

La mesure du radon et les actions de remédiation

Journée technique QAI – Espaly-Saint-Marcel (43)

Jocelyne PONTHEUX – Cerema Centre Est

02/12/2025

Les enjeux sanitaires

LE RADON : DÉFINITION ET ENJEUX



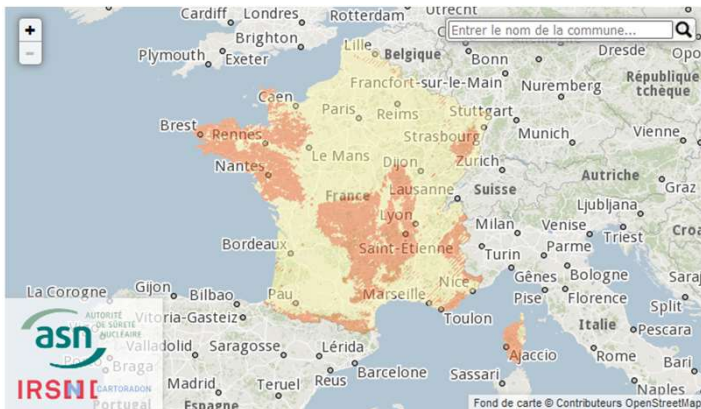
Uranium 238



Gaz

Radioactif

Naturel



Source : Iffo RME

Cancérogène certain



Source : IffoRME

3000 morts/an

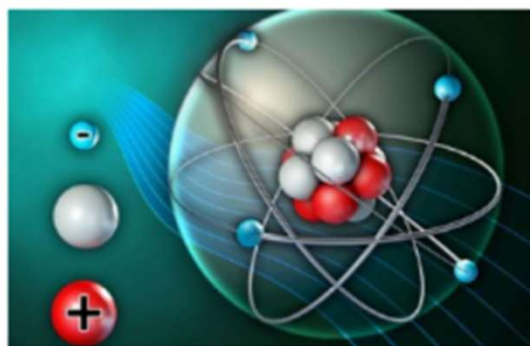
2ème cause
cancer pulmonaire
(après tabac)

INTERACTIONS RADIOACTIVITÉ ET TISSUS BIOLOGIQUES

Rayonnements

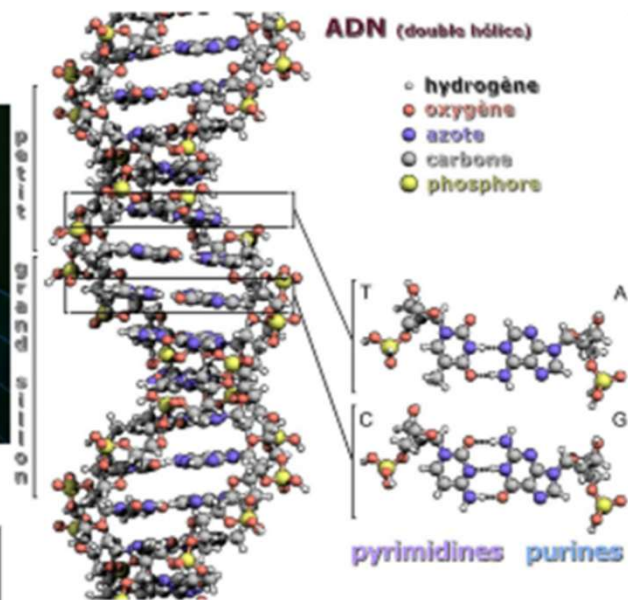
α
 β
 γ

Rayonnements → entrent en interaction avec la matière qu'ils traversent (changement de la structure atomique par ionisation)



Source : Futura-sciences

Lésions
ADN



Source : Aqua-portal

réparation

apoptose

mutation

Effets des rayonnements ionisants sur l'ADN

Les rayonnements ionisants

α ils TRAVERSENT LA MATIÈRE
 γ ET ARRACHENT DES ÉLECTRONS
→ IONISATION

Conséquence : modification de la structure des atomes et des molécules

Action sur la cellule

L'ADN peut être endommagé :
→ cassures, changements chimiques, erreurs de copie
On parle de lésions de l'ADN

Réactions possibles de la cellule

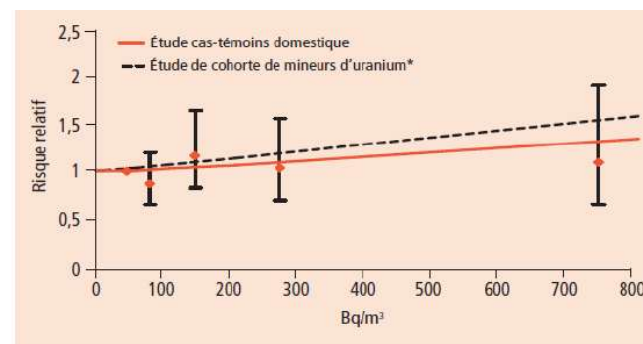
	RÉPONSE CELLULAIRE	CONSÉQUENCE
RÉPARATION	L'ADN est réparé →	Cellule normale
APOPTOSE	La cellule s'autodétruit	Élimination des cellules abimées
		L'erreur reste dans l'ADN

