



ANALYSE DES MESURES DE REDUCTION POUR LIMITER L'EXPOSITION AU RADON



SITE D'INTERVENTION

OAP n°10 – Hôtel 4 étoiles – Les Menuires
73 440 LES MENUIRES

Intervenantes :
Delphine AUDRAS
Morgane LEFEBVRE

DATE D'EDITION DU RAPPORT : 24/10/2025
REFERENCE DE L'AFFAIRE : 2506EL7P2000041
REFERENCE DU RAPPORT (CHRONO) : EL7P225813

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale.
Version 1

SOCOTEC Environnement Auvergne Rhône-Alpes – 11 Rue Saint Maximin 69003 LYON – Bureau de Saint-Etienne, 1 rue de la Logistique – Technopôle – 42951 ST ETIENNE cedex 1

SOCOTEC ENVIRONNEMENT - S.A.S au capital de 436 960 euros – 834 096 497 RCS Versailles
Siège social : 5, place des Frères Montgolfier - CS 20732 – Guyancourt - 78182 St-Quentin-en-Yvelines Cedex - FRANCE - www.socotec.fr

SOMMAIRE

1.	CONTEXTE ET OBJECTIFS	3
2.	GENERALITES.....	4
2.1	QU'EST-CE QUE LE RADON ?	4
2.2	REGLEMENTATION	4
3.	CARACTERISATION DU SITE	7
3.1	CLASSEMENT ZONE POTENTIEL DE RADON.....	7
3.2	CONTEXTE GEOLOGIQUE	7
4.	LES POLLUANTS GAZEUX DU SOL DANS LES BATIMENTS.....	10
4.1	PRINCIPES GENERAUX.....	10
4.2	APPLICATION AU PROJET	10
5.	MESURES DE L'ACTIVITE VOLUMIQUE DU RADON.....	18
5.1	PHASE TRAVAUX : MESURES INITIALES DE CONCENTRATION DE RADON.....	18
5.2	PHASE D'EXPLOITATION - MESURES DE SUIVI.....	19
6.	LES METHODES DE PREVENTION DU RISQUE RADON	20
6.1	PRINCIPES GENERAUX	20
6.2	LES ACTIONS PREVENTIVES DANS LES CONSTRUCTIONS NEUVES	23
7.	CONCLUSION – APPLICATION AU PROJET	28

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

La société EIFFAGE porte un projet de construction d'un hôtel 4 étoiles aux Ménuires, sur la commune LES BELLEVILLE (73).

Dans le cadre de l'Etude d'impact menée pour son projet, la société EIFFAGE a donc missionné SOCOTEC ENVIRONNEMENT pour analyser les mesures de réduction visant à limiter l'exposition au radon compte tenu des volumes de terrassements induits par le projet.

Cette étude se basera notamment sur les guides suivants :

- Guide Réseau Breton Bâtiment Durable (RBBD) – Prévention et remédiation du risque radon dans les bâtiments (Mars 2019)
- Guide technique du centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) – Radon et sols pollués : protection des bâtiments (Juin 2021)
- Guide pratique – Prévention du risque radon (édition Juillet 2020)

2. GENERALITES

2.1 QU'EST-CE QUE LE RADON ?

Le radon est un gaz radioactif, inodore, incolore et présent naturellement dans le sol et les roches. Il a pour origine l'uranium contenu dans la croûte terrestre en quantité variable suivant le type de roches. S'il se dilue rapidement dans l'atmosphère libre, il peut se trouver par effet de confinement à des concentrations plus élevées à l'intérieur des bâtiments qu'à l'extérieur.

Il constitue un risque en cas d'exposition à long terme par inhalation avec l'air respiré (agent cancérogène pulmonaire).

Le potentiel radon des formations géologiques en France varie : il est décliné en 3 catégories de potentiel des sols (concentration en radon mesurée en Bq/m³). Sur une zone géographique donnée, plus le potentiel est important, plus la probabilité de présence de radon à des niveaux élevés dans les bâtiments est forte.

2.2 REGLEMENTATION

2.2.1 Zonage radon

Avant 2018, 31 départements étaient identifiés comme présentant des concentrations élevées en radon dans le sol. L'arrêté du 27 juin 2018 a revu cette cartographie pour définir des zones à potentiel radon sur le territoire national en lieu et place de ces 31 départements jugés prioritaires. Réalisé par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), sur la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire, ce zonage permet une prise en compte plus fine (au niveau communal) du risque radon afin de mieux protéger le public.

Le décret n°2018-434 du 4 juin 2018 a introduit de nouvelles obligations dans le domaine de la radioprotection et de la sécurité permettant une meilleure prise en compte de la protection de la population vis-à-vis des rayonnements ionisants et notamment de la gestion du risque radon. Le niveau de référence pour le radon a ainsi été abaissé à 300 Bq/m³.

Cette cartographie est la suivante :

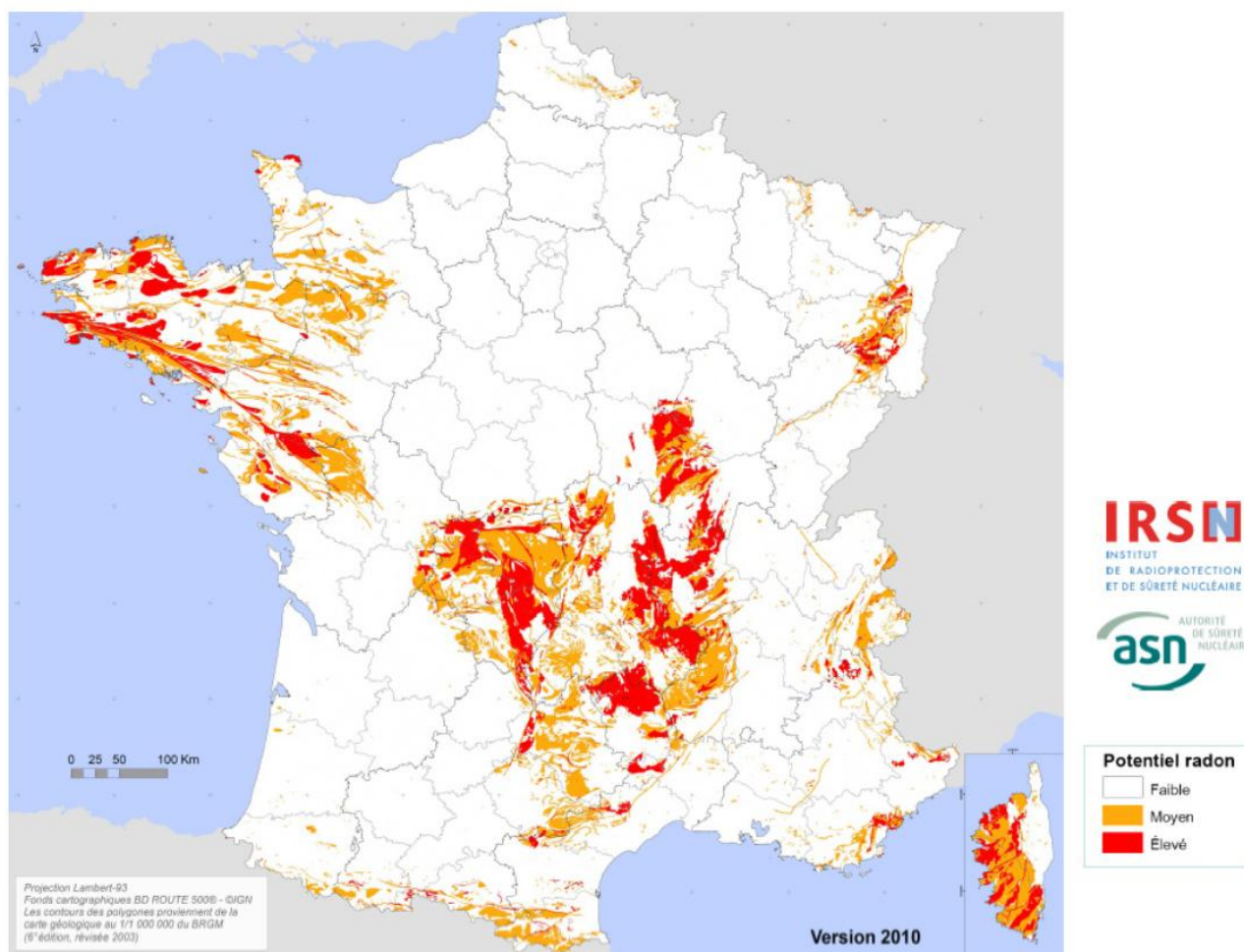


Figure 1 : Carte du potentiel radon des formations géologiques à l'échelle 1:1 000 000, version 2010

