d'altitude, un échangeur de chaleur air-eau (avec le chauffage central en soutien) et une valve de contrôle antigel ont été installés. La phase de mesures consécutive, allant de décembre 2015 à septembre 2016, a fourni des valeurs de concentration situées entre 100 et 600 Bq/m³. Les points suivants relativisent les valeurs mesurées qui étaient élevées :

- la ventilation a été arrêtée en l'absence (vacances) de la famille ;
- la maison se situe en zone agricole ; selon les travaux effectués, l'installation a dû être arrêtée en raison des mauvaises odeurs. En hiver, par -20 °C, l'installation à cinq régles fonctionne au niveau 1 ou 2 ;
- en été, la valeur moyenne hebdomadaire se situe vers 100 Bq/m³.

Optimisations possibles

- La porte de la cave, le four à bois et l'installation de ventilation dans les toilettes du rez-de-chaussée constituent encore quelques points non étanches à l'air. Par des mesures correspondantes, on pourrait réduire non seulement les besoins en chauffage, mais également la concentration de radon.
- Régler le débit du ventilateur au moyen d'un capteur de radon.

Figure 6.40 : Une ancienne ferme du 17^e siècle a été entièrement assainie en 2000.



Figure 6.41 : Une ventilation par surpression a été installée dans la buanderie.



Figure 6.42 (à gauche) : Les installations historiques comme le four à pain ont été conservées.



Figure 6.43 (à droite) : La concentration de radon dans la cave voûtée / en pierres naturelles devait tout d'abord être réduite au moyen d'une ventilation mécanique, mais cela a provoqué une nette augmentation de la concentration de radon dans la cuisine.



Logement dans les Franches-Montagnes

La maison familiale, construite en 2005, a été bâtie sur des fondations en béton. Elle se situe dans une commune du Jura où l'on a déjà mesuré des concentrations de radon élevées.

Situation relative au radon

Des mesures ont montré que les valeurs de radon étaient trop élevées dans toutes les pièces. En effet, elles se situaient entre 390 Bq/m³ et 9480 Bq/m³ (Tableau 6.3). Seule la pièce au nord-est du bâtiment présentait une concentration en radon acceptable.

Analyse

L'analyse a montré que la cause principale des valeurs élevées se trouvait dans la salle de bains. La chaufferie constituait une autre source de radon, cependant moins forte. Afin de localiser la source de radon, toutes les portes ont été fermées. Les valeurs mesurées dans la salle de bains ont augmenté de façon continue durant les deux premiers jours, puis se sont stabilisées autour de 14 000 Bq/m³ (Figure 6.44). La concentration en radon dans les autres pièces est attribuable avec certitude à la forte concentration en radon dans la salle de bains et dans la chaufferie.

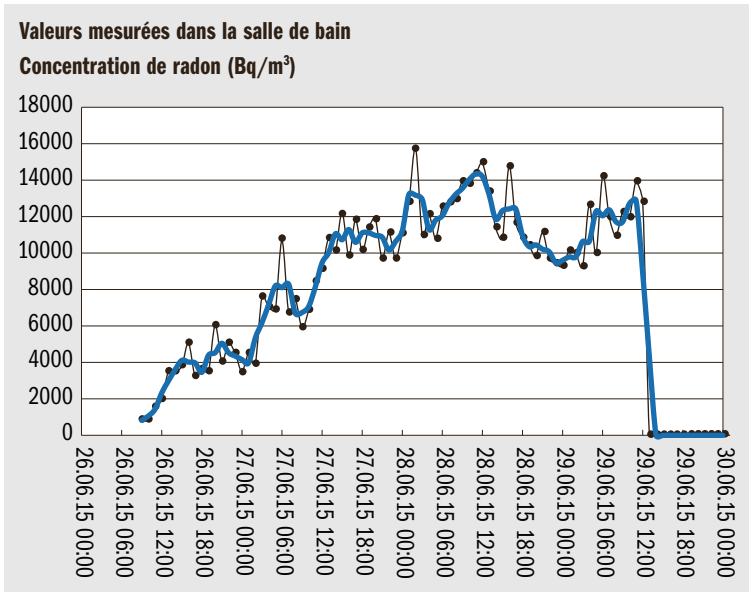
Mesures

Étant donné que les deux voies d'infiltration du radon (chaufferie et salle de bains) étaient proches l'une de l'autre, il a été relativement simple de réaliser une mise en dépression sous le radier attenant. En complément, les fondations ont été percées sous le radier pour y installer un puisard à radon. Ce dernier aspire le radon avant qu'il ne pénètre dans la maison. Dans un premier temps, le ventilateur a fonctionné à puissance maximale (70 W), ce qui a entraîné une réduction soudaine de la concentration en radon. Le jour suivant, le ventilateur a été arrêté pendant une heure pour finir les travaux, puis utilisé à la moitié de sa puissance (35 W). Malgré cette courte

interruption, même à 50 % de la vitesse nominale, rien n'indiquait une hausse de la concentration en radon (Figures 6.45 et 6.46). Par conséquent, cette puissance suffit. L'assainissement a fonctionné : la concentration moyenne en radon s'élève à 250 Bq/m³ dans toutes les pièces.

Figure 6.44 : Valeurs de radon dans la salle de bain après fermeture de toutes les portes. La ligne bleue indique la valeur moyenne des deux mesures de radon horaires consécutives.

Tableau 6.3 : Concentration de radon moyenne dans les locaux du sous-sol.



Concentration de radon moyenne dans les locaux du SS		
Local (orientation)	Avant assainissement (Bq/m³)	Après assainissement (Bq/m³)
Entrée (nord)	1265	40
Local d'hab. (sud-est)	900	75
Local d'hab. (nord-est)	390	Non mesurée
Salle de bain	9480	180
Salon (ouest)	1300	110
Salon (est)	1265	110
Buanderie	1820	230

Figure 6.45 :
Évolution de la concentration de radon dans la salle de bain et effets de l'extraction du radon. La ligne bleue indique la valeur moyenne des deux mesures de radon horaires consécutives.

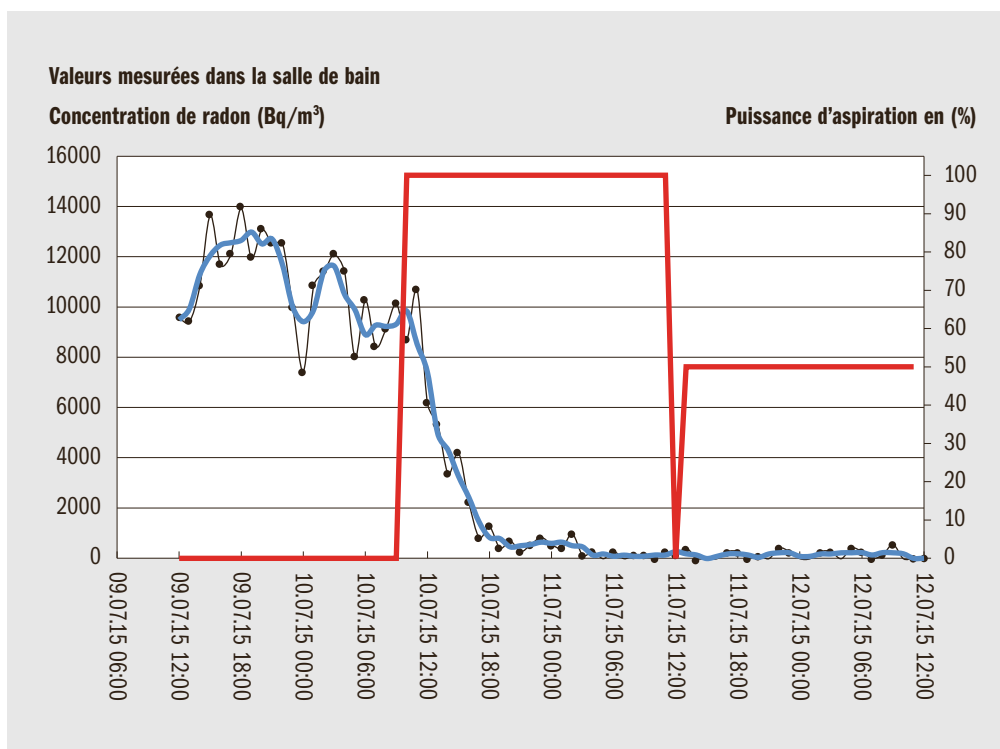
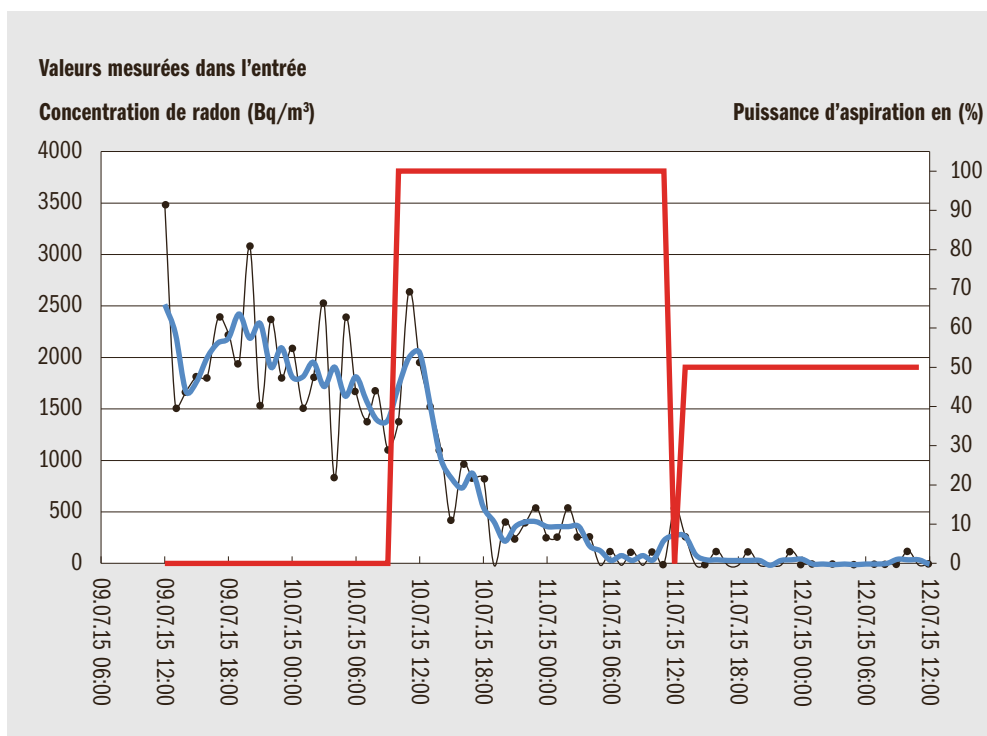


Figure 6.46 : Évolution de la concentration de radon dans l'entrée et effets de l'évacuation du radon. La ligne bleue indique la valeur moyenne des deux mesures de radon horaires consécutives.



École du Jura neuchâtelois

Problématique du radon

Le bâtiment scolaire dans lequel de jeunes handicapés reçoivent une formation a été construit en béton à la fin des années 1960. La problématique du radon est apparue dans la partie plain-pied du bâtiment dans laquelle se trouvent des salles de classe et des bureaux. Cette partie se situe entièrement sur une cave, a une surface d'environ 1500 m^2 et un volume d'environ 3000 m^3 . Le plafond de la cave est en béton et n'est pas isolé thermiquement ; ainsi la température de la cave est constante et égale à 22°C . Les six bouches de ventilation d'une surface de 200 cm^2 chacune ne permettent cependant pas d'assurer une ventilation suffisante dans la cave.

Analyse

Entre novembre 2013 et février 2014, la concentration de radon a été déterminée au moyen de dosimètres dans les salles de classe, les locaux techniques, les bureaux et le vide sanitaire. Dans les locaux du rez-de-chaussée, les concentrations se situaient entre 1000 et 8000 Bq/m^3 , selon le volume de l'espace, la ventilation et le nombre d'ouvertures ayant été pratiquées dans le sol en béton. Durant les dernières années, des ouvertures ont été percées à plusieurs reprises pour installer des passages pour câbles de téléphone et de communication. Dans le vide sanitaire, on a mesuré des concentrations de radon allant jusqu'à $15\,000 \text{ Bq/m}^3$.

Mesures d'assainissement

Les concentrations de radon mesurées dans le vide sanitaire étant élevées et l'air du sol chargé en radon passant au rez-de-chaussée par les ouvertures correspondantes, il s'imposait d'installer un ventilateur pour aspirer et rejeter l'air pollué, et de mettre en dépression le vide sanitaire. Le débit volumique nécessaire devait être déterminé. L'étanchéité du vide sanitaire n'était pas connue. C'est pourquoi la relation entre différence de pression et débit volumique a été calculée au

moyen d'un test d'infiltrométrie. On en a conclu qu'un débit de $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ (550 l/s) environ était nécessaire (Figure 6.51).

C'est pourquoi on a choisi un ventilateur à régulation de vitesse. En tenant compte de la hauteur du bâtiment et de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, on a admis que la différence de pression idéale entre le vide sanitaire et le rez-de-chaussée était d'environ 20 Pa . Des mesures précises ont montré qu'une différence de pression d'environ 12 Pa était suffisante. Dans ces conditions, les besoins énergétiques du ventilateur correspondent à une puissance d'environ 30 W . L'influence de la vitesse du vent sur la différence de pression a également été examinée. Les mesures effectuées en hiver dans diverses conditions météorologiques (orientation du vent, bourrasques) ont montré que les fluctuations de pression générées par des vents tempétueux n'exerçaient aucune influence. Les mesures effectuées en divers endroits du rez-de-chaussée ont mis en évidence l'effet exercé par le ventilateur : dès sa mise en service, la concentration de radon a en effet diminué de manière significative au rez-de-chaussée et dans le vide sanitaire (Figure 6.51). Pour des raisons esthétiques, on a renoncé à installer un tuyau d'évacuation allant jusqu'au toit. L'air est évacué du bâtiment par une grille de sol située dans une zone où les élèves ne séjournent pas et où il n'y a pas de fenêtre (Figure 6.50). L'air évacué ayant une température de 21°C , il monte. Durant l'évacuation, la concentration de radon correspondante se situe à environ 4000 Bq/m^3 . Après l'assainissement, la concentration a été vérifiée au moyen de neuf dosimètres. En moyenne, elle était de l'ordre de 150 Bq/m^3 . Dans deux locaux, on a cependant mesuré des valeurs allant jusqu'à 450 Bq/m^3 . La concentration de radon est surveillée en permanence à l'aide d'un capteur.



Figure 6.47 :
Le bâtiment scolaire a été
construit en béton à la fin
des années 1960.



Figure 6.48 :
Vide sanitaire.