RADON – VALEURS SEUILS

Evalués à partir d'études épidémiologiques chez les mineurs d'uranium et en population générale

- Le risque de développer un cancer du poumon lié au radon augmente en fonction de :

- l'activité volumique de radon dans l'air (Bq/m^3),
- la durée d'exposition.



- L'augmentation du risque est proportionnelle au niveau d'exposition. *16% par 100 Bq/m^3*
- Le risque de développer un cancer du poumon lié au radon existe même à de faibles doses.
- Ce risque est 25 fois supérieur pour les fumeurs de cigarettes ➔ effet sub-multiplicatif
- Le délai de latence est de 5 à 30 ans (moyenne de l'ordre de 19 à 25 ans).



Le cadre réglementaire

RADON DANS CERTAINS ERP - CSP

Pourquoi?	Protection de la population, en particulier les plus vulnérables et les plus exposés	L1333-22
Qui?	Le propriétaire ou l'exploitant de certains ERP (établissements d'enseignements, ESMS avec hébergement, établissements sanitaires, sociaux, thermes, établissements pénitentiaires)	L1333-22 D1333-32
Où?	Dans les zones à risque fort (communes classées zone 3) + lieu avec dépassements antérieurs	Arrêté 27/06/18 R1333-33
Quand?	Tous les 10 ans + travaux ou dépassements	Article 36 du décret
Quoi?	Surveillance du radon dans l'établissement: mesurage -> En cas de dépassement: actions pour réduire l'exposition	R1333-28 R1333-34 Arrêté 26/02/2019 R1337-14-2
Comment?	Par un organisme agréé Affichage des résultats Résultats conservés dans le registre de sécurité	L1333-23 R1333-30 R1333-35 R1333-36

Le zonage à potentiel radon des sols
France métropolitaine



RADON DANS CERTAINS ERP - CSP

Mesurage

- **Matériel**

DSTN (détecteur solides de traces nucléaires) – dits « dosimètres »



Détecteur « ouvert »



Détecteur « fermé »

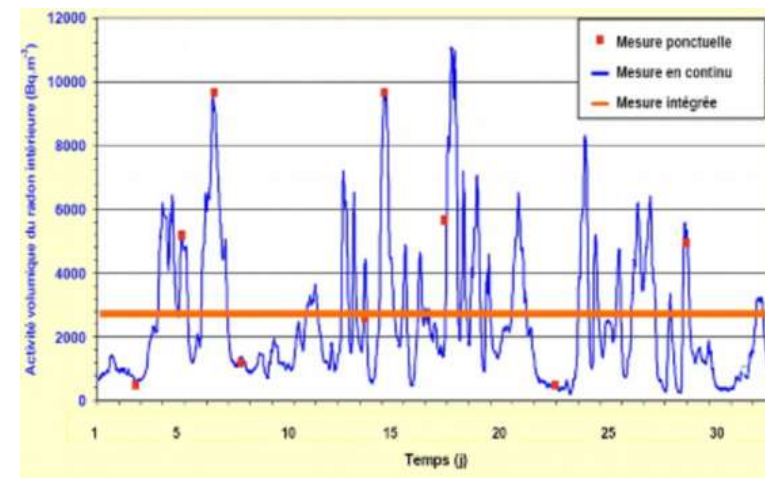


- **Période**

- saison de chauffe (15 septembre année N -> 30 avril année N+1)
- Durée: 2 mois min
- Inoccupation max 20%

- **Lieux**

Niveau le plus bas occupé



ADAPTER L'APPAREIL DE MESURE

- ❑ Mesure du radon pour rechercher les points d'entrée du radon, dans les fissures, les percements, des trappes etc.
→ Mesures ponctuelles dynamique de quelques minutes
- ❑ Mesure cartographique dans différentes pièces, entre deux volumes adjacents pour mettre en évidence des transferts, pour déterminer l'influence de la ventilation ou de l'aération (scénarios)
→ Mesures en continu sur au moins une-demi journée à 24h
- ❑ Mesures de dépistage/mesurage réglementaire
→ Mesure intégrée sur au moins deux mois
- ❑ Mesure radiométrie pour connaître le débit de dose
- ❑ Mesure des descendants à vie courte pour qualifier le facteur d'équilibre et donc le renouvellement de l'air
→ Mesure en continue et suivi avec un conseiller en radioprotection