FIGURE 1 : CARTE DU POTENTIEL RADON DES FORMATIONS GEOLOGIQUES (SOURCE IRSN)

Sur cette carte, les communes sont classées en trois zones :

- > **zone 1** : zones à potentiel radon faible.
- > **zone 2** : zones à potentiel radon faible mais dans lesquelles des facteurs géologiques particuliers peuvent faciliter le transfert du radon vers les bâtiments.
- > **zone 3** : zones à potentiel radon significatif. Dans les 7 000 communes concernées, qui couvrent 12,2 millions d'habitants, plus de 40 % des bâtiments dépassent 100 Bq/m³, et plus de 10 % dépassent 300 Bq/m³.

2.2.2 Réglementation pour les établissements recevant du public (code de santé publique)

Une réglementation a été mise en place dès 2004 dans les départements les plus concernés par le risque radon. Ainsi, pour ces 31 départements jugés prioritaires, le code de la santé publique impose

que certaines catégories d'établissements recevant du public effectuent des mesures de radon tous les dix ans et lors de travaux modifiant la ventilation ou l'étanchéité du bâtiment.

Les catégories d'ERP concernées par cette réglementation sont les suivantes :

- > les établissements d'enseignement, y compris les bâtiments d'internat,
- > les établissements d'accueil collectif d'enfants de moins de 6 ans ,
- > certains établissements sanitaires, sociaux et médico-sociaux avec capacité d'hébergement (cf. détails à l'article D. 1333-32 du code de la santé publique),
- > les établissements thermaux,
- > les établissements pénitentiaires.

Le mesurage de l'activité volumique en radon est réalisé par les organismes désignés en application de l'article R.1333-36. Il est renouvelé tous les dix ans et après que sont réalisés des travaux modifiant significativement la ventilation ou l'étanchéité du bâtiment.

Le délai de dix ans court à partir de la date de réception par le propriétaire ou, le cas échéant, par l'exploitant des résultats des derniers mesurages de l'activité volumique en radon effectués dans l'établissement.

Dès lors que les résultats du mesurage de l'activité volumique en radon réalisé lors de deux campagnes de mesurage successives sont tous inférieurs à 100 Bq/ m³, le propriétaire ou, le cas échéant, l'exploitant n'est plus soumis à l'obligation de faire procéder à un mesurage décennal jusqu'à la réalisation de travaux modifiant significativement la ventilation ou l'étanchéité du bâtiment.

Si le niveau de radon est supérieur au niveau de référence de 300 Bq/m³, le propriétaire ou l'exploitant d'un établissement recevant du public a l'obligation d'entreprendre des actions correctives ou des travaux et d'en vérifier l'efficacité afin d'abaisser le niveau en dessous du niveau de référence.

2.2.3 Réglementation pour les lieux de travail (code du travail)

Les employeurs doivent évaluer le risque radon dans le cadre de la démarche de prévention des risques professionnels pour les lieux de travail en sous-sol et rez-de-chaussée des bâtiments et dans des lieux de travail spécifiques principalement en milieu souterrain (cavités, tunnels, ouvrages...).

Les employeurs ne doivent pas exposer leurs travailleurs à un niveau de radon dépassant le niveau de référence de 300 Bq/m³. Ils doivent donc réduire le niveau d'exposition en dessous du niveau de référence. En cas d'impossibilité, les employeurs doivent appliquer le dispositif renforcé pour la radioprotection afin de protéger et de surveiller leurs travailleurs susceptibles de dépasser 6 mSv/an.

2.2.4 Les obligations du maitre d'ouvrage

Selon ***l'article 1792 du Code civil***, le constructeur est réputé responsable de son ouvrage, concernant la santé et la sécurité des occupants en phase normale d'utilisation. Dès la phase de conception, il doit:

- > s'assurer de l'absence de pollution du sol;
- > assumer le choix des modes constructifs, des matériaux posés, et des équipements de ventilation;
- > anticiper les réglementations futures (RE 2020) ou les règles de l'art à venir, en particulier sur certains ouvrages sensibles ou dans les établissements recevant du public comme les écoles.

L'article L151-1 du Code de la Construction et de l'Habitation rappelle que les bâtiments sont conçus, ..., de manière à ne pas porter atteinte à la santé des personnes qui y sont présentes dans des conditions normales d'occupation et d'usage de ces bâtiments,..., compte tenu de l'environnement dans lequel ils se situent.

3. CARACTERISATION DU SITE

3.1 CLASSEMENT ZONE POTENTIEL DE RADON

Ce projet se trouve en zone de potentiel radon de catégorie 3.

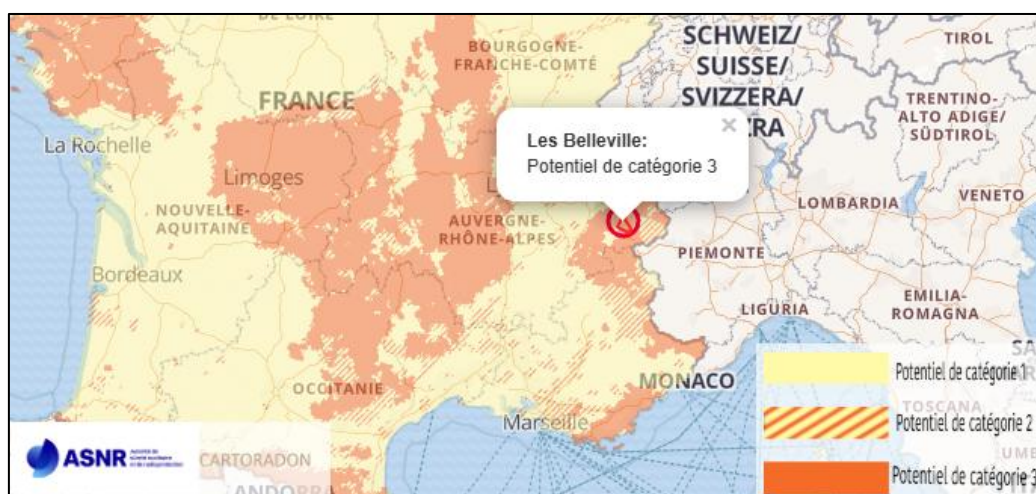


FIGURE 2 : SOURCE SITE IRSN - CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL RADON – COMMUNE LES BELLEVILLE

i Dans le cas du projet EIFFAGE, le site est en zone de potentiel radon de catégorie 3. Il s'agit donc d'une zone à potentiel radon significatif, dont font partie les communes situées sur des formations géologiques dont on sait que les teneurs en uranium sont plus élevées qu'ailleurs (sources de massifs granitiques ou volcaniques, grès et schistes noirs). Il est alors vivement recommandé de procéder à un mesurage du radon.