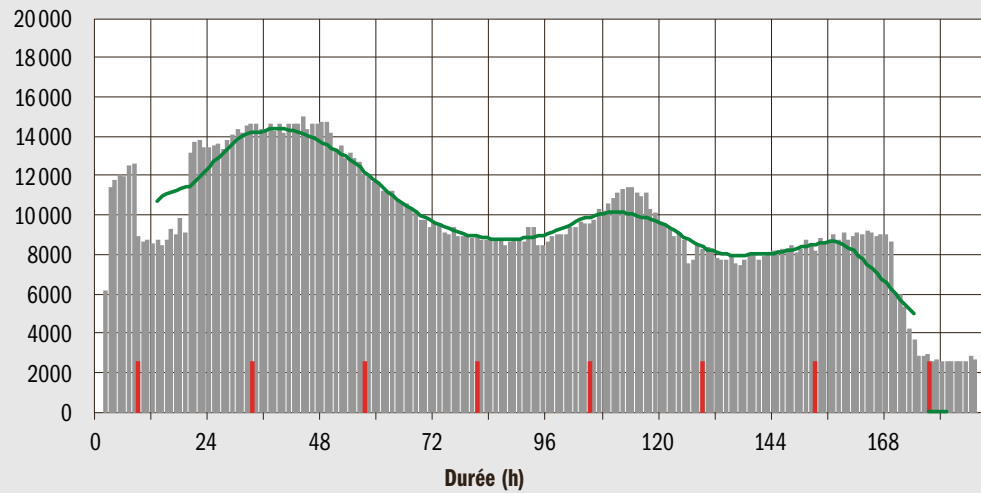


Figure 6.49 :
Test d'infiltrométrie.

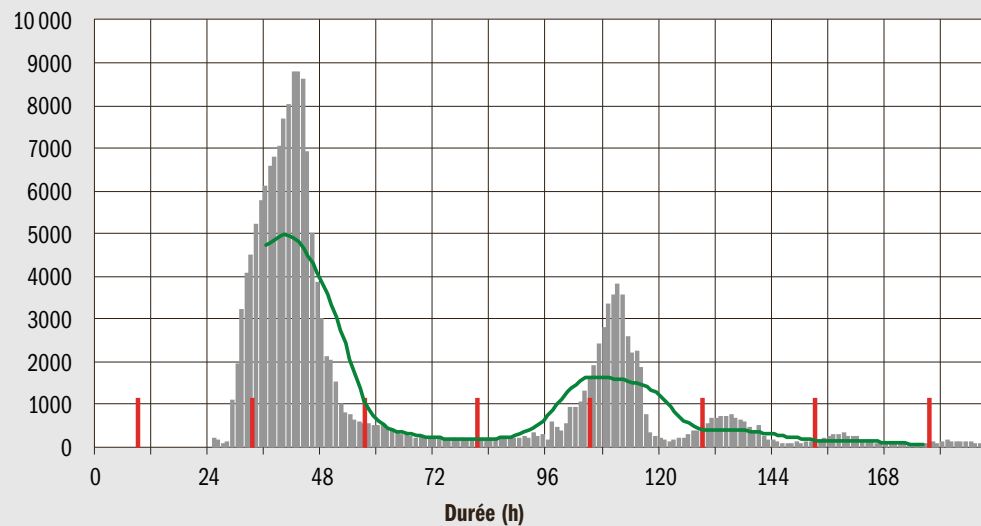


Figure 6.50 :
Au lieu d'être évacué par
une conduite menant
jusqu'au toit, l'air s'éva-
cue par cette grille. Près
de celle-ci, la concentra-
tion de radon est d'environ
4000 Bq/m³ en période
scolaire.

Valeurs mesurées au centre du vide sanitaire
Concentration de radon (Bq/m^3)



Valeurs mesurées dans le local du concierge
Concentration de radon (Bq/m^3)



Différence de pression (Pa)

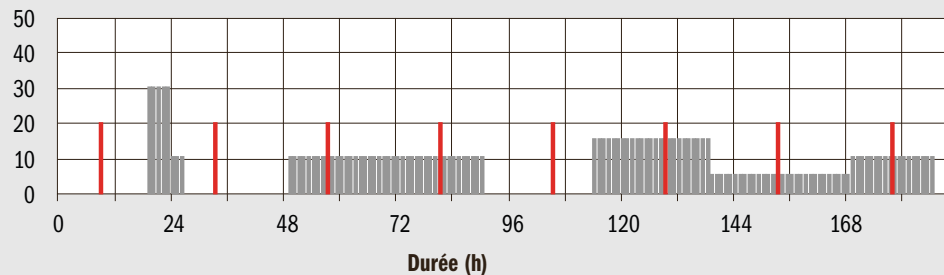


Figure 6.51 :
 Concentration de radon en fonction de diverses différences de pression (graphique du bas). Il ressort clairement du graphique du milieu que la concentration de radon diminue fortement pour des différences de pression supérieures à 10 Pa. (Signification des couleurs : rouge = minuit, vert = valeur moyenne sur une période de 24 heures, gris = valeurs mesurées de la concentration de radon par heure sur une période de 168 heures)

Immeuble d'habitation du Jura neuchâtelois

Problématique du radon

La maison familiale a été construite en 1956 dans le canton de Neuchâtel ; elle a subi un assainissement lié au radon en 2008. À cet effet, les murs et le sol de la pièce située au nord-ouest ont été doublés et les espaces intermédiaires mis en dépression. Un deuxième système d'évacuation d'air équipé d'un ventilateur a été installé dans la cave. Après diverses mesures dosimétriques, on a cependant dû constater que la concentration de radon avait augmenté dans certaines parties du bâtiment. C'est pourquoi un second assainissement a été entrepris en 2016.

Analyse

Pièce sud-ouest : la concentration de radon la plus élevée a été constatée dans la partie habitée de la maison. Dans la pièce sud-ouest, la concentration de radon est en effet montée jusqu'à 4500 Bq/m³ alors que le système de ventilation a été mis à l'arrêt pendant deux jours. Une fois le système de ventilation réenclenché, la concentration de radon est à nouveau tombée à 1200 Bq/m³ en deux jours. La raison de cet abaissement est facile à expliquer : lorsque les systèmes de ventilation de la cave et du local nord-ouest sont enclenchés, ils aspirent l'air chargé en radon depuis le sous-sol, ce qui fait baisser la quantité de gaz pénétrant dans le local sud-ouest. Cela indique que les locaux de la cave sont perméables. Si on installait un puisard dans la cave, celui-ci devrait exercer un effet sur tout l'étage inférieur de la maison du fait de cette perméabilité.

Cave : la concentration de radon diminue juste après l'enclenchement du ventilateur, car l'air riche en radon est évacué. Mais ensuite, on constate une forte augmentation, car le ventilateur génère une dépression dans le local, ce qui entraîne l'aspiration de radon depuis le terrain.

Pièce nord-ouest : après enclenchement du système de ventilation dans le mur double de la pièce et de l'espace intermédiaire du sol, la concentration de radon a augmenté très rapidement dans la pièce nord-ouest, atteignant des valeurs jusqu'à 2000 Bq/m³. Cela indique des problèmes d'étanchéité. L'enclenchement du ventilateur crée une dépression dans le local, ce qui entraîne l'aspiration de radon depuis la cave vers la pièce d'habitation. Ce problème était manifestement nouveau, car les mesures dosimétriques des années 2008 et 2009 avaient fourni des valeurs de radon dans les limites légales. Au fil du temps, le système d'extraction du premier assainissement s'était dégradé de manière irréversible et avait même contribué à l'apparition d'une concentration accrue de radon dans le bâtiment.

Pour colmater ces points de fuite, il aurait fallu étancher les joints sur une longueur de 25 m (Figure 6.54). Les matériaux utilisés n'ayant pu être déterminés, il aurait fallu démonter le sol et les murs. Comme mesure immédiate, on a éteint le système d'évacuation de l'air vicié. Peu après l'arrêt du ventilateur, les propriétaires ont constaté de fortes odeurs de moisi dans la pièce, un autre indice de fuites dans le doublage des murs et du sol.

Une deuxième série de mesures a confirmé le fait que le système de ventilation du sol et des murs de la pièce nord-ouest n'était pas étanche. Effectivement, après enclenchement, la concentration de radon a de nouveau augmenté très rapidement dans les trois pièces faisant l'objet des mesures.

Tableau 6.4 : Concentration de radon en fonction de la puissance du puisard. La dernière colonne indique les valeurs maximales obtenues lorsque seuls les anciens systèmes de ventilation étaient enclenchés.

Concentration de radon en Bq/m ³ en fonction de la puissance du puisard			
	Puissance de		sans puisard
	100 %	50 %	
Chambre sud-ouest	60 Bq/m ³	55 Bq/m ³	1250 Bq/m ³
Cave	75 Bq/m ³	80 Bq/m ³	4500 Bq/m ³
Chambre nord-ouest	45 Bq/m ³	Absence de mesure	4000 Bq/m ³

Mesures d'assainissement

Une analyse détaillée de l'enveloppe du bâtiment a montré qu'il existait un espace intermédiaire sous le radier de la pièce nord-ouest. Un percement a montré que le mur était en béton, qu'il avait une épaisseur de 40 cm et qu'il existait un vide derrière le mur. C'était l'endroit idéal pour installer un puisard. Le montage d'un puisard tem-

poraire s'est avéré efficace. Après assainissement définitif, la concentration de radon s'est abaissée dans tout le sous-sol à des valeurs inférieures à 80 Bq/m³. En outre, le nouveau système fonctionne à 50 % de la puissance nominale, soit seulement 25 W, et ne nécessite que la moitié de l'énergie nécessaire par les deux systèmes d'évacuation précédents.



Figure 6.52 : Pour pouvoir garantir un bon fonctionnement du système, il faudrait étancher les joints sur une longueur de 25 m.

Valeurs mesurées dans la chambre nord-ouest avant le second assainissement

Concentration de radon (Bq/m³)

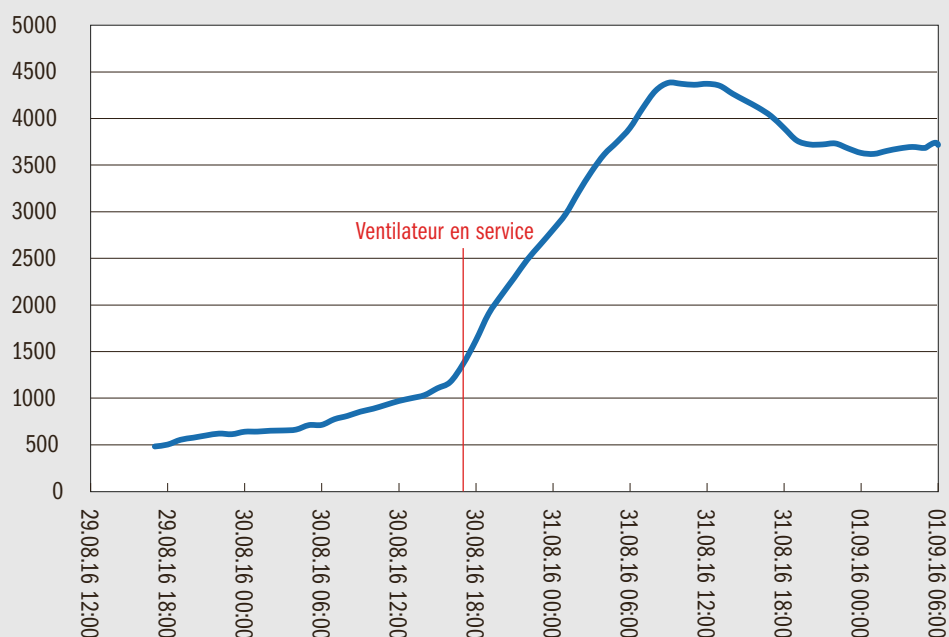


Figure 6.53 : Valeurs mesurées dans la chambre nord-ouest avant assainissement. Après enclenchement du ventilateur, on peut noter une nette augmentation de la concentration de radon.

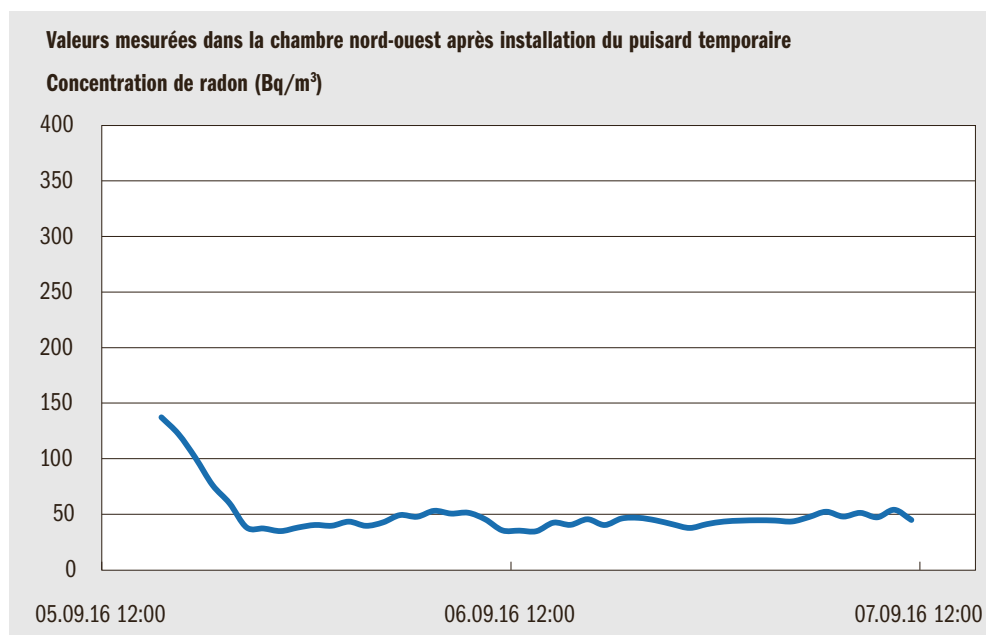


Figure 6.54 :
 Chambre (nord-ouest) :
 L'évolution de la concentration de radon montre l'efficacité du système.



Figure 6.55 :
 Installation temporaire d'un puisard.



Figure 6.56 :
 Montage définitif du puisard.

École primaire dans le Haut-Valais

Le bâtiment scolaire a été construit au milieu des années 1950. En plus des salles de classe, il comprend une salle des maîtres, un atelier et une cuisine. Dans les années 1997 à 1998, la structure a été complètement assainie. C'était un des premiers bâtiments scolaires du canton à remplir les exigences du label Minergie pour les transformations.