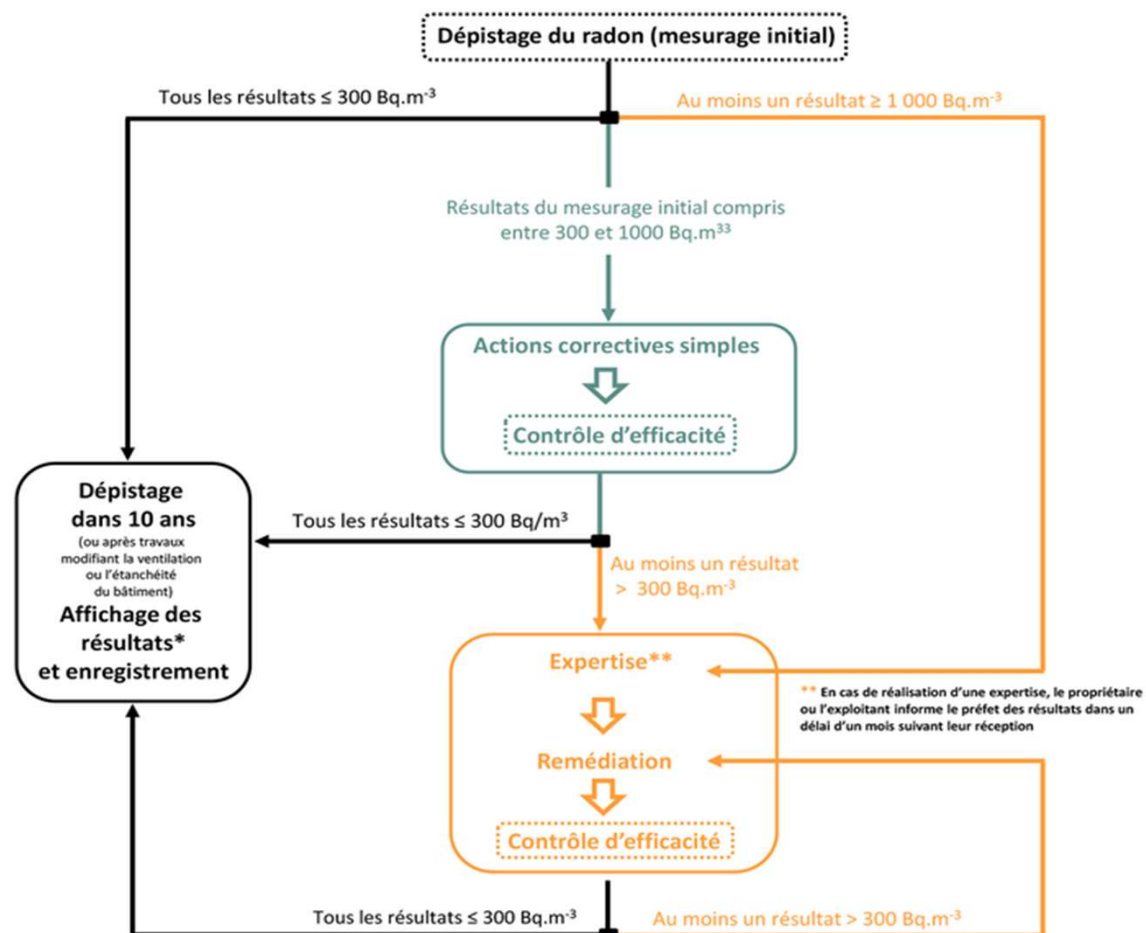
Détecteur « ouvert »



Détecteur « fermé »