3.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE

3.2.1 Extrait de carte géologique

D'après une étude géotechnique de conception (Phase Avant-Projet) présentant notamment la carte géologique de MODANE n°775 (BRGM), le terrain du projet EIFFAGE se situe dans un contexte de formations glaciaires indifférenciées et d'éboulis de versant, surmontant le substratum gréseux et schisteux noir à veines de charbon.

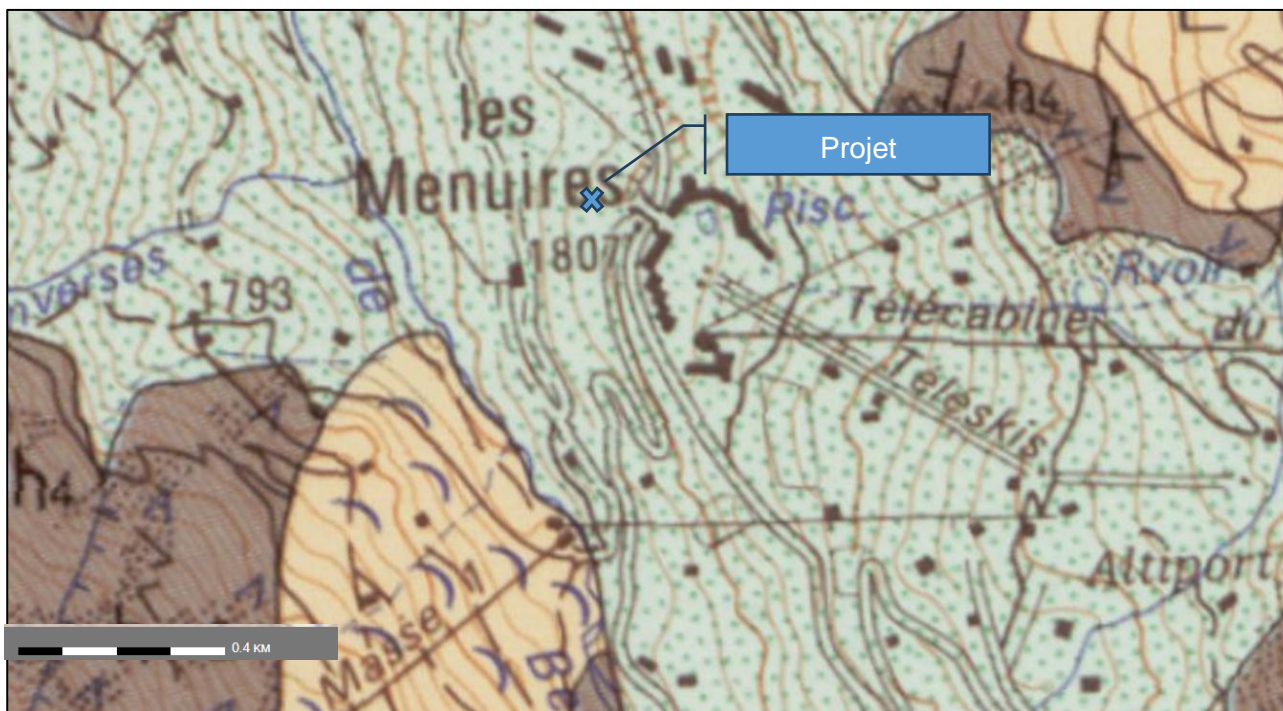


FIGURE 3 : EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE

3.2.2 Sondages terrain

Des sondages à partir d'échantillons prélevés via des carottages ont été réalisés jusqu'à 25 m de profondeur. La lithologie des formations en place, relativement hétérogène, peut être décrite comme suit, du haut vers le bas :

- De 5 à 11 m : remblais limoneux \pm gravo-sableux (remblais remaniés dans le cadre des travaux d'aménagement de la station existante) ;
- De 12 à 16 m : limons graveleux \pm sableux ou argileux (sols moyennement compacts et plus denses que la formation sus-jacente) ;
- De 18 à 25 m : limons argilo-schisteux \pm graveleux (sols argileux et compacts).

Des coupes géologiques ont été établies sur la base des sondages réalisés, en voici un exemple :

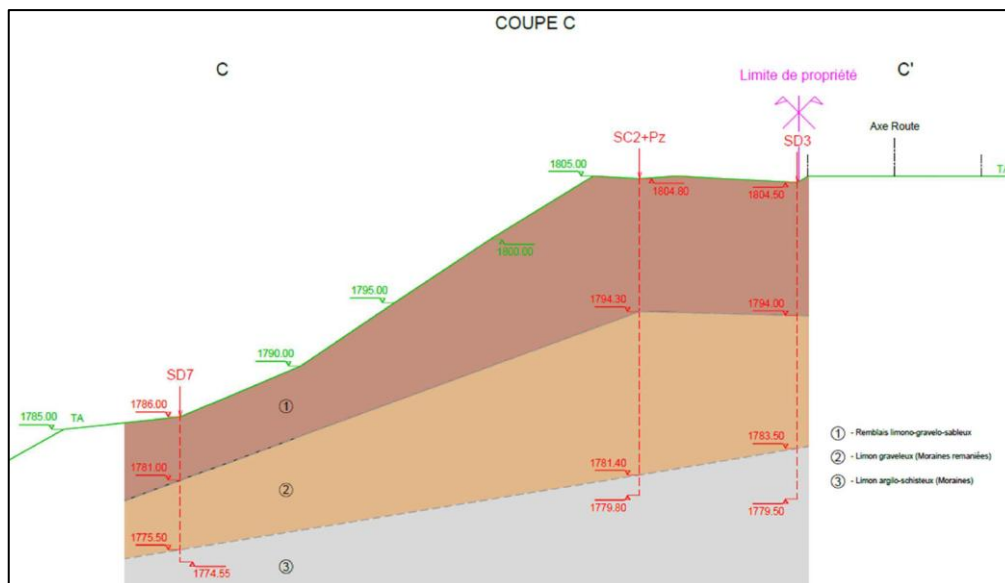


FIGURE 4 : EXTRAIT ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION : « COUPES GEOLOGIQUES SCHEMATIQUES SUR LA BASE DES SONDAGES REALISES »

Les remblais remaniés présentent généralement une perméabilité importante, créant des voies de migration préférentielles pour le gaz radon depuis le sous-sol vers la surface. Le caractère hétérogène de ces remblais (\pm gravelo-sableux) augmente le risque de circulation de gaz à travers ces formations.

La couche intermédiaire en limons graveleux, bien que plus compacte, contient des composantes sableuses qui maintiennent une certaine perméabilité aux gaz. L'alternance de textures (sableuses ou argileuses) peut créer des interfaces favorables à l'accumulation et au déplacement latéral du radon.

La présence de matériaux schisteux dans la dernière couche est particulièrement préoccupante concernant le risque radon. Les schistes peuvent contenir des minéraux uranifères, source potentielle de radon. Bien que cette couche soit compacte, les schistes peuvent présenter des plans de foliation qui favorisent la migration du gaz.

i La combinaison d'une zone classée à potentiel radon niveau 3 et d'une lithologie présentant des matériaux potentiellement uranifères (schistes) ainsi que des formations perméables en surface (remblais) crée des conditions favorables à la migration et à l'accumulation du radon dans les futurs bâtiments. Les remblais remaniés en surface constituent une voie d'entrée privilégiée pour le gaz radon, tandis que la présence de matériaux schisteux en profondeur peut représenter une source d'émission de ce gaz radioactif.

Des mesures de radon seront donc nécessaires pour quantifier précisément le risque et dimensionner correctement les dispositifs de réduction à mettre en œuvre dans le cadre du projet de résidence de tourisme.