Problématique du radon

La commune de St. Niklaus se situe dans une région à concentration accrue de radon. Dans le cadre d'une campagne de mesures effectuée par le canton, deux mesures dosimétriques ont été réalisées en 2004 dans une salle de classe du rez-de-chaussée. Les concentrations de radon mesurées, élevées, étaient de 1081 Bq/m^3 et de 1089 Bq/m^3 .

Analyse

La commune a ensuite chargé un bureau d'ingénieurs d'analyser la problématique du radon.

En octobre et novembre 2004, une deuxième campagne de mesures étendue a été effectuée en collaboration avec l'Office fédéral de la santé publique au moyen de dosimètres et d'appareils de mesures électroniques. En résumé, les résultats étaient les suivants :

- les concentrations de radon des salles de classe étaient en partie très élevées ;
- l'aile sud du bâtiment présente des concentrations de radon en général plus élevées que l'aile nord ;
- l'expérience montre que la concentration de radon diminue dans les étages supérieurs. Or, des concentrations accrues de radon ont toutefois également été relevées aux étages supérieurs.

Une évaluation visuelle a permis de déterminer les points faibles possibles de l'enveloppe du bâtiment comme les fissures et les joints dans les murs et les sols ainsi que les ouvertures ou les passages. Aucun problème majeur n'a pu être détecté. Un seul point de fuite possible a été constaté au niveau du sol de l'atelier du rez-de-chaussée de l'aile sud. Le couvercle d'un regard ne ferme pas de manière étanche à l'air (Figure 6.57). On peut penser qu'il s'agit d'un point d'infiltration de radon possible depuis le sous-sol vers l'intérieur du bâtiment. Une ventilation contrôlée avec récupération de chaleur a été installée dans le cadre d'un assainissement Minergie ; ses effets ont été mesurés au moyen d'appareils électroniques. Durant la période de mesures, le bâtiment n'a pas été occupé pendant deux semaines en raison de vacances. Pour pouvoir constater



Figure 6.57 :
Bouche de sol (puisard) de
l'atelier au rez-de-chaussée.

l'influence de la ventilation sur la concentration de radon, la ventilation a été arrêtée durant cette période. Le bâtiment possède deux circuits séparés comprenant chacun un appareil de ventilation. Ils ne sont pas connectés à un capteur géothermique. La ventilation a été éteinte le soir à 17h00 durant la semaine et remise en service à 5h30. Elle ne fonctionnait jamais durant le week-end. Après mise en service, les concentrations de radon moyennes diminuent à des valeurs acceptables (valeurs moyennes durant la journée: 189 Bq/m³ et 211 Bq/m³) durant la période scolaire. Sans ventilation, la concentration de radon augmentait fortement dans les locaux.

Assainissement immédiat

Comme mesure immédiate, on a introduit la ventilation permanente en février 2005. Afin de garantir un renouvellement d'air minimal, l'installation fonctionne la nuit et durant le week-end au niveau minimal. Ces mesures ont été couronnées de succès.

3^e campagne de mesures

Après la mise en œuvre des mesures immédiates, une troisième campagne de mesures dosimétriques a été effectuée à titre de contrôle. Les résultats (valeurs moyennes) figurent dans le Tableau 6.5. Ils mettent en évidence que l'adaptation de la stratégie de ventilation à elle seule entraîne une réduction des concentrations de radon à des valeurs acceptables dans les différents locaux. Seule la salle de classe 0.3 du rez-de-chaussée dans laquelle aucune ventilation mécanique n'avait encore été installée présentait des concentrations encore très élevées. Pour

déterminer l'influence de la ventilation sur les concentrations de radon dans l'ensemble du bâtiment, on a mesuré la valeur de radon au niveau des quatre bouches d'air (air extérieur, apport d'air, air vicié, air évacué vers l'extérieur). L'évaluation des résultats a montré que les flux d'air correspondants présentaient des concentrations de radon moyennes différentes. L'air évacué des salles de classe était manifestement le plus chargé. Le radon est évacué via la ventilation. Dans l'air extérieur, on attend normalement des concentrations de radon de 100 Bq/m³ au maximum (valeur typique: 10 Bq/m³). Dans l'école primaire, le flux d'air extérieur présentait une concentration moyenne de 370 Bq/m³. Ceci pourrait être dû à la faible distance entre les bouches d'aération d'apport et d'évacuation d'air de la façade (Figure 6.59) et donc à un court-circuit entre les deux flux d'air. L'air extérieur est mélangé à l'air évacué par l'appareil d'extraction. En outre, l'air apporté s'est enrichi en radon de 70 Bq/m³ (valeur moyenne) par rapport à l'air extérieur, la valeur de radon se situant à 440 Bq/m³. Parallèlement, la concentration a diminué d'environ 230 Bq/m³ (valeur moyenne) dans l'air évacué, la valeur se situant à 460 Bq/m³. Un échangeur de chaleur rotatif non étanche en était probablement la cause, car ces appareils présentent, de par leur conception, un fort taux de fuite.

Mesures d'assainissement

Dans le cadre de l'assainissement, les points suivants ont été optimisés et leur optimisation a été contrôlée par des mesures :

Tableau 6.5 : Résultats des diverses mesures effectuées.

Résultats				
	1 ^{re} campagne de mesures	2 ^e campagne de mesures	3 ^e campagne de mesures	Mesure de contrôle
Durée	2004	18.10. – 29.11.2004	23.03. – 24.05.2005	1.6. – 12.6.2017
Appareils de mesure	2 dosimètres	10 dosimètres, 2 appareils électroniques	9 appareils électroniques	7 appareils électroniques
Lieu	Salle de classe REZ	Salle de classe, atelier, local de couture	Salle de classe, atelier, ventilation	Salle de classe, cuisine, atelier
Valeur minimale	1081 Bq/m ³	390 Bq/m ³ (local de couture)	60 Bq/m ³ (salle de classe 2 ^e E)	113 Bq/m ³ (salle de classe 1 ^{er} E)
Valeur maximale	1089 Bq/m ³	3140 Bq/m ³ (atelier)	2650 Bq/m ³ (atelier)	783 Bq/m ³ (salle de classe REZ)

■ contrairement à ce que prévoyaient les plans du projet, aucune ventilation n'a été installée dans l'atelier du rez-de-chaussée qui était le plus fortement chargé. Dans ce local existe une source de fuite possible du fait de la présence d'un puits de sol (Figure 6.57). Afin de garantir un taux de renouvellement d'air minimal, ce local a également été raccordé à la ventilation ;

■ la disposition des bouches d'air (apport et évacuation) de la façade n'était pas optimale. Les faibles distances qui les séparent ont probablement conduit à un court-circuit entre les deux flux d'air, ce qui a provoqué un enrichissement en radon de l'air extérieur. Pour y remédier, une des conduites sur la façade a été prolongée (Figure 6.59) ;

■ les échangeurs de chaleur rotatifs des appareils de ventilation présentent en général un taux de fuites élevé. Ils ont donc été examinés par un spécialiste et des mesures d'étanchement ont été ordonnées.

La cause véritable des concentrations de radon très élevées n'a pas pu être déterminée de manière définitive. Déceler les points de fuite effectifs est une opération très complexe du fait de la structure du bâtiment et de la nature de sa construction. Les examens

ont montré que la concentration de radon dans les locaux du bâtiment pouvait être réduite considérablement par la mise en service du système de ventilation.

Mesure de contrôle

Un test d'imperméabilité à l'air a été effectué dans l'atelier en 2007 en combinaison avec une thermographie infrarouge. Ces tests n'ont toutefois pas permis de déterminer les points de fuite. Le fonctionnement permanent de la ventilation est donc maintenu. La nuit et durant les week-ends, le renouvellement d'air est réduit au minimum. Une nouvelle mesure de contrôle a été effectuée en sept endroits au moyen d'appareils électroniques en juin 2017. Cette mesure a montré que les concentrations de radon augmentaient encore fortement durant la nuit et les week-ends. Le bâtiment peut cependant être utilisé sans inconvénient lorsque la ventilation fonctionne en permanence. C'est pourquoi le personnel a en outre été informé qu'il était absolument indispensable que la ventilation fonctionne. La commune a été suffisamment sensibilisée si bien que des mesures de contrôle sont effectuées tous les quatre à cinq ans.



Figure 6.58 :
École primaire en Valais,
vue de l'aile sud.



Figure 6.59 : Le prolongement de la conduite d'évacuation minimise le court-circuit entre les deux flux de ventilation.

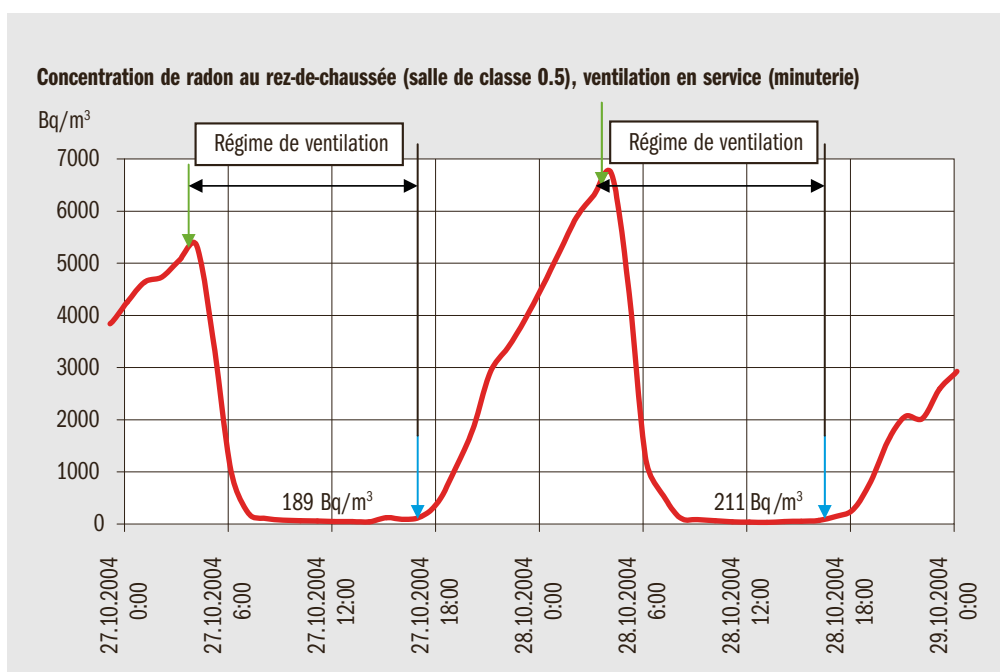


Figure 6.60 : Évolution temporelle de la concentration de radon dans la salle de classe 0.5 par régime de ventilation (vert : mise en service de la ventilation 4 h 30, bleu : arrêt de la ventilation 17 h 00).

Figure 6.61 : Résultats des mesures de contrôle effectuées dans l'atelier au rez-de-chaussée. La nuit et durant les week-ends, la ventilation permanente est réduite à un taux de renouvellement d'air minimal. Pendant ces périodes, les concentrations de radon augmentent à nouveau.

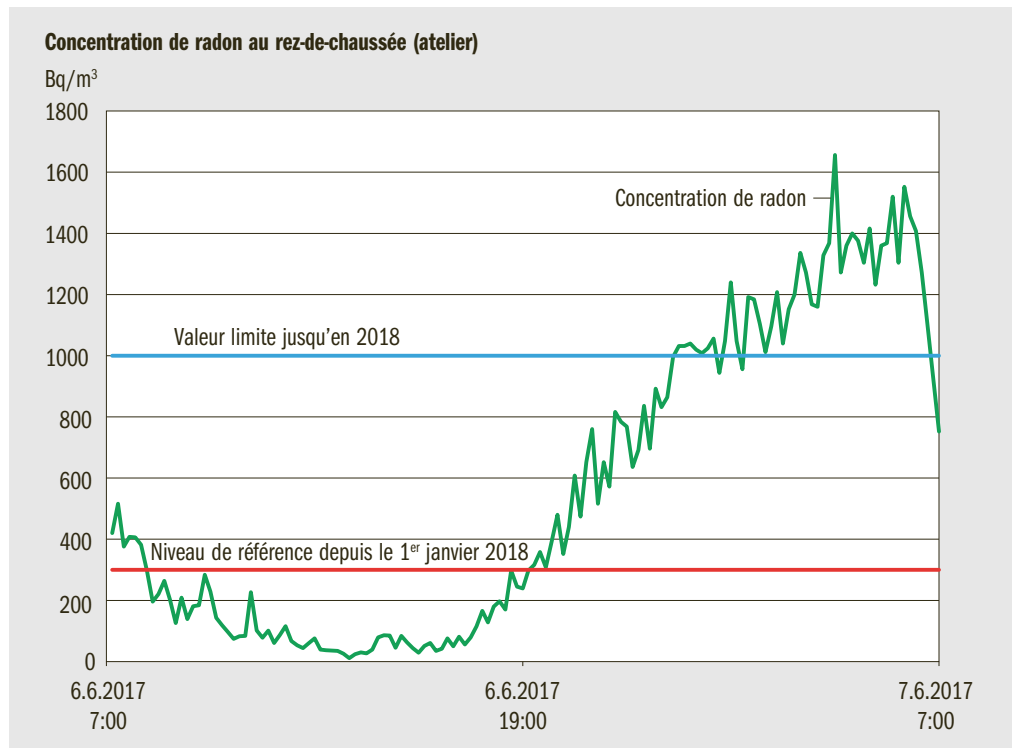
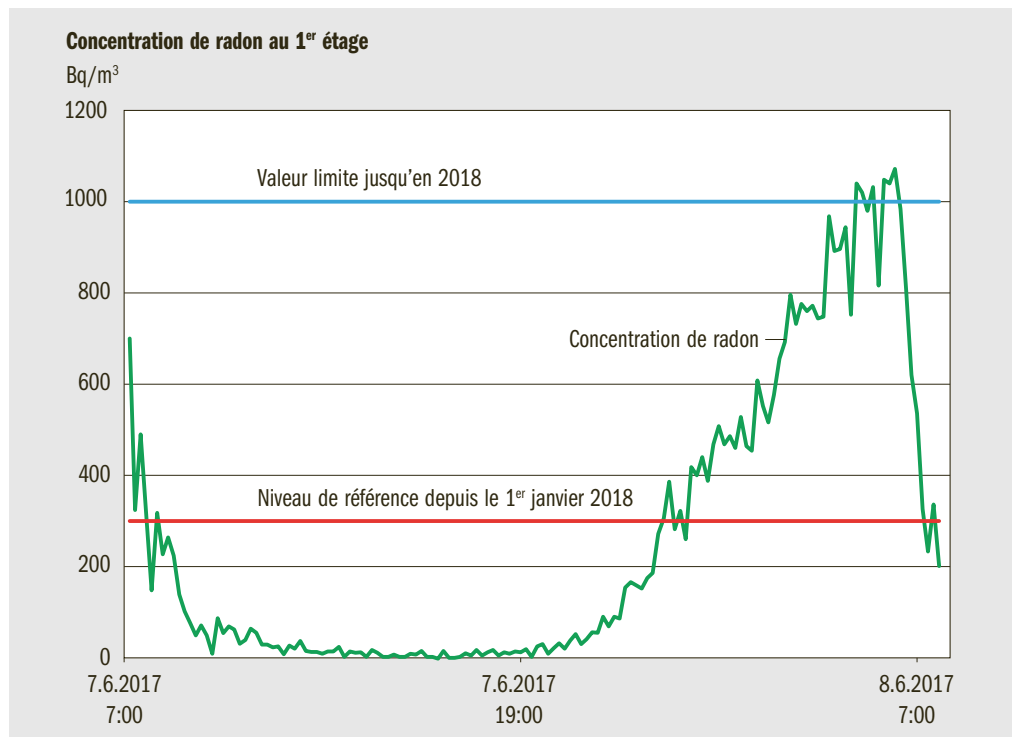


Figure 6.62 : Résultats des mesures de contrôle effectuées dans une salle de classe du 1^{er} étage. La nuit et durant les week-ends, la ventilation permanente est réduite à un taux de renouvellement d'air minimal. Pendant ces périodes, les concentrations de radon augmentent.