RADON DANS CERTAINS ERP - CSP

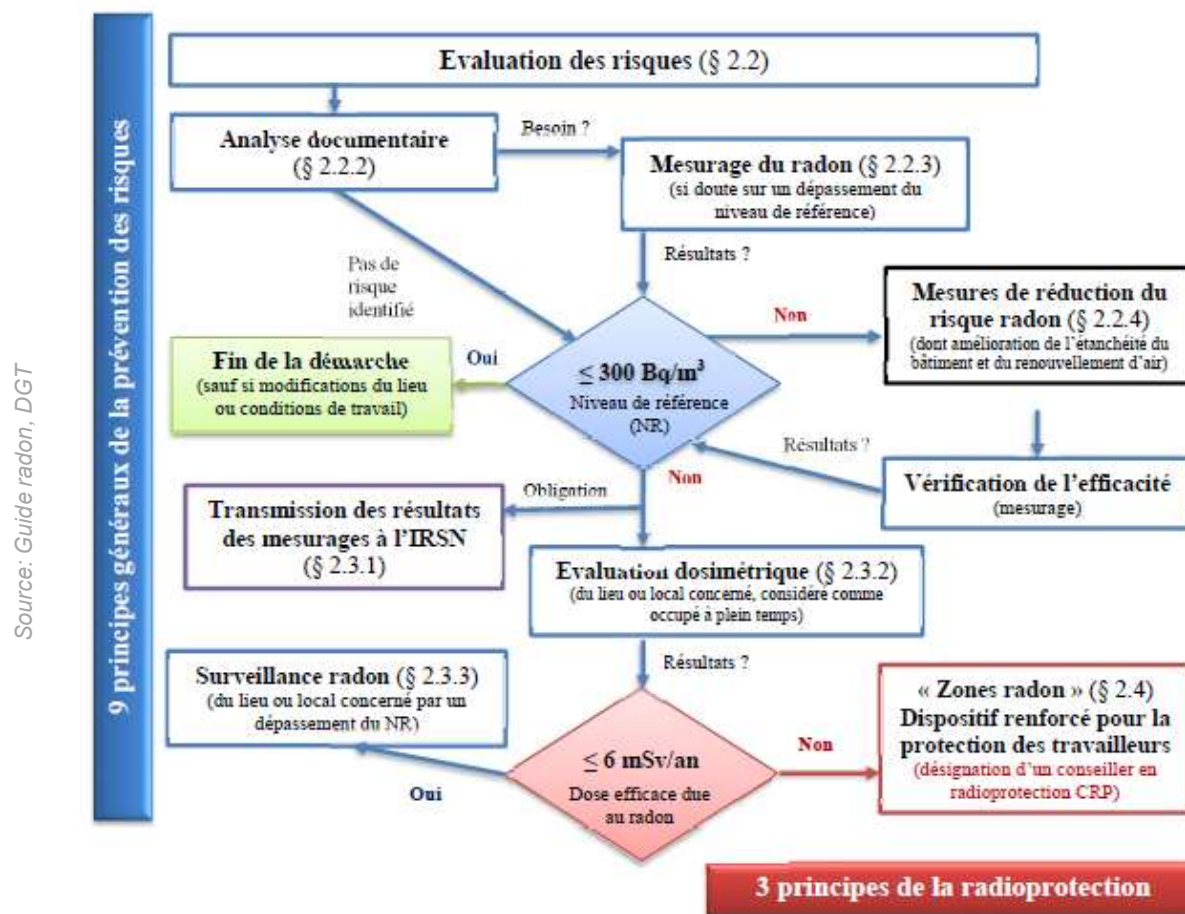
Source: ASN



RISQUE PROFESSIONNEL LIÉ AU RADON – CT

Pourquoi?	Assurer la sécurité et protéger la santé des travailleurs	L4121-1
Qui?	L' employeur , aidé par un préventeur (conseiller en radioprotection, salarié compétent, etc)	Décret 2018-437
Où?	Sur tout le territoire, dans les rez-de-chaussée et sous-sol des bâtiments	Décret 2018-437
Quand?	À partir du 01/07/2018, puis mise à jour a minima annuelle du document unique d'évaluation des risques	Décret 2018-437
Quoi?	Évaluation du risque: documentaire +/- mesurage -> En cas de dépassement: actions pour réduire l'exposition	Décret 2018-437 R4451-13
Comment?	Démarche d'évaluation des risques professionnels Zonage radon possible	L4121-1 Arrêté 15 mai 2024

RISQUE PROFESSIONNEL LIÉ AU RADON – CT



PROJET DE QUALIFICATION DES EXPERTS EN RADON – ASN

Constat :

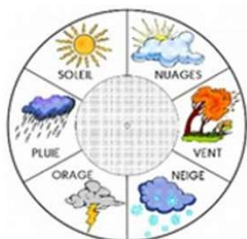
Manque de professionnels en expertise technique radon et de qualifications spécifiques reconnues au niveau national pour accompagner les propriétaires, les gestionnaires de bâtiment et les employeurs dans la gestion du risque lié au radon.

Objectifs de la mission confiée au Cerema :

- proposer un cadre structuré et reconnu pour la formation et la qualification des professionnels intervenant dans le domaine de l'atténuation du radon afin de **mettre à disposition une liste de professionnels reconnus et compétents**.
- Ce cadre définira les compétences requises, le mode de qualification et les règles d'intervention de l'expert.