4. LES POLLUANTS GAZEUX DU SOL DANS LES BATIMENTS

4.1 PRINCIPES GENERAUX

Les caractéristiques propres d'un bâtiment influencent le transfert des polluants gazeux du sol vers les volumes occupés de ce bâtiment : configuration, procédé de construction, perméabilité à l'air de la surface en contact avec le sol, système de ventilation.

Il existe deux phénomènes physiques expliquant l'entrée des polluants gazeux du sol dans un bâtiment : la convection et la diffusion. En premier lieu, ces polluants entrent par tous les défauts d'étanchéité à l'air de l'enveloppe en contact avec le sol (fissures, trous, réseaux...), par transport convectif de l'air contenu dans la porosité du sol et chargé en polluants gazeux. Ils entrent également par transport diffusif à travers les matériaux. Le bâtiment, lieu relativement confiné et dont l'étanchéité avec le sol est plus ou moins bonne, peut ainsi concentrer les polluants gazeux du sol dans son environnement intérieur.

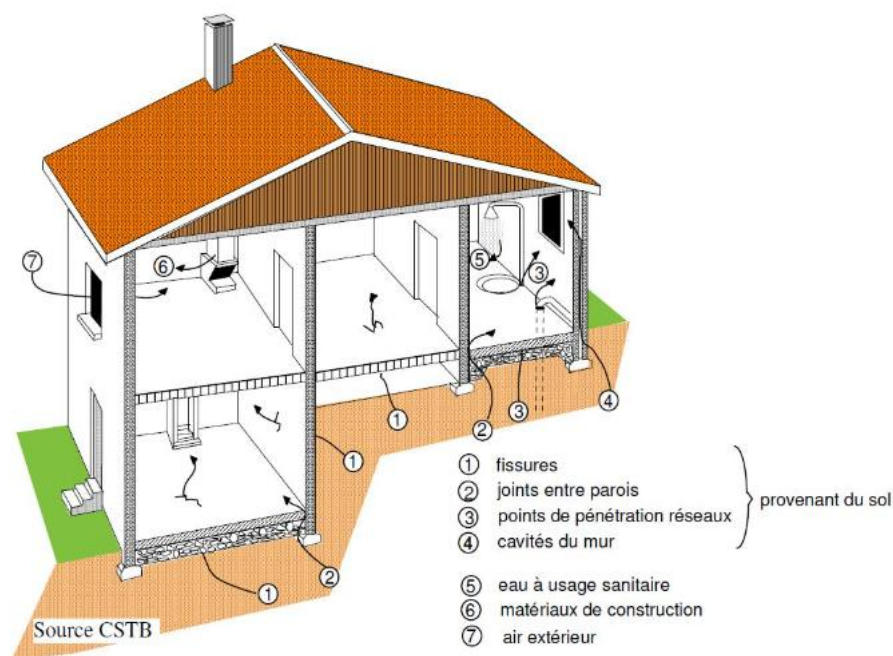




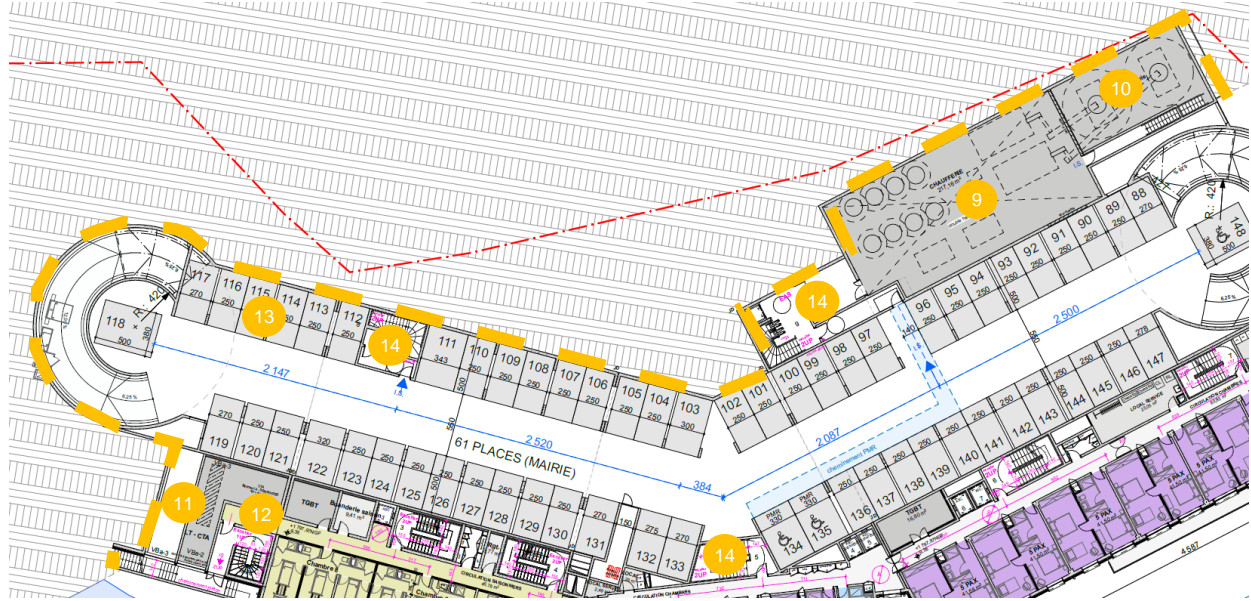

FIGURE 5 : VOIES D'ENTREE DU RADON DANS UN BATIMENT (SOURCE CSTB)

Les terrains très perméables, tels que le gravier ou le sable sont propices à l'entrée de radon dans le bâtiment. A l'inverse, en l'absence de faille, les terrains peu perméables, comme les argiles, réduisent le risque d'entrée du radon.