Jardin d'enfants à Soleure

Le bâtiment construit selon le standard des années 1970 est situé à Soleure, au pied du Jura. Du point de vue géologique, le Jura présente une structure de rupture particulière. Des fentes dans la structure rocheuse favorisent le transport de l'air du sol. En outre les glaciers de la dernière période glaciaire ont déposé des couches rocheuses cristallines et meubles.

Le bâtiment plain-pied a été construit sur des pilotis sur un sous-sol en roche dure (roche apparente). Un espace bas, non accessible (vide sanitaire), utilisé pour les conduites, est situé sous le bâtiment. Plusieurs petits locaux secondaires et un local de chauffage sont disposés à côté du local principal de l'école enfantine, qui est grand et ouvert.

L'assainissement envisagé supposait une mise en dépression du terrain. Cela consiste à installer un tuyau à plusieurs ouvertures dans le vide sanitaire sous le radier et à le relier à un ventilateur. L'air évacué est conduit vers le haut par un tuyau fixé sur le mur extérieur. Au moyen d'une mesure de courte durée effectuée avec un appareil électronique, le responsable cantonal du radon a vérifié l'influence exercée par l'exploitation du ventilateur sur la problématique du radon. Ainsi, un intervalle d'exploitation optimal et aussi économique a pu être déterminé, permettant d'atteindre des valeurs de radon inférieures à 100 Bq/m³.

Problématique du radon

On a mesuré 720 Bq/m³ dans le local du jardin d'enfants et 2700 Bq/m³ dans le local de chauffage. S'agissant d'un jardin d'enfants, il était urgent de prendre des mesures.

Analyse

Les analyses ont montré que le radon issu du vide sanitaire pénétrait dans les locaux par des fentes et des points de fuite. Les valeurs de radon élevées mesurées dans le local de chauffage sont probablement dues à des passages de conduite non étanches entre le local de chauffage et le vide sanitaire ainsi qu'à des effets thermiques créant une aspiration dans la zone du chauffage.

Mesures d'assainissement

On a tout d'abord tenté de réduire les valeurs de radon par des mesures d'étanchement du sol. On a, en outre, testé un ventilateur par surpression dans le local principal. Aucune des deux mesures n'a permis d'améliorer la situation. La taille du local principal (77 m²) était problématique, les ventilateurs par surpression usuels n'agissant pas sur une surface aussi grande.



Figure 6.63 : Un vide sanitaire est situé sous le bâtiment du jardin d'enfants (en haut).

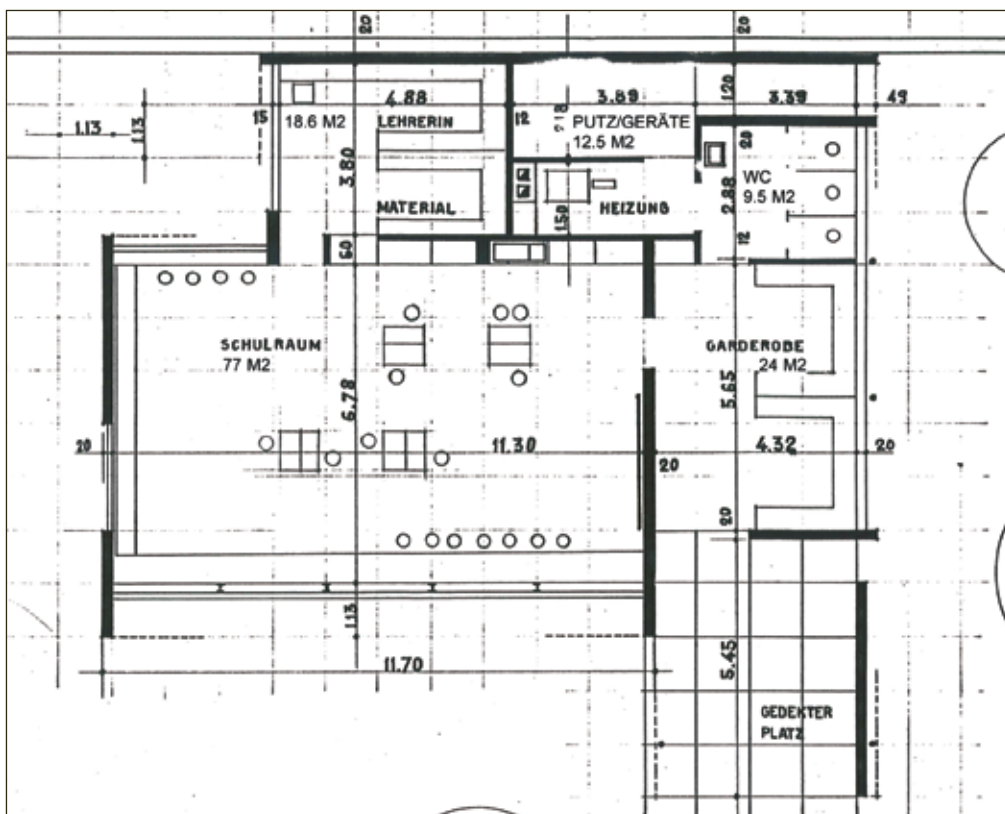


Figure 6.64: En matière de radioprotection, la taille du local (77 m²) du jardin d'enfants constituait un défi.

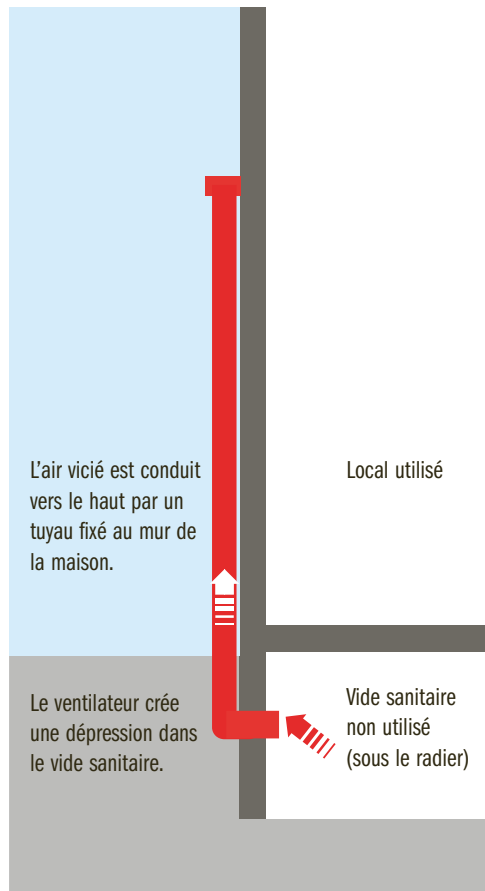


Figure 6.65 : Un système de mise en dépression du terrain a été installé dans le vide sanitaire.

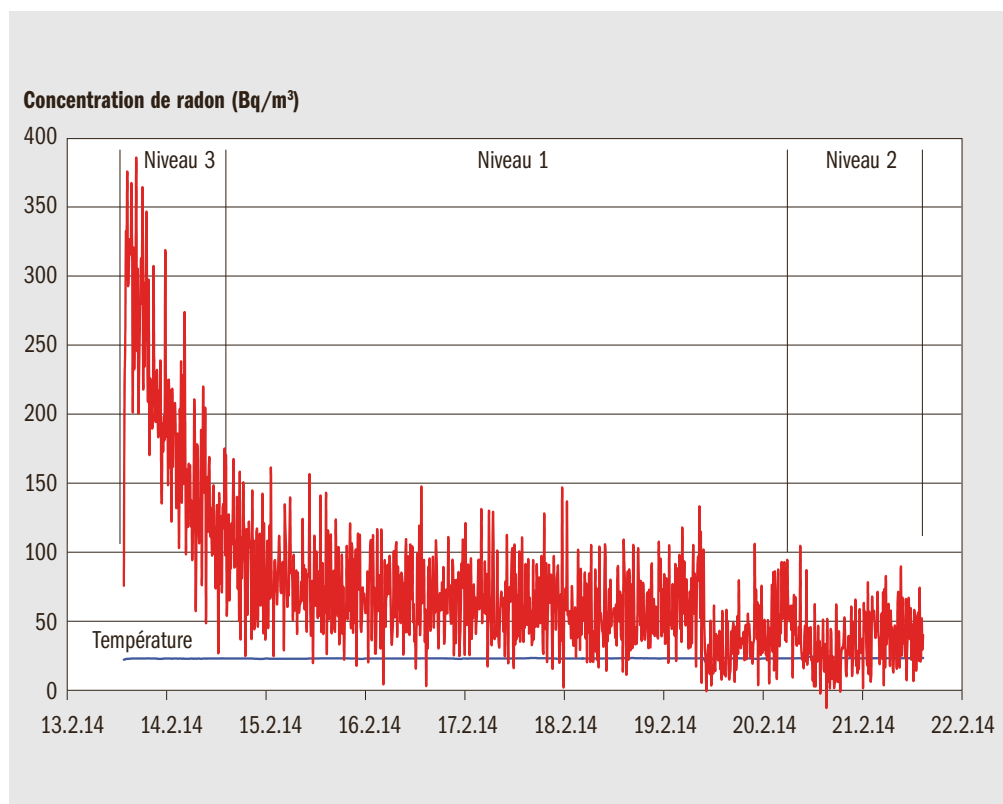


Figure 6.66 : Le ventilateur du système de mise en dépression du terrain a fonctionné à différents régimes ; la diminution des valeurs de radon a été déterminée.

Immeuble d'habitation dans la région d'Olten

L'immeuble de trois étages a été construit en 1950 au pied du Jura et a été rénové au niveau de la façade et en partie assaini sur le plan énergétique en 2009. La cave est divisée en un local à provisions en terrain naturel (recouvert de briques perforées), deux locaux utilisés comme locaux de bricolage et une buanderie. L'ancienne cave à charbon située sous l'escalier de la cave est également en terrain naturel. Une puissante hotte aspirante est installée dans la maison.

Problématique du radon

Les valeurs de radon ont atteint jusqu'à 4500 Bq/m^3 dans la cave en terre battue, tombant à environ 2000 Bq/m^3 après une aération ponctuelle. Des concentrations accrues allant jusqu'à 3400 Bq/m^3 ont également été mesurées dans l'ancienne cave à charbon, tombant à 1300 Bq/m^3 après aération. Au rez-de-chaussée, on a mesuré 1800 Bq/m^3 dans le hall. Les locaux du rez-de-chaussée présentaient des valeurs allant jusqu'à 1000 Bq/m^3 , ce qui indique un transfert de radon depuis la cave vers les locaux d'habitation.

Analyse

La cave en terre battue a été clairement identifiée comme source de radon, car les autres locaux du sous-sol, comme l'atelier et la buanderie, dont les sols sont revêtus présentaient des valeurs de radon nettement inférieures. Durant la mesure, les habitants tenaient un procès-verbal complet en rapport avec la ventilation et les conditions météorologiques. La comparaison avec les protocoles de mesures montre qu'une aération régulière réduit très efficacement la charge de radon des locaux d'habitation, les valeurs mesurées étant inférieures à 300 Bq/m^3 . En cas d'aérations occasionnelles, les valeurs augmentaient à nouveau jusqu'à plus de 600 Bq/m^3 . La mise en service de la hotte de la cuisine exerce un effet difficile à cerner. On n'a pas constaté d'aspiration renforcée d'air du sol chargé de radon vers les étages supérieurs.

Les résultats n'ayant été bons que lors des aérations effectuées à fond et les valeurs de radon augmentant rapidement lorsque les fenêtres restent fermées, il a fallu agir.

Mesures d'assainissement

Un étanchement provisoire réalisé dans la cage d'escalier de la cave au moyen de lattes à tuiles et de bâches en plastique a déjà exercé un effet positif après deux semaines. Suite à ce test, le maître d'œuvre a décidé d'installer une porte étanche afin de réduire la montée du radon vers le rez-de-chaussée. La concentration de radon a été examinée en continu au moyen d'un appareil électronique. Dans les locaux d'habitation, elle se situe à présent vers 300 Bq/m^3 en moyenne annuelle. On a donc pu obtenir un bon impact au moyen d'une mesure simple et peu onéreuse.

Figure 6.67 : Plan du niveau de la cave, en rouge la nouvelle porte.

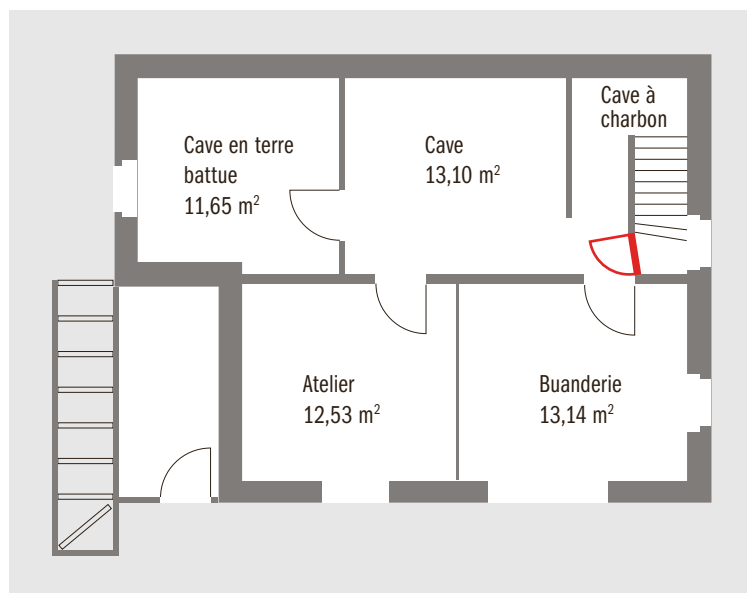




Figure 6.68: Le bâtiment a été assaini en 2009.