Remédiation et prévention

TAUX DE RADON DANS UN BÂTIMENT



Propriétés du bâtiment

Entrée = défauts d'étanchéité à l'interface sol/bâti

± facteur aggravant = dépression du bâtiment (« pompage » du radon)

Accumulation = défaut de renouvellement d'air

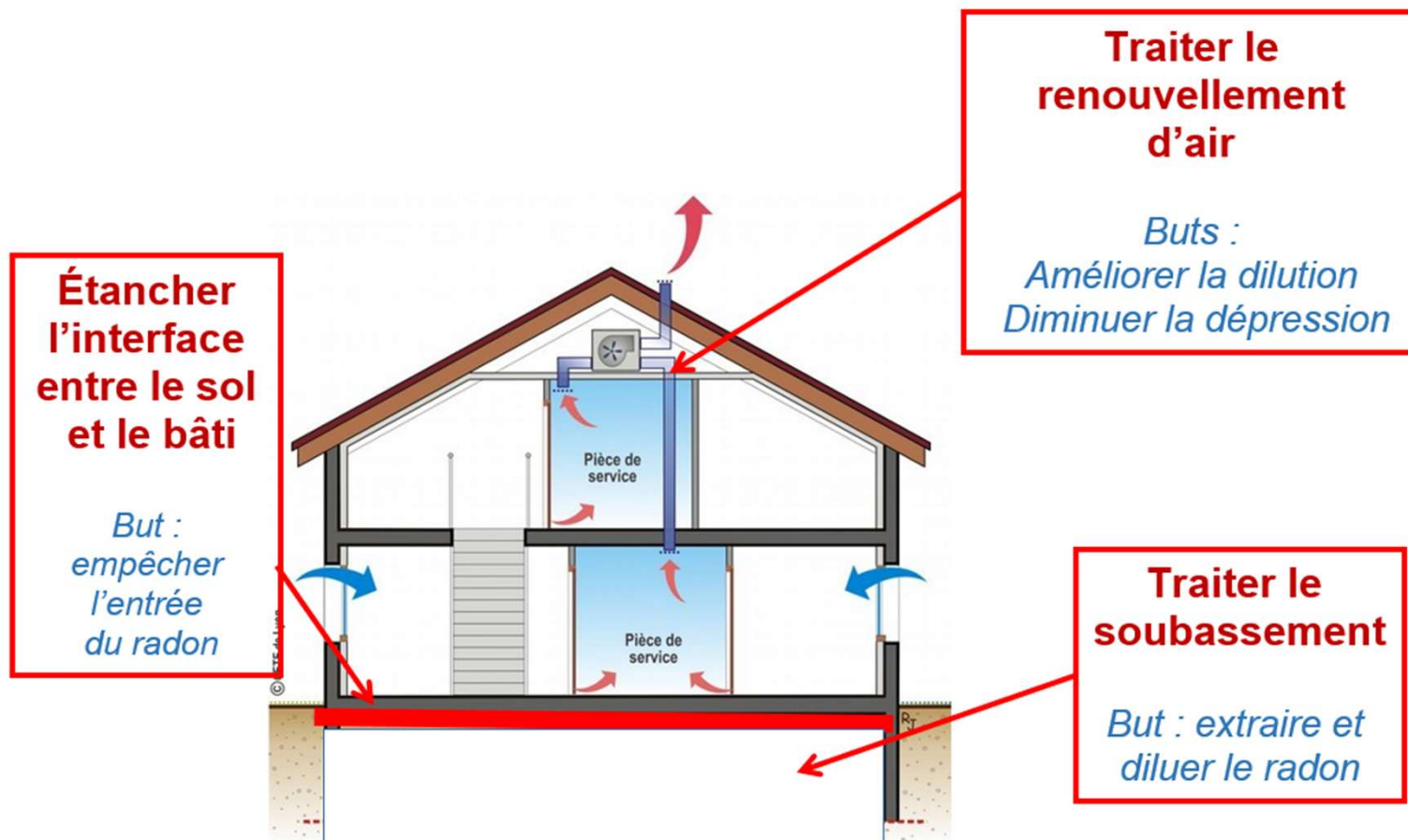
Paramètres extérieurs

Uranium 238



Source : ASN, RME, IRSN

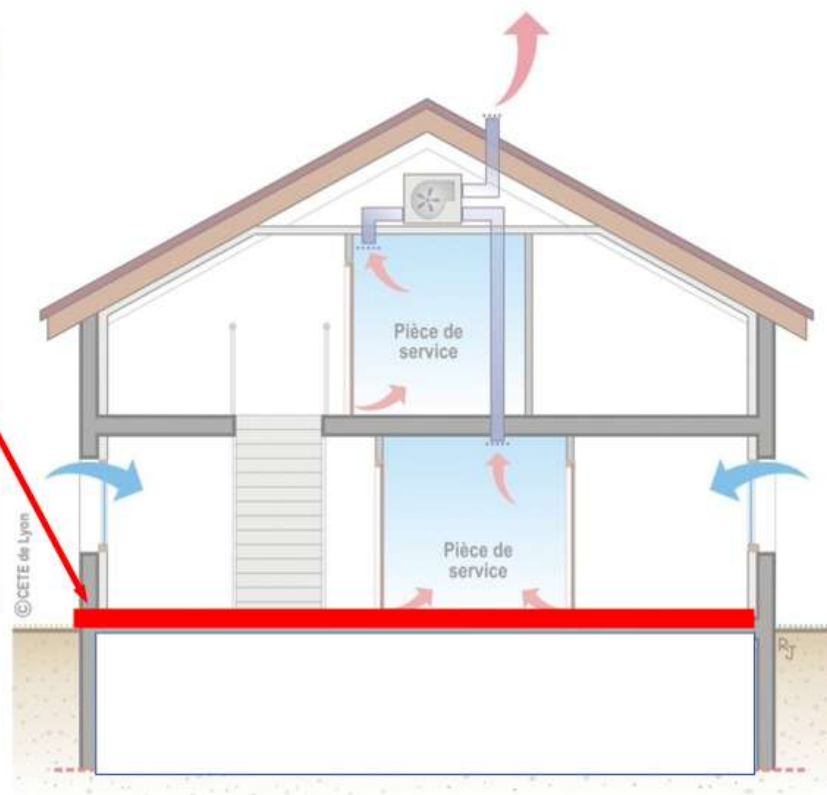
TROIS FAMILLES DE TRAVAUX



LIMITER L'ENTRÉE DU RADON

**Étanchéifier
l'interface sol/bâti**

But : empêcher
la pénétration du radon