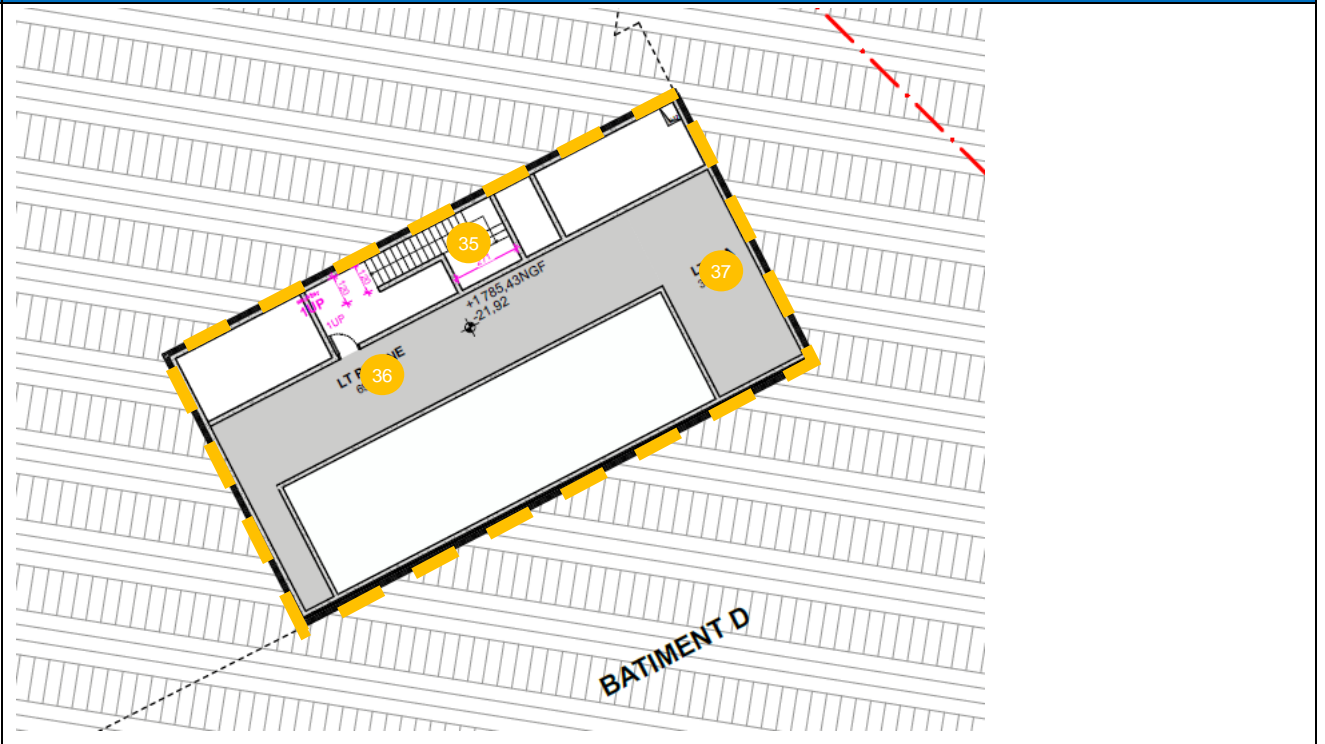
4.2 APPLICATION AU PROJET

Au vue de la topographie du site et du projet d'aménagement, une partie du bâtiment sera semi-enterré. Les coupes ci-après présentent l'aménagement du site :

Niveau	Locaux en contact avec le sol ou semi enterrés
	
R-2	<p>7 -Cage d'escalier / 8 -parking enterré n°44 à 58 / 9 -Local chaufferie / 10 -Loca silo</p> 
R-3	<p>11-Ventilation parking / 12-Local CTA / 13-parking n°68 à 147 / 14-cage d'escalier / 9-Local chaufferie / 10-Local silo</p>

Niveau	Locaux en contact avec le sol ou semi enterrés
	
R-4	<p>15 – escalier / 16 – chambre saisonnier n°11 / 17 – locaux techniques / 18 – buanderie / 19 – local service / 20 – Local / 21 – chambre hôtel</p> 
R-5	<p>22 – Local ski / 23 – Shop / 24 -Escalier / 25 – Locaux techniques / 26 – local service / 27 – Local / 28 – chambre d'hôtel</p>

Niveau	Locaux en contact avec le sol ou semi enterrés
R-6	<p>28 – Locaux techniques / 29 – Fitness / 30 – stockage mobilier / 31 - escaliers / 32 – spa piscine soins / 33 Stock piscine / 34 - vestiaires</p>
R-7	<p>35 -Cage d'escalier / 36 -Local technique piscine / 37 -CTA</p>

Niveau	Locaux en contact avec le sol ou semi enterrés
	

5. MESURES DE L'ACTIVITE VOLUMIQUE DU RADON

5.1 PHASE TRAVAUX : MESURES INITIALES DE CONCENTRATION DE RADON

5.1.1 Principes généraux

Pour que le radon ne soit pas considéré comme un risque d'exposition professionnel, l'article R. 4451-10 du code du travail fixe un niveau de référence (NR) pour le radon à 300 Bq/m³ en activité volumique moyenne annuelle. Ce niveau de référence est un niveau de gestion harmonisé en France pour toute situation d'exposition (habitat, lieu de travail, ERP). Le niveau de référence n'est pas d'un « seuil », en dessous duquel il n'y aurait pas d'effet sanitaire, mais une concentration au-dessus de laquelle on considère que les personnes ne devraient pas être exposées, et qui permet d'identifier les situations sur lesquelles il est nécessaire d'intervenir afin de réduire l'exposition des personnes.

La mesure a pour objectif d'estimer la concentration moyenne annuelle de radon susceptible d'être inhalée par les occupants

Dans le cadre d'un programme de construction, il est possible de réaliser des mesures de concentration en radon dans les sols. Les résultats de ces mesures permettent d'orienter les choix de conception.

Les concentrations en radon dépendent à la fois de la présence de radium dans les roches, de la perméabilité à l'air des sols ou encore de la présence d'une nappe souterraine. Les conditions météorologiques telles que la température peuvent également entraîner des variations saisonnières et journalières des concentrations de radon dans l'air présent dans le sol (Chené et al., 1989). En effet, selon l'IRSN, « l'activité volumique du radon peut varier d'un facteur 10 à 100 selon la période de l'année et l'heure de la journée ». Sur une même parcelle, on peut aussi trouver des concentrations en radon différentes. De plus, les travaux d'aménagement (terrassament, déblaiement, excavation, etc.) qui seront effectués ultérieurement peuvent modifier les concentrations de radon et ses conditions de transfert.

5.1.2 Application au projet

Le projet de construction de l'Hôtel prévoit des opérations de terrassament conséquentes ; au vu des éléments précédents, la réalisation de mesure de radon dans les sols sur les terrains actuels du site ne seraient pas représentatives des valeurs potentielles de radon en contact avec le bâtiment après construction.

Aussi, le maître d'ouvrage réalisera une campagne de mesurage de Radon dans les sols après les travaux de terrassament du projet ; en fonction des résultats, le dimensionnement des mesures de prévention pourra être réajusté.

5.2 PHASE D'EXPLOITATION - MESURES DE SUIVI

Le dispositif de suivi doit permettre de s'assurer de l'atteinte des objectifs des mesures ERC.

5.2.1 Modalités d'entretien des équipements

Lorsque des techniques spécifiques de protection sont installées dans un bâtiment, il est recommandé d'en assurer régulièrement un contrôle d'efficacité et un entretien le cas échéant.

Ainsi, l'exploitant réalisera des contrôles périodiques annuelle de ses installations de ventilation et d'aération des locaux.

5.2.2 Mesures des concentrations de radon

Le projet Eiffage est un complexe hôtelier ; il n'est pas concerné par la catégorie d'ERP soumis à la surveillance de l'exposition au radon.

Néanmoins, l'exploitant réalisera des mesures de radon de manière volontaire afin de vérifier l'efficacité des dispositifs mis en œuvre sur le bâtiment et leur efficacité dans le temps.

Le niveau d'activité volumique du radon sera mesuré entre le 15 septembre et le 30 avril de l'année suivante pour être en période de chauffe du bâtiment.

Cette mesure sera ensuite réalisée de manière décennale.

6. LES METHODES DE PREVENTION DU RISQUE RADON

6.1 PRINCIPES GENERAUX

6.1.1 Application de la sequence E.R.C

Les impacts d'un projet, d'un plan ou d'un programme sur l'environnement peuvent se traduire par une dégradation de la qualité environnementale. La séquence « éviter, réduire, compenser » (ERC) a pour objectif d'éviter les atteintes à l'environnement, de réduire celles qui n'ont pu être suffisamment évitées et, si possible, de compenser les effets notables qui n'ont pu être ni évités, ni suffisamment réduits.