Figure 6.69 (à gauche): Le sol en terre battue de la cave à provisions est recouvert de briques perforées (perméables à l'air).



Figure 6.70 (à droite): La nouvelle porte étanche réduit la montée du radon depuis la cave vers le rez-de-chaussée.

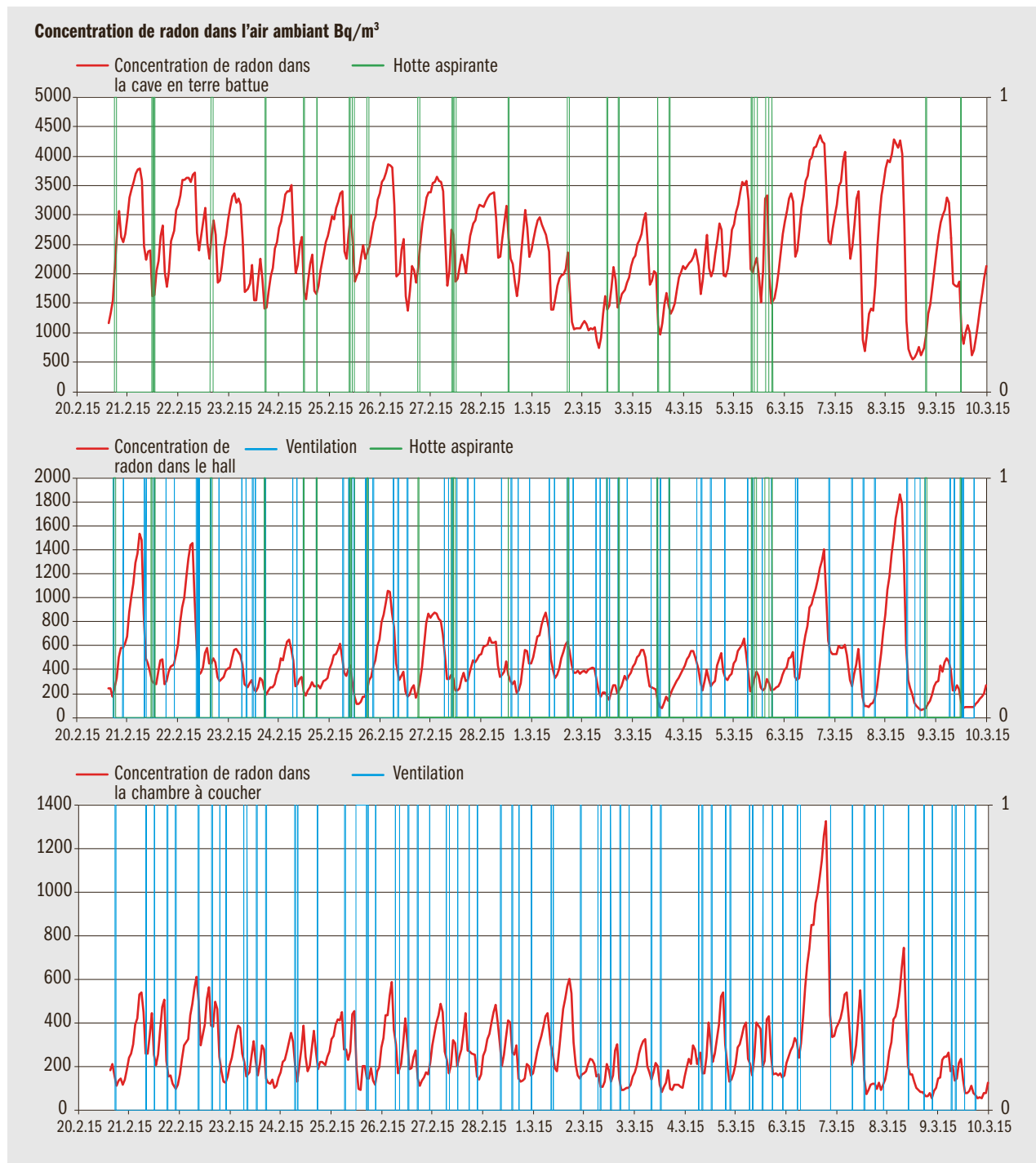


Figure 6.71 : Il ressort des protocoles de ventilation que l'effet de l'aération est positif (traits bleus verticaux). L'exploitation de la hotte aspirante (traits verticaux verts) ne renforce pas la concentration de radon.

0 = hors service,
1 = en service.

Bâtiment administratif à Bâle

Le siège principal du service cantonal de recherche archéologique du canton de Bâle-Ville se trouve dans un bâtiment hospitalier historique aux environs de la vieille ville du Grand Bâle. Le bâtiment à deux étages a été construit en 1903 et rénové et transformé pour accueillir le service cantonal en question dans les années 1980.

Problématique du radon

Selon la carte de radon du géoportail du canton de Bâle-Ville, cette région n'est que faiblement chargée en radon. Toutefois, certains collaborateurs pensaient que les concentrations de radon pouvaient être accrues dans les locaux de la cave. Des mesures de radon ont donc été effectuées en 2011 par le laboratoire cantonal de Bâle-Ville.

Analyse

Les résultats des mesures se situaient entre 250 et 1500 Bq/m³ pour les locaux de la cave du bâtiment. Un des locaux chargés de radon est régulièrement utilisé comme local de travail à des fins d'inventaire scientifique d'objets archéologiques. De ce fait, il était nécessaire de prendre des mesures pour protéger les collaborateurs.

Mesures d'assainissement

Afin de réduire la concentration de radon dans le local de travail, on a installé une ventilation mécanique équipée d'un réglage séparé des débits d'apport et d'évacuation d'air, d'un système de récupération de chaleur et de régulation de la vitesse. Le débit volumique maximal d'air entrant se situe vers 170 m³/h, le débit maximal d'air évacué vers 150 m³/h. La ventilation est exploitée à environ la moitié de la puissance, ce qui correspond à un renouvellement d'air d'environ 0,4 par heure.

Un couvercle de bouche d'égout se trouve dans le local. Il est collé au revêtement de sol. Le sol est plat sans jointures en PVC. Il existe quelques passages pour des conduites

d'eaux usées qui sont soigneusement exécutés. Les raccords aux murs ainsi que la construction du sous-sol n'ont pas pu être évalués.

La concentration de radon du local est surveillée en continu au moyen d'un appareil électronique. Une évaluation des données est effectuée régulièrement afin d'apprécier la nécessité d'autres interventions. Le réglage actuel de la ventilation permet d'atteindre des valeurs de radon d'environ 100 Bq/m³ si bien que, pour l'heure, aucune autre mesure n'est nécessaire.



Figure 6.72: Le bâtiment historique date de 1903.



Figure 6.73: Les locaux du sous-sol sont utilisés en partie comme locaux de travail (à gauche). À droite, on voit l'aspiration ponctuelle du système de ventilation.



Figure 6.74: Bouche de sortie de la ventilation (à gauche), réglage du débit volumique de l'air évacué (à droite).



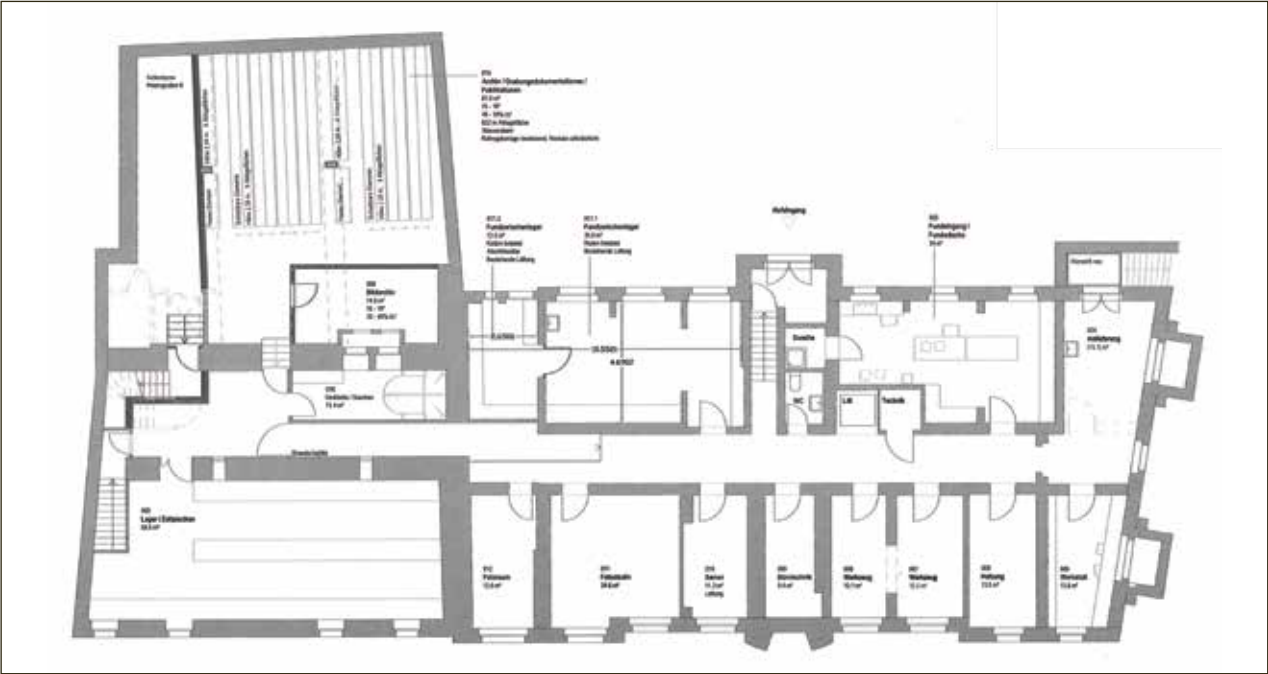


Figure 6.75: Plan du sous-sol.

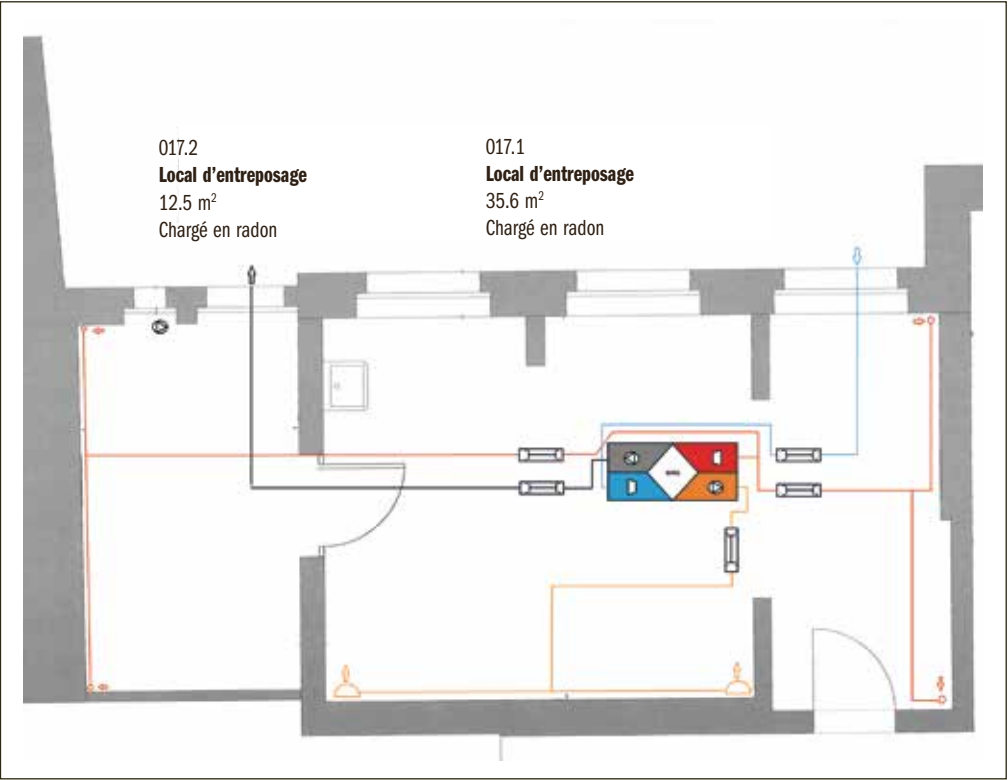


Figure 6.76: Schéma de la ventilation du local de travail.

Maison familiale à Riehen

Ce bâtiment typique de la structure résidentielle de la Suisse construit en 1921 a été rénové du point de vue énergétique par diverses mesures constructives. Ainsi, on a installé à la fin des années 1990 des fenêtres isolantes très étanches, ce qui a conduit à une péjoration de la problématique du radon dans la maison.

Problématique du radon

Comme déjà constaté lors des mesures effectuées précédemment, le local de la cave en sol non scellé est fortement chargé en radon. La valeur moyenne se situe vers 1930 Bq/m³, la valeur maximale vers 2700 Bq/m³. Les valeurs de radon variaient fortement, la valeur se situant en dessous de 1000 Bq/m³ lorsque la température extérieure était élevée. Une explication possible réside dans le fait que le sol autour de la maison se réchauffe et s'assèche. Ainsi, davantage de radon sort du terrain environnant et moins du sol de la cave. Une seconde explication réside dans l'effet de cheminée qui renforce le renouvellement d'air par les points de fuite du bâtiment, ce qui dilue le radon dans les locaux et l'entraîne à l'air libre.

Les valeurs de la série de mesures la plus récente sont inférieures à celles de l'hiver 2015. À l'époque, la valeur moyenne était de 3400 Bq/m³. Au salon, la concentration de radon est plus faible. On mesure en moyenne 290 Bq/m³ sur 15 jours. Lorsque les températures sont fraîches et aux premières heures du jour (1 à 3 heures du matin), on note des pics occasionnels allant jusqu'à 590 Bq/m³. Par rapport aux mesures de 2015, les valeurs ont également diminué au salon. La chambre à coucher à l'étage n'est que faiblement concernée par le radon : la valeur moyenne se situe en effet vers 130 Bq/m³. Par temps froid, la valeur monte cependant jusqu'à environ 300 Bq/m³.

Analyse

La concentration de radon du salon se situe à peine en dessous du niveau de référence de 300 Bq/m³. Formellement, aucune autre mesure n'est nécessaire, toutefois il est recommandé de vérifier les valeurs de radon de temps en temps par une mesure dosimétrique prolongée.