du sol vers le bâtiment

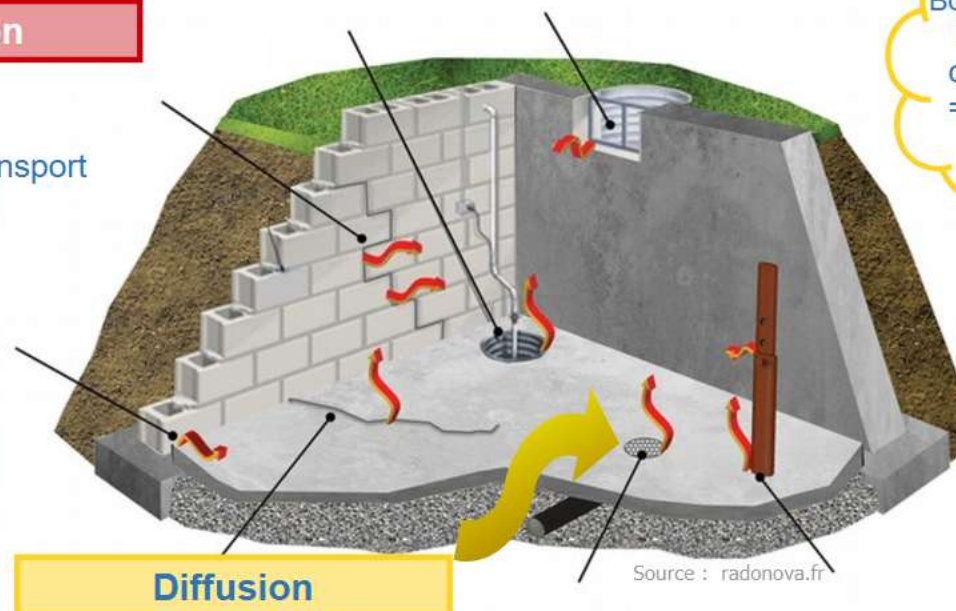


ZOOM SUR LES MODES D'ENTRÉE DU RADON

Convection

Mouvement d'air.

Phénomène de transport principal du radon



Diffusion

Phénomène par lequel la concentration des polluants dans deux milieux séparés par une interface perméable/poreuse tend à l'équilibre.

Phénomène de transport secondaire du radon

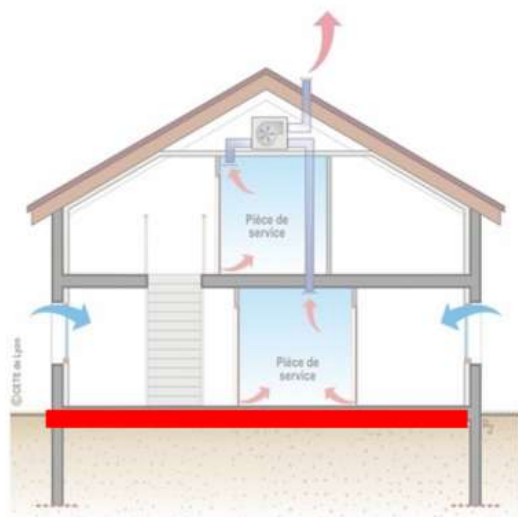
Résultats campagne
Bourgogne 2015-2016
logements avec
cave terre-battue
= + 40 % en taux
mesurés