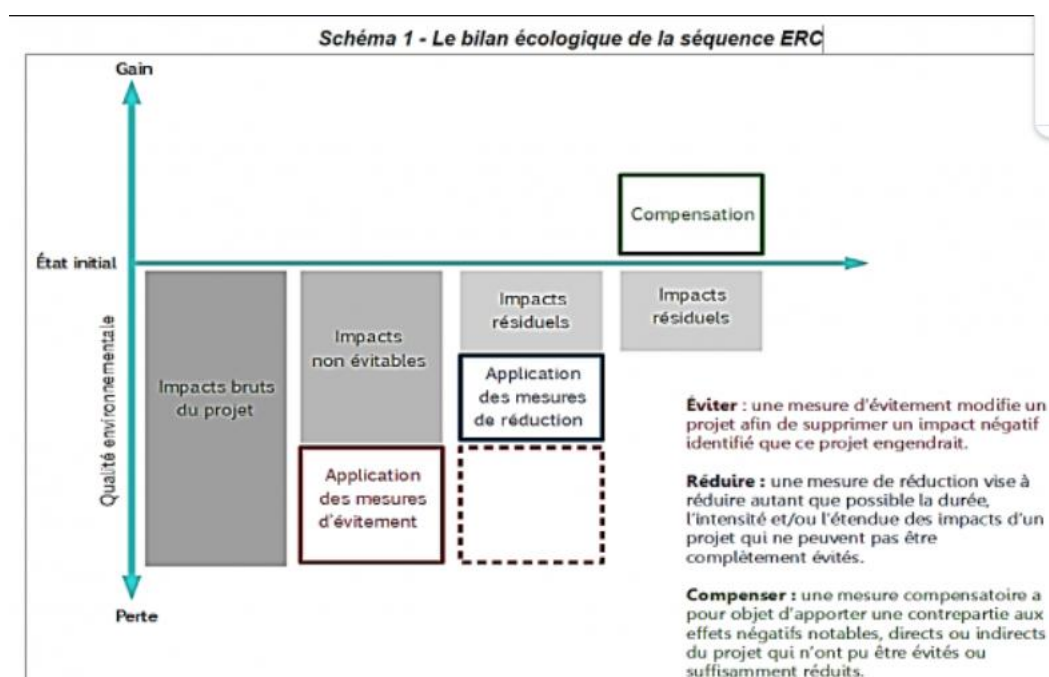


FIGURE 7 : BILAN ECOLOGIQUE DE LA SEQUENCE ERC

Dans le cadre du projet d'Eiffage construction, les mesures de prévention vis-à-vis de l'exposition au risque radon sont apparentées à des mesures de réduction.

6.1.2 Définition des mesures de prévention

Les mesures de prévention vis-à-vis du radon sont des mesures de réduction qui constituent l'ensemble des dispositifs techniques et des actions préventives permettant de limiter l'exposition des occupants au radon dans les bâtiments. Contrairement à d'autres risques environnementaux, le risque lié au radon ne peut être complètement évité ou compensé, mais peut être réduit par des actions appropriées.

Ces mesures de réduction sont des actions préventives décrites dans des guides techniques de référence, élaborés par des organismes spécialisés. Elles font partie intégrante de la stratégie nationale de gestion du risque radon et s'imposent particulièrement dans les zones à potentiel radon de niveau 3, où le risque d'accumulation est significativement plus élevé en raison des caractéristiques géologiques du sous-sol.

6.1.3 Classification des méthodes existantes

Le diagramme ci-après est un outil d'aide à la décision qui permet de sélectionner des mesures de prévention adaptées à chaque nouveau projet.

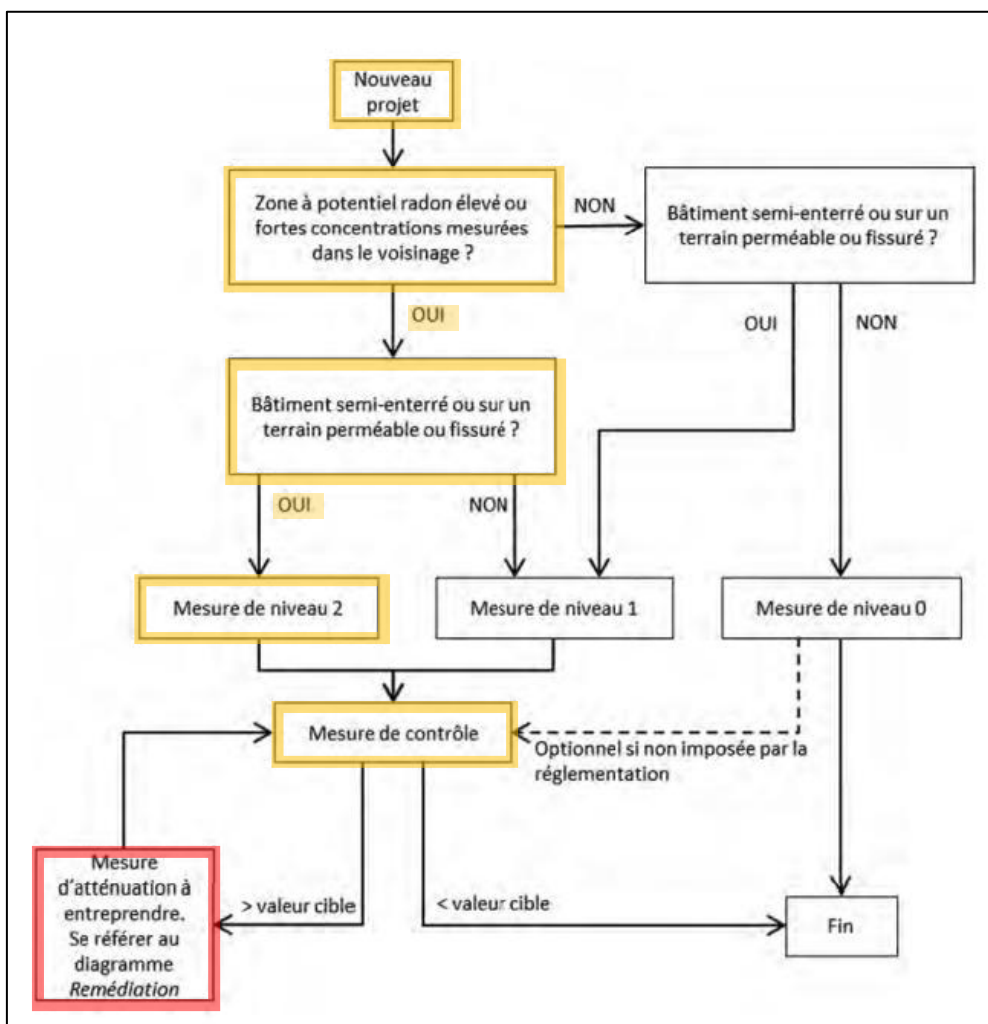


FIGURE 8 : EXTRAIT RBBD – PREVENTION EN REMEDIATION DU RISQUE RADON DANS LES BATIMENTS :
« DIAGRAMME D’AIDE A LA DECISION EN CONSTRUCTION NEUVE © RESEAU BRETON BATIMENT DURABLE »

Applicabilité au projet : Le cas du projet EIFFAGE est précisé par le cheminement en couleurs. Dans le cas où les résultats des mesures de contrôle seraient supérieures à la valeur cible, des mesures d’atténuation sont à entreprendre. Dans une approche conservatoire, des mesures de prévention seront appliquées dès la conception du projet afin de limiter l’exposition au risque radon.

La classification des différentes méthodes existantes est présentée ci-dessous. Le niveau 0 correspond aux bonnes pratiques qui devraient être mises en œuvre dans toutes les constructions neuves, qu’il y ait ou non présence de radon. Les niveaux 1 et 2 répondent à des situations où le risque d’exposition au radon est élevé ou très élevé.