Mesures d'assainissement

L'insert de cheminée en particulier a conduit à une forte dispersion de l'air chargé de radon dans tous les étages du bâtiment. Lors de l'assainissement de l'installation de chauffage, effectué en 2016, il a été éliminé, et on a sciemment renoncé à installer une sonde géothermique. Au lieu de cela, on a installé une pompe à chaleur air-eau. Comme prochaine mesure, il est prévu d'étancher la cave en terre battue.



Figure 6.77 : L'installation de fenêtres isolantes étanches a conduit à une péjoration de la problématique du radon dans le bâtiment des années 1920.



Figure 6.78 : Mesure de radon dans la cave dont le sol n'est pas étanche.

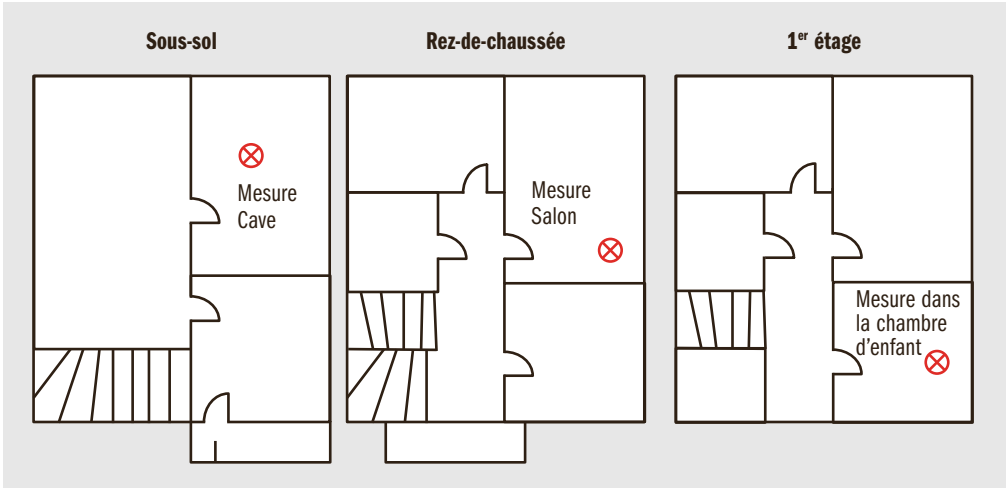


Figure 6.79: Plans avec les trois points de mesure.

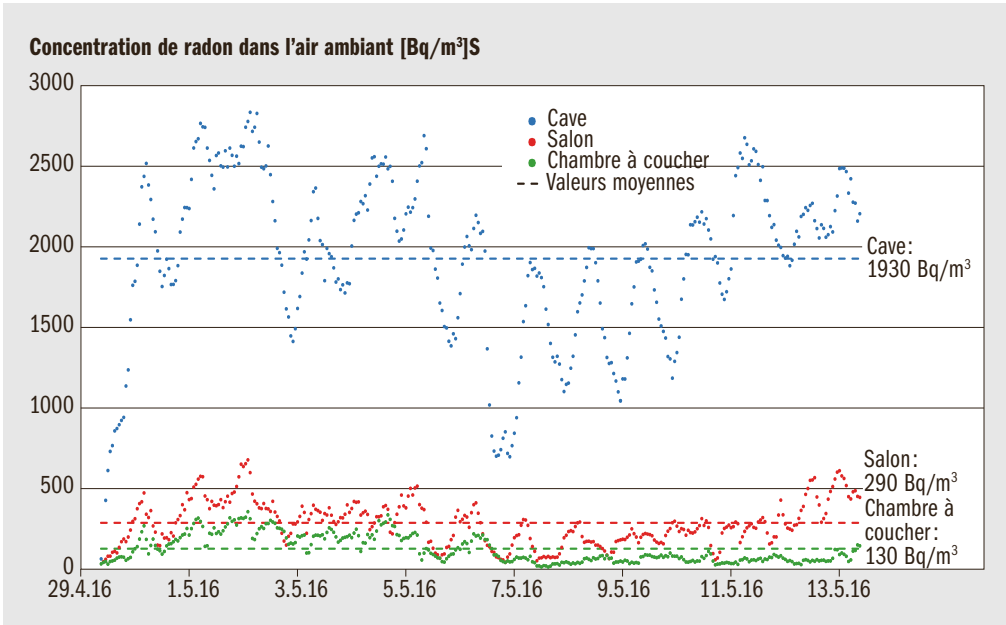


Figure 6.80: Concentrations de radon aux trois points de mesure.

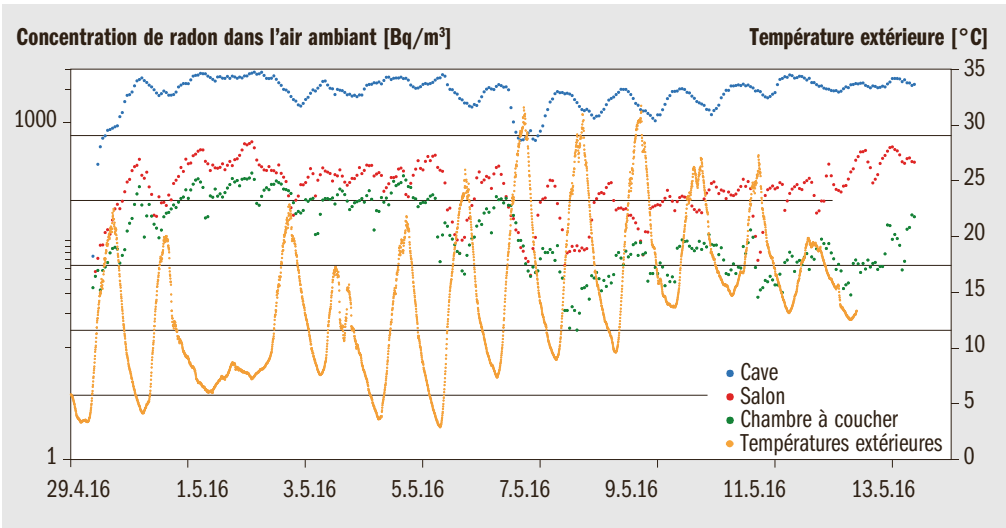


Figure 6.81: Concentrations de radon en fonction de la température extérieure.

Immeuble d'habitation présentant des concentrations de radon très élevées

La maison familiale de trois étages, isolée, est située sur du matériau cristallin crevassé d'un éboulement rocheux. La parcelle présentait des fentes profondes qui ont été colmatées lors de la construction de la maison. Le sous-sol est utilisé comme appartement de vacances.

Diverses mesures de protection contre le radon ont été réalisées ces dernières années sur le bâtiment qui présente de fortes concentrations. Un système de drainage a été installé sous le sol de la cave, mais il n'est pas en service. Une ventilation mécanique a été aménagée dans l'appartement de vacances du sous-sol.

Un ventilateur d'extraction a été installé dans la cave à provisions adjacente au mur extérieur côté pente. Le mur de la cave en contact avec le terrain est en pierres naturelles et non crépi. Le sol est bétonné dans tout le sous-sol. Une feuille d'étanchéité recouverte d'aluminium est posée au plafond situé entre le sous-sol et le rez-de-chaussée.

Problématique du radon

Malgré les mesures prises, des valeurs allant jusqu'à 55 000 Bq/m³ ont été mesurées dans les locaux attenants du sous-sol. Dans l'appartement de vacances, les valeurs se situaient entre 2500 et 3500 Bq/m³. Dans les locaux d'habitation du rez-de-chaussée et à l'étage, les valeurs de radon ont atteint 9000 Bq/m³.

Analyse

Un renouvellement répété de l'air de la cave a abaissé les valeurs de radon jusqu'à un intervalle de 8000 à 12 000 Bq/m³, mais a entraîné une arrivée d'air provenant des étages supérieurs. Les concentrations de radon au rez-de-chaussée et à l'étage ont évolué autrement que dans la cave. Les valeurs de radon mesurées dans le salon du rez-de-chaussée sont cycliques et présentent un minimum et un maximum quotidiens. Cela peut être dû à des conditions thermiques liées aux systèmes des vents de vallée et de montagne.

La thermique d'un bâtiment est difficile à contrôler lorsqu'elle est influencée de l'extérieur, ce qui explique le peu de succès des mesures prises. En outre, on suppose que le radon monte par les interstices des murs intérieurs.

Mesures d'assainissement

Toutes les mesures de protection contre le radon prises jusqu'à maintenant dans le bâtiment n'ont pas conduit à une réduction durable des concentrations de radon dans les locaux d'habitation. De manière générale on suppose tout de même qu'il est possible d'assainir le bâtiment. Les mesures suivantes devraient être prises :

- activer le système de drainage aspirant l'air et le conduisant vers l'extérieur (créer une dépression) ;
- mieux régler la ventilation de l'appartement de vacances (créer une légère surpression) ;
- installer une ventilation mécanique supplémentaire au rez-de-chaussée ainsi que dans les chambres à coucher à l'étage et la régler sur une légère surpression ;
- crépir le mur en pierre naturelle de la cave en contact avec le terrain ;
- installer des capteurs de radon dans la cage d'escalier.

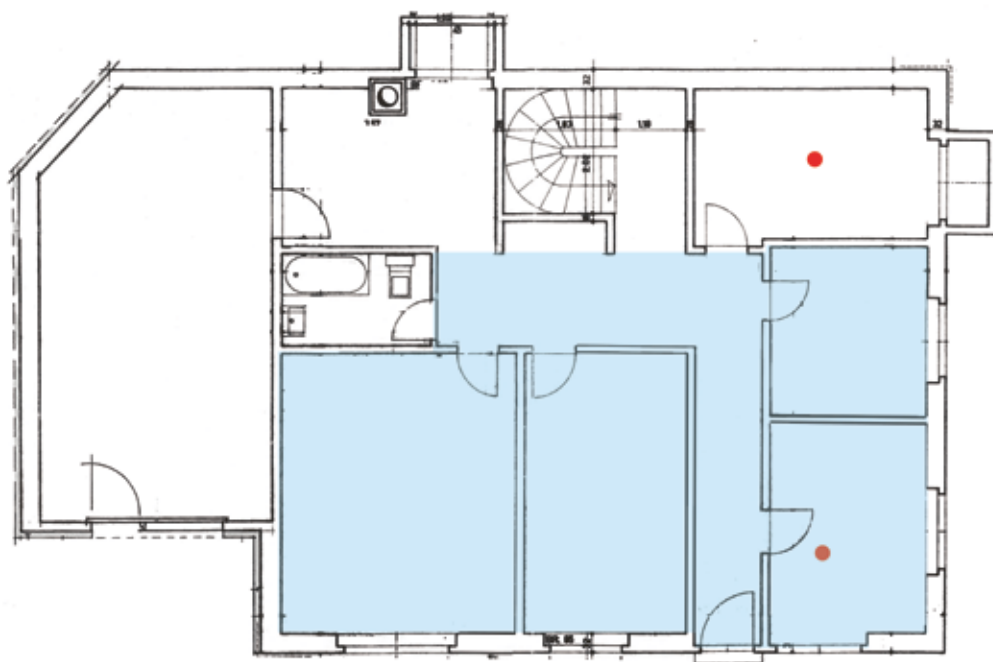


Figure 6.82 : Dans le plan du sous-sol, l'appartement de vacances est en bleu et la position des dosimètres en rouge.

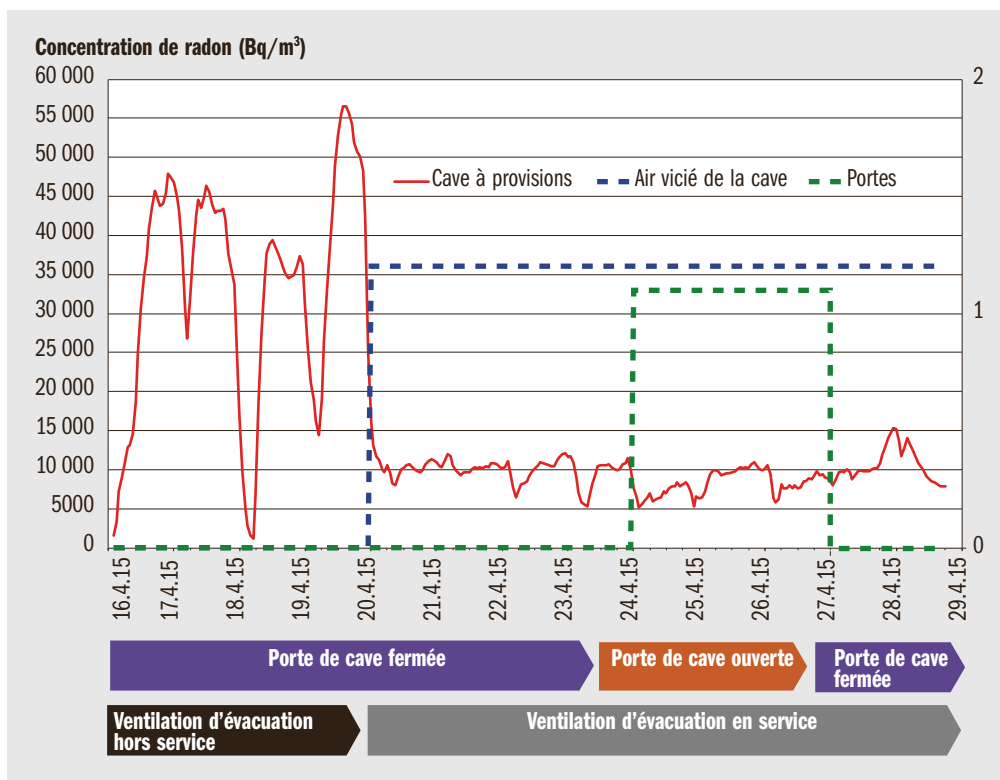


Figure 6.83 : Le ventilateur d'extraction installé dans la cave réduit les valeurs de radon à un intervalle de valeurs allant de 8000 jusqu'à 12 000 Bq/m^3 , ce qui est encore trop élevé.

6.3 Nouvelles constructions

Immeuble d'habitation du district de Bellinzone

La maison familiale comprend un rez-de-chaussée et un étage. Une grande cuisine ouverte sur le salon et une salle de bain se trouvent à l'étage. Le rez-de-chaussée comprend trois chambres à coucher, une salle de bain et la buanderie. Mise à part la façade donnant sur la route, le rez-de-chaussée est principalement en contact avec le terrain.

Problématique du radon

Le bâtiment est situé dans une région à concentration accrue de radon. La géologie du lieu est caractérisée par une couche de trois à cinq mètres d'épaisseur de dépôts sableux contenant du gravier et de la boue. En dessous se trouve un substrat rocheux en gneiss.