POINTS D'ENTRÉE DU RADON



TRAITEMENT PONCTUEL

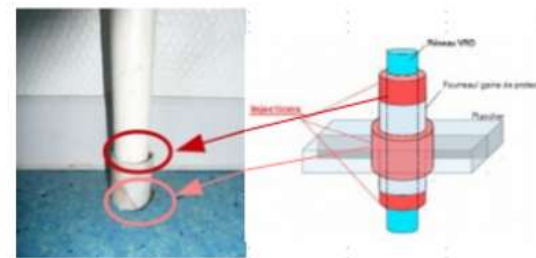


- Percements

Colmatage par mastic d'étanchéité de sol

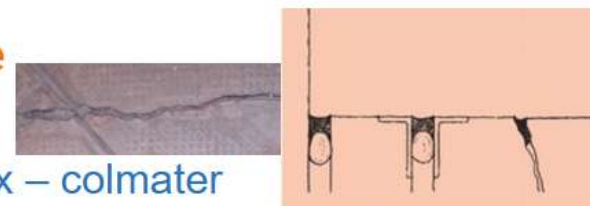


Silicone
Mousse expansive



- Défauts de surface

Agrandir la fissure – intégrer un cordon fibreux – colmater



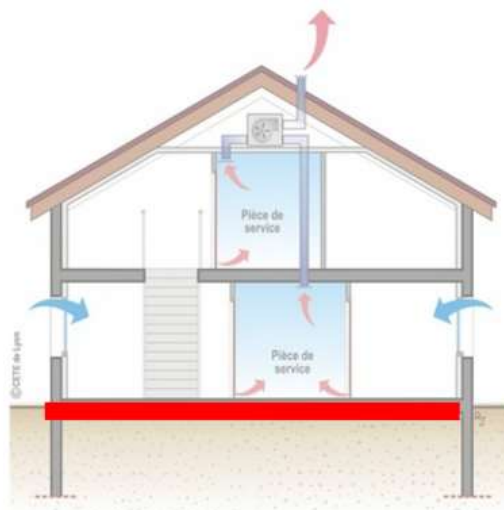
Source: Manuel Suisse du radon

- Joints de portes/trappes d'accès/tableau électrique



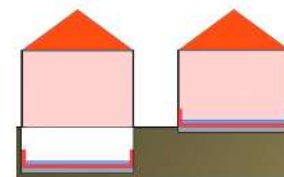
Source : Jurad'bat.net

TRAITEMENT DE SURFACE



En présence de vide sanitaire

Membrane étanche en sous-face
(anti-radon, ex : Eradon, XTRn, Isofilma, Radostop,
Radon Block LVM)