	Conception	Travaux d'étanchéité	Travaux de ventilation
Niveau 0		<p>Etanchéité à l'air du bâtiment, y compris des parties enterrées</p> <p>Etanchéité à l'air des échangeurs géothermiques</p> <p>Etanchéité à l'air des passages de réseaux</p>	Système de VMC installé en respectant les règles de l'art
Niveau 1	<p>Proscription des passages ouverts entre le sous-sol et le RDC, et entre le sous-sol et la cage d'escalier</p> <p>Construction sur vide-sanitaire</p> <p>Conception des cheminées, gaines techniques, cages d'ascenseur et d'escalier de manière à ce qu'ils ne créent pas de dépression</p>	Pose d'une membrane d'étanchéité à l'air sous le radier	Ventilation de l'interface sol/bâti, avec possibilité de mécaniser l'aspiration si besoin
Niveau 2	<p>Agencement des pièces favorisant les chambres à coucher à l'étage</p> <p>Accès au sous-sol par l'extérieur uniquement</p>		Mise en dépression du sol à l'aide d'un puisard

FIGURE 9 : EXTRAIT RBBD – PREVENTION EN REMEDIATION DU RISQUE RADON DANS LES BATIMENTS :
« CLASSIFICATION DES METHODES DE PREVENTION DU RISQUE RADON © RESEAU BRETON BATIMENT DURABLE »

6.2 LES ACTIONS PREVENTIVES DANS LES CONSTRUCTIONS NEUVES

6.2.1 Solutions génériques existantes

Les solutions à mettre en œuvre pour la protection des bâtiments font appel aux deux principes suivants :

- Limiter l'entrée des polluants gazeux du sol (amélioration de l'étanchéité) ;
- Diluer la concentration de ces polluants dans le bâtiment (amélioration du taux de renouvellement d'air des locaux).

Les actions sur l'étanchéité et la ventilation sont complémentaires. Il est recommandé de combiner ces deux types d'actions afin d'augmenter l'efficacité de la réduction du niveau de radon et permettre de réduire les coûts au long terme que ces actions correctives peuvent engendrer.

Les types de solution peuvent se regrouper en catégories de techniques :

- Etanchéité de l'interface entre le sol et le bâtiment,
- Ventilation du bâtiment,
- Traitement des soubassements par ventilation ou Système de Dépressurisation des Sols (SDS).

L'objectif est d'intégrer la problématique du radon le plus en amont possible dans le projet.

Les lieux concernés par l'évaluation du risque radon peuvent être les sous-sols, les rez-de-chaussée des bâtiments, les lieux de travail spécifiques comme des cavités souterraines ou des ouvrages enterrés. Il peut aussi être recommandé de procéder à une évaluation du risque radon dans d'autres situations, comme au premier étage d'un bâtiment dans lequel il a été mesuré un dépassement du niveau de référence (300 Bq/m³) au rez-de-chaussée.

Des solutions préventives contre le risque radon peuvent être intégrées dès la conception du bâtiment :

- La ventilation doit être correctement conçue et mise en œuvre selon la réglementation en vigueur afin d'assurer un bon renouvellement d'air ;
- La surface du bâtiment en contact avec sol doit être aussi réduite que possible ;
- Les points de traversée des réseaux fluides dans le dallage doivent aussi être limités.

Les principales actions préventives consistent à réaliser des soubassements de bâtiment minimisant les transferts gazeux du sol vers les espaces occupés du bâtiment. La conception du bâtiment doit pouvoir intégrer la possibilité de mettre en place dans les soubassements des techniques de ventilation active ou SDS. Pour cela, il est préconisé de concevoir et réaliser un soubassement étanche vis-à-vis de remontées gazeuses du sol.

Ces différentes solutions sont présentées ci-après.

6.2.2 Adaptations possibles du projet de construction

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

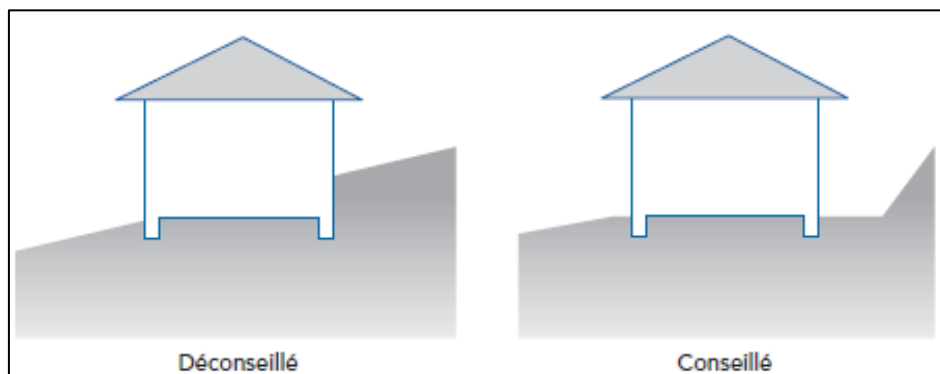


Figure 5 : Extrait du Guide technique du centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) : « Minimisation de l'interface entre le sol et le bâtiment »

Il est recommandé de limiter toute traversée de plancher bas (notamment passage de réseaux de fluides – VRD, plomberie, gaines électriques, conduites de gaz, chauffage, eau) et de les regrouper dans la mesure du possible.

De même, il est recommandé que les passages de ces conduites à travers l'enveloppe soient réalisés au niveau du mur, et non du dallage.

Le Guide technique du centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) présente également les recommandations suivantes :

- En présence d'appareils de combustion, préférer des systèmes étanches ou les concevoir et les positionner de façon à ne pas accentuer le tirage thermique des volumes occupés.
- Eviter la conception de cages d'escalier allant du sous-sol vers le volume habité : favoriser un accès au sous-sol par l'extérieur. Dans le cas contraire, la porte d'accès au sous-sol doit être étanche à l'air.
- Limiter les flux d'air entre les niveaux inférieurs et les étages pour éviter une mise en dépression du bâtiment par effet cheminée (mouvement d'air chaud ascendant créant une dépression dans la partie inférieure du bâtiment).
- Les échangeurs géothermiques air/sol (puits canadiens) doivent aussi être réalisés avec des matériaux étanches à l'air.

6.2.3 Ventilation des locaux

6.2.3.1 Ventilation de vide sanitaire ou de sous-sol

L'objectif de la ventilation est de permettre d'assurer un renouvellement d'air conforme aux volumes et aux règles définies par la réglementation. Il convient qu'elle soit dimensionnée de façon optimale

sans engendrer de déséquilibre entre l'extraction et l'air de compensation. Le Guide technique du centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) présente également les recommandations suivantes :

- Prévoir une ventilation des espaces tels que les vide sanitaire ou les sous-sols plutôt qu'une mise en dépression. Pour le dimensionnement, « un vide sanitaire est considéré comme ventilé si la section totale libre des ouvertures, exprimée en cm^2 est au moins égale à 5 fois la surface au sol du vide sanitaire exprimée en m^2 ».
- Assurer un bon balayage du vide sanitaire ou du sous-sol en optimisant le positionnement des différentes ouvertures et en tenant compte du cloisonnement éventuel : éviter la présence de zones mortes.
- Si la ventilation naturelle s'avère insuffisante, envisager une ventilation par extraction mécanique (débit d'air extrais de l'ordre de $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ de sol). Fermer les ouvertures proches du point d'extraction mécanique pour assurer un bon balayage.