Analyse

Le terrain présentant un risque accru de radon et des locaux de séjour ayant été planifiés dans la cave, une prévention complète (mesures de base, mesures complémentaires et mesures supplémentaires) était nécessaire (pour les mesures de prévention nécessaires, cf. chapitre 3).

Mesures d'assainissement

- **Mesures de base :** les passages des conduites dans les zones du bâtiment en contact avec le terrain ont été étanchés par des manchons ou des systèmes RDS.
- **Mesures complémentaires :** le radier et les murs en contact avec le terrain ont été réalisés en béton de classe XC2.
- **Mesures supplémentaires :** un système préventif de mise en dépression a été installé sous les fondations du bâtiment. Les tuyaux de drainage ont un diamètre de 16 cm et sont posés dans un lit graveleux de 30 cm d'épaisseur. Les tuyaux de drainage flexibles situés sous la fondation du bâtiment ont été regroupés dans un tuyau rigide en PVC sor-

tant de terre à la verticale jusqu'à la hauteur du premier étage.

Une ventilation de confort a été aménagée. Dans le cas des installations pour pièces individuelles, la capture de l'air extérieur doit être, selon le cahier technique SIA 2023, située à au moins 70 cm au-dessus du sol lorsque le terrain n'est accessible qu'à titre privé.

Si des mesures de contrôle ultérieures indiquent des concentrations élevées de radon, il est recommandé d'installer un ventilateur à un bout du drainage afin de mettre le sol en dépression et d'aspirer l'air chargé en radon. Il est indispensable de penser à l'éventuelle condensation de vapeurs d'eau dans le système de tuyaux et au bruit généré par le ventilateur. Le tuyau d'évacuation doit se situer à au moins deux mètres des portes et des fenêtres.

Figure 6.84 : Le rez-de-chaussée de la maison familiale est principalement entouré de terrain.





Figure 6.85 : Installation d'un drainage de radon.



Figure 6.86 (à gauche):
Détail du drainage de radon.



Figure 6.87 (à droite):
Installation de gaines tubulaires étanches.

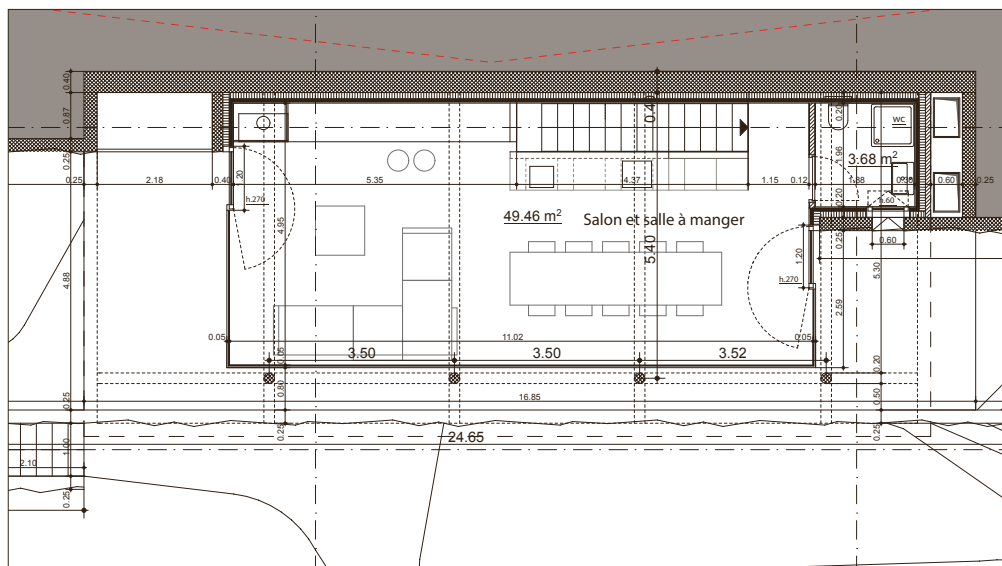


Figure 6.88 : Plan de l'étage.

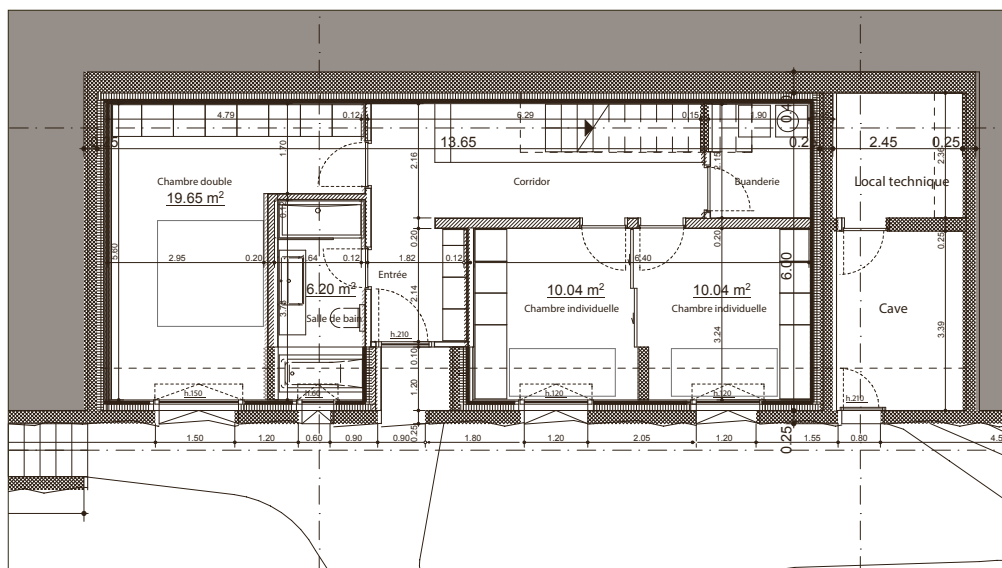


Figure 6.89 : Plan du rez-de-chaussée.

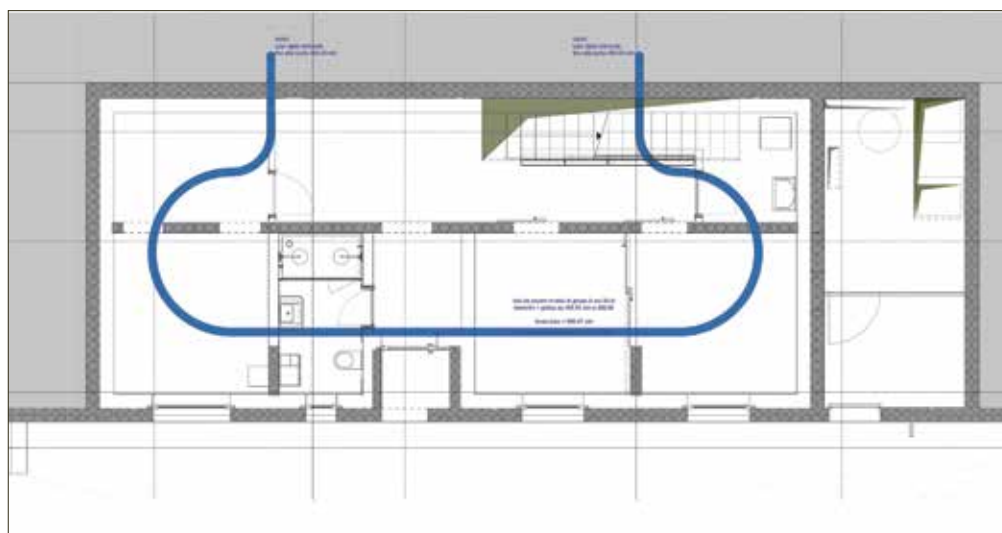


Figure 6.90 : Plan du drainage de radon.

Maison d'habitation des Franches-Montagnes

L'ancien bâtiment agricole avec partie habitable se trouve dans une région plate à l'extérieur d'une commune du canton du Jura. La maison a été rénovée complètement selon le label Minergie en 2015. Une partie de l'enveloppe du bâtiment a été reconstruite et la structure intérieure a été en grande partie renouvelée. L'enveloppe du bâtiment a été étanchée afin d'éviter des pertes par ventilation. Toutes les fenêtres répondent aux exigences actuelles de la protection thermique et de l'étanchéité. Un chauffage à pellets et une installation d'aération de confort assurent le confort thermique et la qualité de l'air dans tous les locaux habités. Au rez-de-chaussée se trouve un appartement secondaire indépendant non assaini, mais qui a été raccordé à l'installation d'aération de confort. Environ un cinquième de la maison est situé sur une cave. Les locaux de cave non assainis ont un sol en béton maigre mince et abîmé, et se trouvent sous l'appartement secondaire.

Problématique du radon

Les mesures dosimétriques effectuées précédemment avaient montré que les concentrations de radon étaient élevées dans la

cave. C'est pourquoi une mesure de radon à courte durée a été ordonnée en 2016. Ainsi, des valeurs allant jusqu'à 2100 Bq/m^3 ont été documentées pour la chambre à coucher de l'appartement du rez-de-chaussée.

Analyse

Par des aérations ponctuelles intenses, la concentration de radon a pu être réduite ; après peu de temps, les valeurs ont à nouveau augmenté. On a pu noter que le système de ventilation mécanique ne conduisait pas à une réduction de la charge de radon. Suite à une demande, l'habitant a indiqué qu'il avait arrêté l'aération contrôlée pour des raisons acoustiques ; ainsi, le renouvellement d'air était insuffisant. Dans la chambre à coucher du 1^{er} étage de la partie rénovée du bâtiment, la charge de radon n'était pas critique. La valeur maximale par minute se situait certes vers 850 Bq/m^3 , mais c'était une valeur extrême. La valeur moyenne sur 60 minutes était de 100 Bq/m^3 . La valeur moyenne sur toute la durée des mesures se situait vers 45 Bq/m^3 . La situation était analogue dans la buanderie du rez-de-chaussée de la nouvelle partie du bâtiment. Ici aussi, on avait noté



Figure 6.91 : La maison a été complètement rénovée selon Minergie.

quelques valeurs extrêmes allant jusqu'à 870 Bq/m^3 . La valeur moyenne sur 60 minutes était cependant de 210 Bq/m^3 . La valeur moyenne sur toute la durée des mesures se situait vers 90 Bq/m^3 .

Mesures d'assainissement

Les mesures réalisées dans le nouveau bâtiment étaient suffisantes pour régler la question du radon dans les parties nouvellement construites. Les mesures suivantes ont été

recommandées pour les locaux non assainis du bâtiment :

- changer le sol dans les locaux du rez-de-chaussée (uniquement à l'intérieur de l'appartement secondaire) ;
- remise en service de la ventilation mécanique de l'appartement secondaire, aération disposant d'un dispositif de contrôle de l'apport et de l'évacuation d'air ainsi que d'un système de récupération de chaleur ;
- portes étanches au rez-de-chaussée.

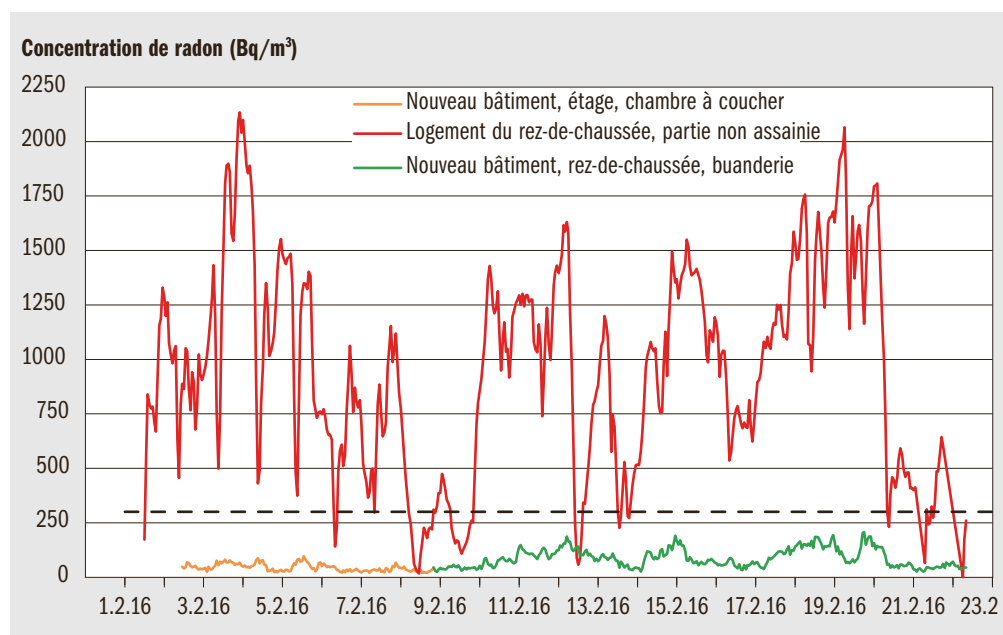


Figure 6.92 : Les valeurs de radon mesurées dans le nouveau bâtiment se situent en dessous de la valeur limite, celles de la partie non assainie nettement au-dessus.

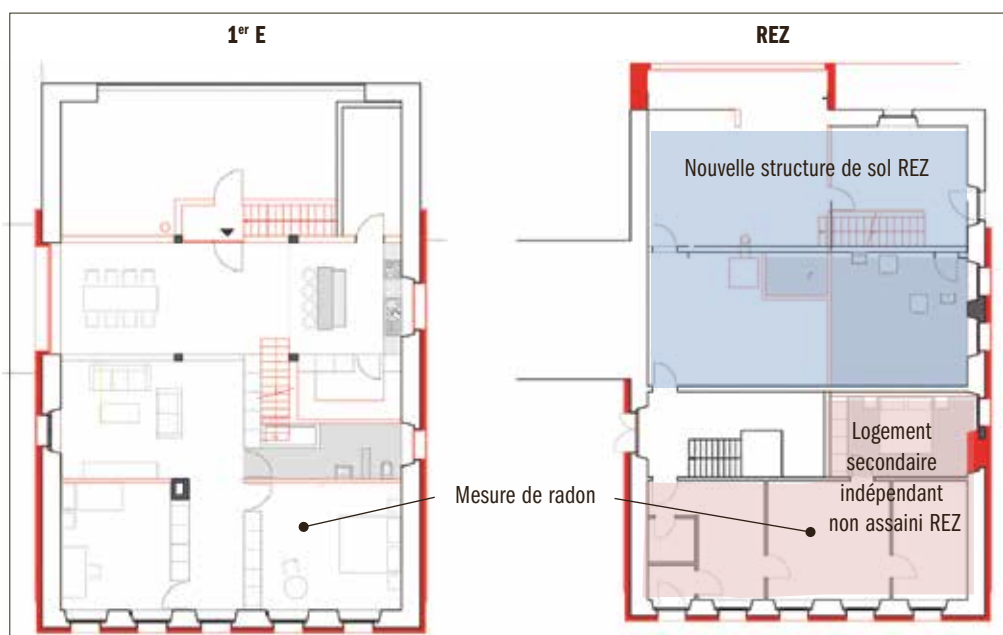


Figure 6.93 : En bleu la partie rénovée de la maison, en rouge le logement non assaini.

Campus universitaire à Olten

Le bâtiment du campus de la FHNW d'Olten a été construit en 2013 selon les exigences de Minergie-P-Eco. Les mesures suivantes ont été réalisées sur la base de la norme SIA 180 :

- radier d'un seul tenant ;
- étanchement du radier ;
- apport d'air extérieur par le toit ;
- pas d'utilisation durable des locaux du sous-sol notamment aux fins d'enseignement.



Figure 6.94 : Façade du campus FHNW à Olten.

Mesure de la concentration de radon

Après discussion avec l'architecte et le maître d'œuvre, les mesures de base prises en 2015 ont été examinées par le service compétent en matière de radon. Sur une durée de 100 jours, entre novembre 2015 et février 2016, on a mesuré la concentration de radon dans onze locaux de ce campus. Conformément aux recommandations, les dosimètres ont été installés au milieu du local à l'abri des courants d'air.

Conclusion

Les résultats montrent qu'il n'y a pas de problèmes de radon dans le bâtiment. Dans le local du puits d'eau souterraine (A 142 UG) ont été mesurées les valeurs les plus élevées se situant pourtant en dessous de la valeur seuil relative aux postes de travail exposés au radon (1000 Bq/m³). La valeur de 170 Bq/m³ mesurée dans l'archive A 130 était certes un peu élevée pour un bâtiment Minergie-Eco, mais se situe nettement en dessous du niveau de référence recommandé de 300 Bq/m³. Au vu des résultats, ce bâtiment ne nécessite aucune mesure particulière en matière de protection contre le radon.

Résultats			
Positionnement des dosimètres	Particularités	Concentration de radon moyenne air ambiant (Bq/m ³)	Incertitude de mesure (+/- Bq/m ³)
A 130 Local à vélos	Sur tracé de câbles, à côté de la caméra	21	6
A 284 2 ^e E	Derrière une porte à persiennes, sur un cadre en bois	83	8
A 236 WC pour handicapés 2 ^e E	Dans l'armoire de commande de l'ascenseur	26	6
SS Vestiaire cuisine	Sur tracé de câbles	30	6
B 015 REZ	Sur le plan de séparation du comptoir	13	5
A 142 puits d'eau souterraine SS	Sur tracé de câbles sur le mur	789	48
B 140 centrale de ventilation	Sur tracé de câbles	20	5
REZ côté est	Zone de montée de la distribution électrique	10	5
Parking couvert SS1	Centre du local, en position centrale sur tracé de câbles	13	5
Archive SS	Centre du local, sur tracé de câbles	43	6
A 130 SS Archive	À côté de la gaine sur tracé de câbles	171	15

Jardin d'enfants double à Riehen

La construction en forme de pavillon comprend un jardin d'enfants double et des locaux pour l'accueil de jour. Il a été terminé début 2018. Le nouveau bâtiment en forme de L s'intègre de manière harmonieuse dans la structure des jardins environnants par la partie nord-ouest de la parcelle. Les éléments de façade formant des niches confèrent son identité au bâtiment. Les verrières du toit créent une structure reconnaissable entre toutes. Le bâtiment est subdivisé en trois zones principales avec des locaux secondaires adjacents. Les locaux à plafonds hauts, munis de verrières et de fenêtres coulissantes se prêtent particulièrement à un éclairage et à une aération naturels. Dans les combles se trouvent également des locaux de repos à côté des surfaces de jeux et de bureau.

Mesures préventives

Les mesures préventives de protection contre le radon ayant été prises pour le jardin d'enfants double sont énumérées ci-après.

■ Le sous-sol sans fenêtres se trouve à l'intérieur du périmètre d'isolation thermique. En cas de concentration accrue de radon, le sous-sol peut être aéré de manière mécanique par le biais de tuyaux déjà installés conduisant au toit.

■ Les conduites passant à travers le radier et les murs du sous-sol ont été étanchés à l'eau à l'aide de manchons et d'un système de passage RDS.

■ La dalle du rez-de-chaussée et les murs en contact avec le terrain ont été réalisés en béton imperméable à l'eau (classe d'étanchéité 1 selon la norme SIA 272).

■ Sous la dalle du rez-de-chaussée, on a installé une couche de Misapor d'une épaisseur de 45 cm pour des raisons de physique du bâtiment et de drainage. Si des concentrations élevées de radon apparaissent durant l'exploitation, la couche de Misapor peut être ventilée activement par un ventilateur et un tuyau d'évacuation conduisant

au toit. On a posé deux tuyaux vides sous le radier, étanchés par un manchon et traversant le radier jusqu'à l'intérieur du bâtiment. Depuis le rez-de-chaussée, ils mènent jusqu'au toit par l'intérieur des cloisons à ossature bois.

■ La porte du rez-de-chaussée donnant accès au sous-sol a été étanchée et équipée d'une serrure de sécurité.

Phase d'exploitation

Sous la dalle de béton du sous-sol utilisé comme entrepôt non chauffé, aucune couche de Misapor n'était nécessaire. Les murs réalisés en béton imperméable à l'eau, équipés d'une isolation thermique extérieure, étaient suffisants à cet égard. Comparé aux valeurs escomptées dans les pierres concassées situées en dessous, on ne s'attend pas à des concentrations accrues de radon dans la couche de Misapor située sous le radier du rez-de-chaussée. C'est pourquoi aucune ouverture ponctuelle, à effet passif, n'a été nécessaire dans la barrière d'isolation contre le gel longeant le radier du rez-de-chaussée. Durant l'exploitation, on prévoit en outre d'effectuer des mesures de concentration de radon à l'intérieur du bâtiment.



Figure 6.95 (à droite):
Grand toit au-dessus du
nouveau jardin d'enfants
double de Riehen.

Figure 6.96 (en bas): Plan
du rez-de-chaussée.

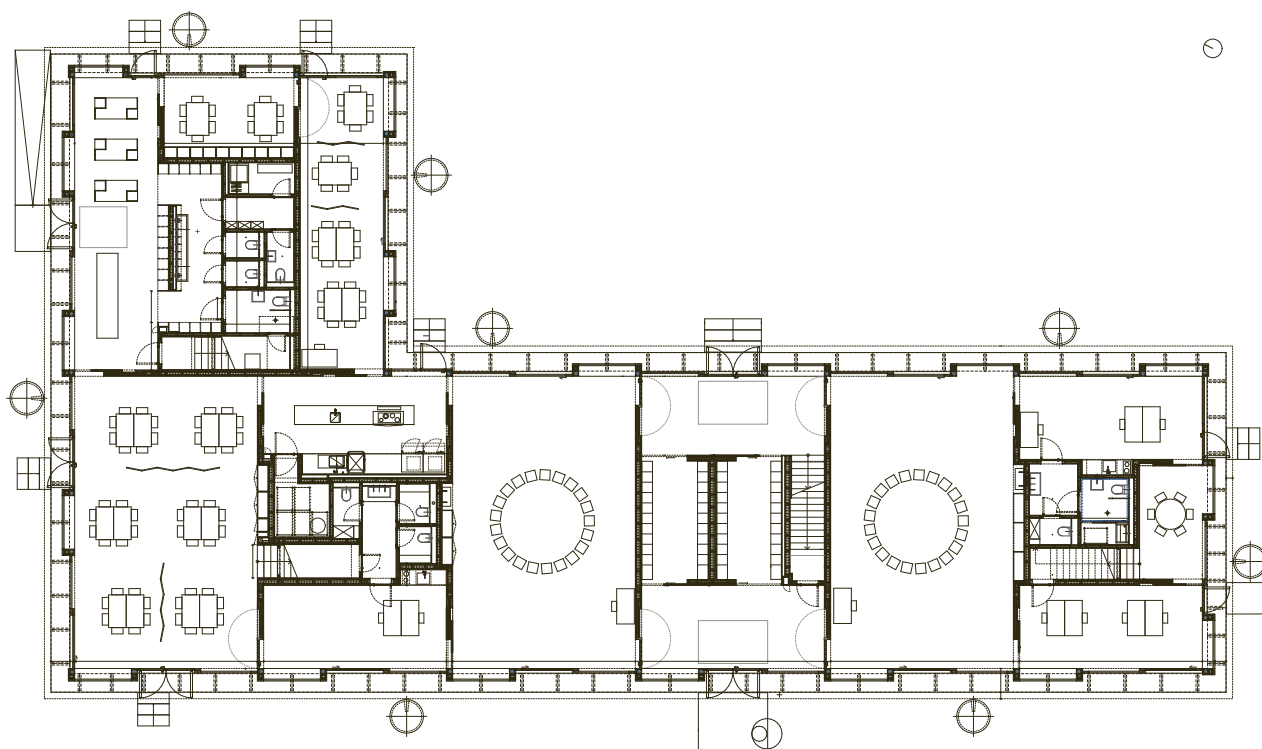




Figure 6.97 : Une couche de Misapor sert de drainage de radon.



Figure 6.98 : Une couche de gravillon placée sous le radier sert de couche d'égalisation.



Figure 6.99 : Mesures de protection contre l'humidité et le radon prises sur le plafond de la cave.



Figure 6.100 : Passage de tuyau bridé étanche au radon.



Figure 6.101 : Passage étanche au radon via le plafond en béton.

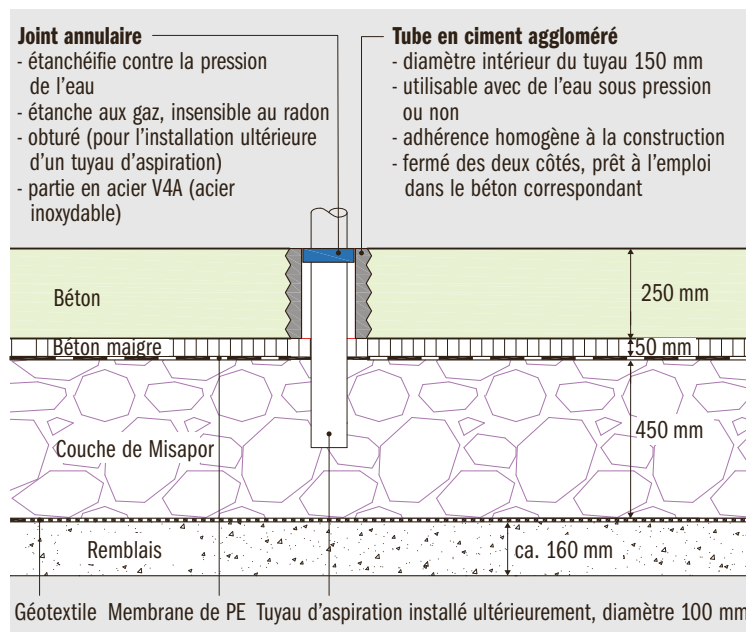


Figure 6.102 : Détail de l'aspiration du radon dans la couche de Misapor.

Chapitre 7

Annexe

Interlocuteurs

Services techniques régionaux

Les services techniques régionaux sont vos interlocuteurs en matière d'assainissements et de mesures préventives. Ils vous aideront à trouver les services de mesure agréés et les consultants reconnus en radon.

■ Suisse alémanique: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau, Muttenz, www.fhnw.ch. Délégué: Franco Fregnan, Suppléant: Falk Dorusch. radon@fhnw.ch, 061 228 55 48

■ Suisse romande: Haute école d'ingénierie et d'architecture, Pérolles 80, CP 32, 1705 Fribourg, www.heia-fr.ch, Déléguée: Joëlle Goyette Pernot, joelle.goyette@hefr.ch, 026 429 66 65

■ Suisse italienne: Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana, Campus Trevano SUPSI, 6952 Canobbio, www.radon.supsi.ch. Délégué: Luca Pampuri, 058 666 62 98, luca.pampuri@supsi.ch. Suppléant: Claudio Valsangiacomo, claudio.valsangiacomo@supsi.ch, 058 666 63 51

Office fédéral de la santé publique (OFSP)

Sur le site Internet www.ch-radon.ch, l'OFSP met à votre disposition des informations sur le radon. Vous y trouverez également un lien vers la carte du radon ainsi qu'une liste des consultants en radon ayant suivi une formation reconnue par l'OFSP et une liste des services de mesure agréés.

Directives légales et normatives

■ Ordonnance du 1^{er} janvier 2018 sur la radioprotection (ORaP), disponible à l'adresse www.admin.ch

■ Norme SIA 180 «Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments», 2014

■ Norme SIA 262/1 «Construction en béton – Spécifications complémentaires», 2013

■ Norme SIA 272 «Étanchéité et drainage des ouvrages enterrés et souterrains», 2009

■ Norme SIA 382/5 2023 «Ventilation des habitations», 2018

■ SN EN 206:2013 (2^e édition) «Béton – Partie 1 : spécifications, performances, fabrication et conformité» (SN EN 206-1). La norme SN EN 206 est une norme de produit qui décrit les critères de classification, les exigences relatives au béton et les moyens de prouver sa conformité. Elle décrit par ailleurs de quelle manière le béton doit être mis en soumission, livré, examiné et comment les critères de conformité doivent être contrôlés.

■ Catalogue des prescriptions Minergie-Eco, disponible à l'adresse www.minergie.ch

Sources

- Mesures de protection contre le radon : Planungshilfe für Neu- und Bestandesbauten. Ministère d'État de l'Environnement et de l'Agriculture (SMUL), État libre de Saxe, 2016
- Radon : Vorsorgemassnahmen bei Neubauten. Éditeur : publication conjointe de services spécialisés sur le radon d'Autriche, de Suisse, d'Allemagne du Sud et du Tyrol du Sud, 2012
- Georgescu, D.P. : Influence of Concrete Characteristics on Radon Transport, Bucarest, 2012
- Hoffmann, B. : Experimentelle und theoretische Untersuchungen über die Emanation und Migration von Radon in Baustoffen und Bauwerksabdichtungen; Dissertation, Saarbruck, 2004
- Keller, G.; Hoffmann, B. : Durchlässigkeit von Baumaterialien, 2002. BMU (éd.) : Forschung zum Problemkreis Radon; Vortragsmanuskripte des 14. Statusgespräches, Berlin, 23 et 24 octobre 2001.
www.radontest.de
- Keller, G. : Die Strahleneinwirkung durch Radon in Wohnhäusern. Bauphysik 15, 1993, Heft 5
- Keller, G., Schütz, M. : Radon-Sanierung in Häusern. Institut für Biophysik, Hombourg