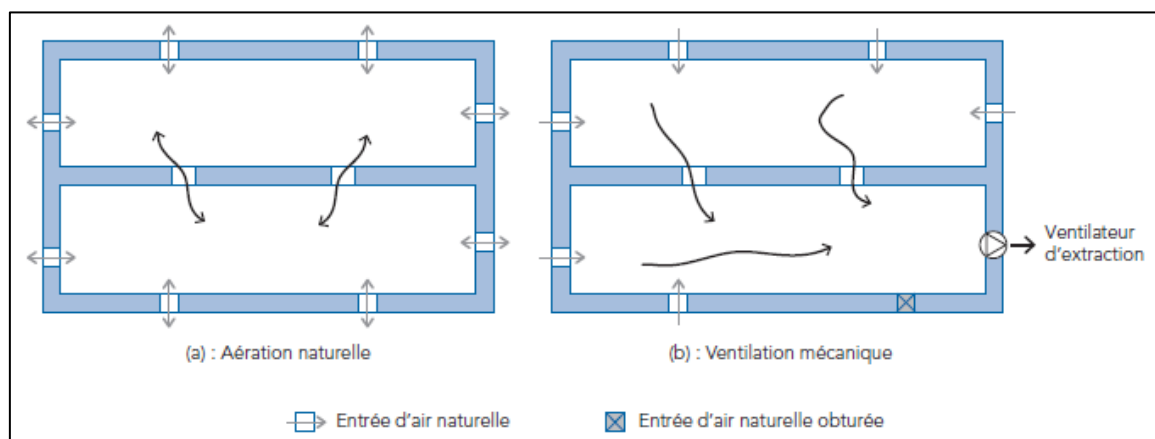


Figure 6 : Extrait du Guide technique du centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) : « Exemple de principe de mise en place d'une ventilation par balayage dans un vide sanitaire ou sous-sol existant (principe de balayage) »

6.2.3.2 Ventilation des locaux

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

L'objectif étant d'augmenter le renouvellement d'air de la zone occupée dans le but de diluer et d'extraire les polluants de l'air intérieur dont le radon.

Cette technique passe par l'installation d'un système de ventilation mécanique conformément aux règles de l'art, et répondant a minima aux exigences de la réglementation en vigueur en termes de débits d'air. L'équilibre entre le débit d'air entrant et celui d'air extrait est nécessaire pour ne pas mettre le bâtiment en dépression, ce qui favoriserait l'« aspiration » du radon. Régler les débits d'air pour obtenir une légère surpression dans les locaux serait même idéal pour prévenir la pénétration de radon. Les systèmes de ventilation doivent être entretenus pour garantir leur bon fonctionnement.

6.2.4 Etanchéité à l'air des soubassements

Les procédés d'étanchéité au radon doivent répondre à deux objectifs : bloquer les flux convectifs et diffusifs du radon, circulant du sol vers l'intérieur du bâtiment. Pour cela, deux produits peuvent être utilisés : des membranes et des revêtements à base de produits liquides.

Au-delà des caractéristiques mécaniques générales aux membranes, la spécificité des produits d'étanchéité à utiliser est relative à leur résistance vis-à-vis du transfert diffusif d'un polluant gazeux considéré.

Les membranes ne sont pas obligatoires. Elles sont néanmoins recommandées, notamment lorsque la nature du plancher est réputée peu étanche à l'air. La mise en œuvre d'une isolation thermique continue sous dallage est compatible avec la mise en œuvre des membranes d'étanchéité. Ces dernières sont alors placées sur la couche isolante. En cas de présence de membranes, ces dernières doivent être les plus résistantes possibles à la diffusion des gaz du sol. La mise en œuvre doit être parfaitement étanche. Pour cela, un soin particulier doit être porté à l'étanchéité à l'air de l'ancrage des membranes aux fondations périphériques et aux poteaux en béton armé ainsi qu'à l'étanchéité du recouvrement entre liés.

Au-delà des membranes, il est possible d'envisager des traitements avec des produits d'étanchéité du type époxy ou polyuréthane, utilisés côté intérieur, en application en tant que revêtement de sol des dalles.

Sur les parois verticales des soubassements en béton et maçonnerie, la mise en œuvre des procédés d'étanchéité actuels en feuilles bitumineuses et des nappes de protection permet de traiter de façon étanche et continue le risque d'infiltrations d'eau, notamment par les fissures et par les traversées.

En présence de murs de fondation creux ou de murs enterrés creux, il est recommandé d'associer un traitement spécifique de ces éléments afin d'éviter le transfert des polluants gazeux du sol par ces éléments vers les volumes intérieurs du bâtiment.

Des exemples de mise en œuvre :

- Réaliser un dallage indépendant sur terre-plein : ancrer la membrane à la fondation ;
- Réaliser une dalle portée : l'étanchéité peut être positionnée sous la dalle ou intercalée entre la dalle et la chape ;
- Associer une étanchéité sous la structure d'un radier ;
- Dalle sur vide sanitaire : l'étanchéité peut être intercalée entre la dalle et la chape ;
- Traitement des murs enterrés : ajouter une membrane d'étanchéité sur l'extérieur du mur de fondation ;
- Traitement des caves et sous-sols : traiter d'une part les éléments constructifs en contact avec le sol (dallages, murs enterrés), mais également le plancher intermédiaire entre ce volume et le rez-de-chaussée occupé du bâtiment. Une aération naturelle du sous-sol doit être prévue et il est préférable de prévoir l'accès au sous-sol par l'extérieur. Dans le cas contraire, cet accès est réalisé de façon étanche à l'air.

6.2.5 Système de Dépressurisation du Sol (SDS)

Considéré très efficace, le SDS permet d'inverser le sens d'écoulement de l'air entre le bâtiment et le sol. L'air du sous-bassement est extrait vers l'environnement extérieur via un conduit d'extraction étanche reliant la sous-face du plancher bas à l'extérieur du bâtiment, lieu de rejet des gaz du sol.

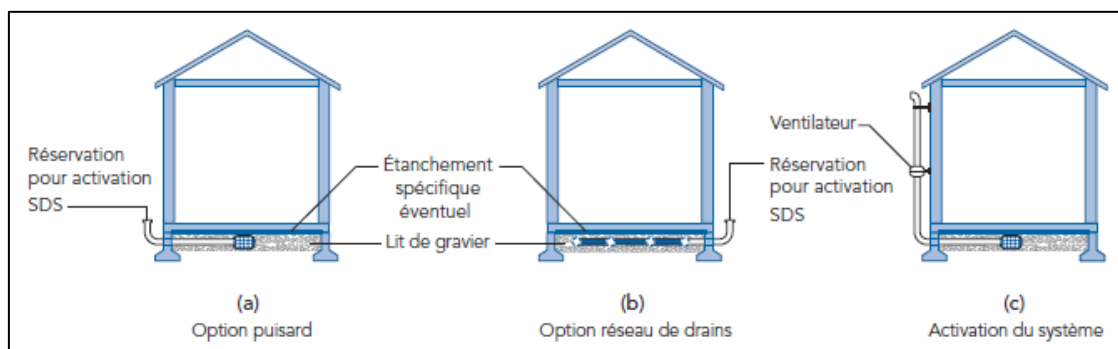


Figure 7 : Extrait du Guide technique du centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) : « Principe d'intégration du Système de Dépressurisation des Sols (SDS) dans le sous-bassement »

L'utilisation d'un puisard permet la mise en dépression d'une surface de 250 m². Le réseau de drain permet quant à lui une dépression plus homogène du lit de gravier et permet d'éviter les remontées de radon.

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

7. CONCLUSION – APPLICATION AU PROJET

Dans le cadre du projet de construction du complexe hôtelier, les locaux les plus exposés au potentiel risque radon ont été identifiés au chapitre 4.2 et sont principalement des locaux techniques, des parkings souterrain, des cages d'escalier, 3 chambres, l'espace bien-être. Ces locaux accueillent à la fois du public et des zones de travail.

Afin d'intégrer le potentiel risque radon dans son projet, le maître d'ouvrage prévoit d'intégrer dès la phase conception et **à titre conservatoire la mesure de surventilation des locaux.**

Dès la fin des terrassements, une campagne de mesure de radon dans les sols sera réalisée afin de quantifier l'activité volumique du radon :

- > En cas de résultats d'analyses défavorables, le maître d'ouvrage ajustera ses principes constructifs en **ajoutant une membrane d'étanchéité sous radier (cf principe au 6.2.4)**
- > En cas de résultats d'analyse favorable, seule sera maintenue la surventilation des locaux.