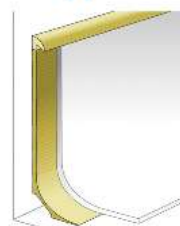


Source : Cerema

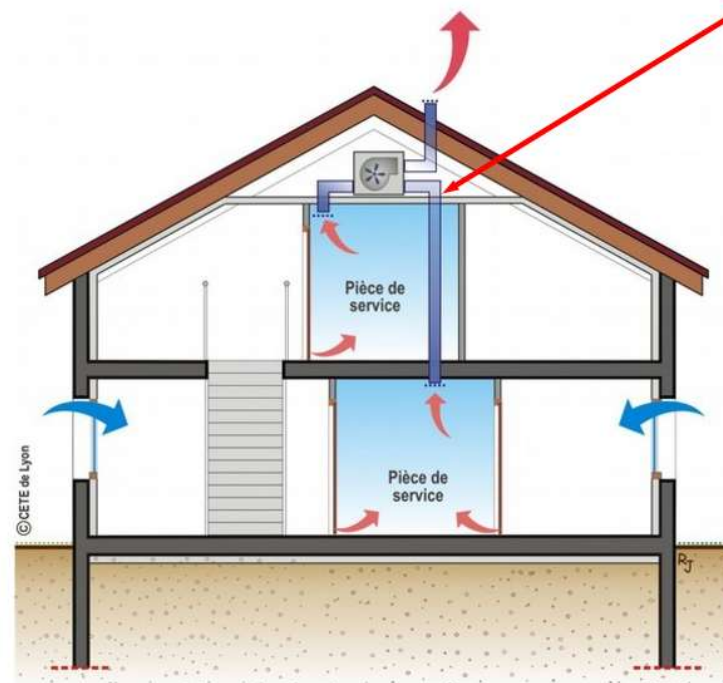
En l'absence de vide-sanitaire

→ Si dépose de sol prévu :
mettre en place un sol étanche

→ sinon : revêtement de sol étanche type linoléum, avec remontée des
lès



AMÉLIORATION DU RENOUVELLEMENT D'AIR



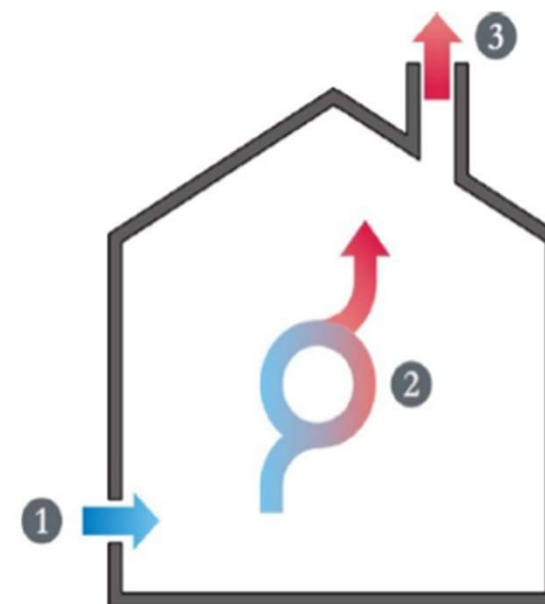
**Traiter le
renouvellement
d'air**

*Buts :
Améliorer la dilution
Diminuer la dépression*

VENTILATION

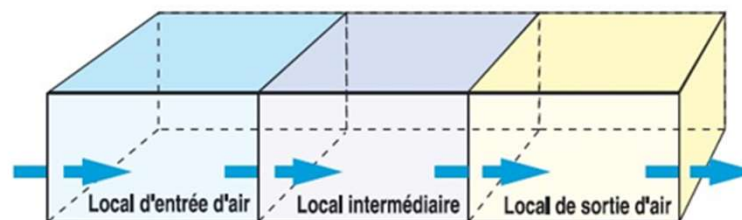
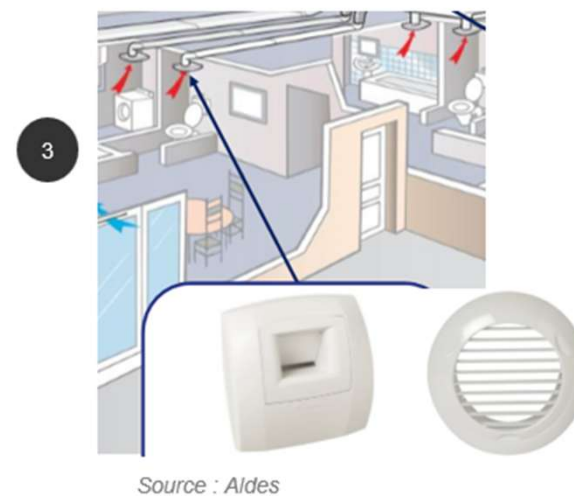
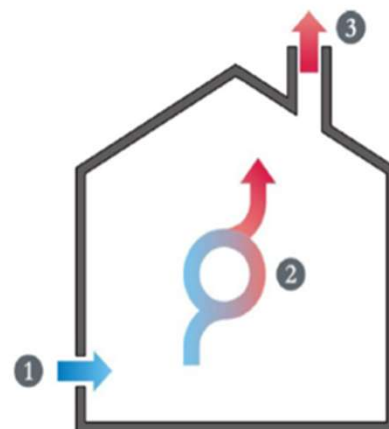
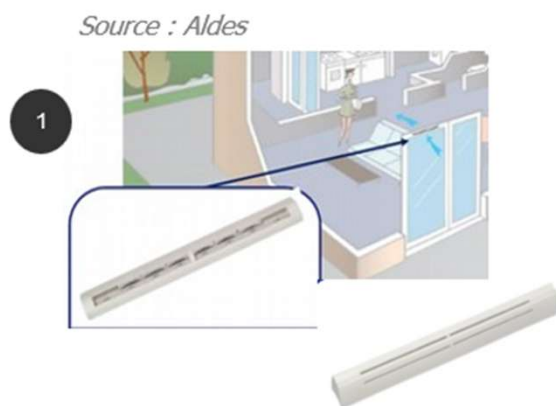
Système, passif ou actif, qui permet de renouveler l'air intérieur

- 1 Introduire à l'intérieur du bâtiment de l'air neuf issu de l'extérieur
- 2 Faire circuler cet air neuf dans les locaux pour diluer et renouveler l'air intérieur
- 3 Extraire l'air vicié des locaux et le rejeter à l'extérieur



Source : Cerema, R. Jobert

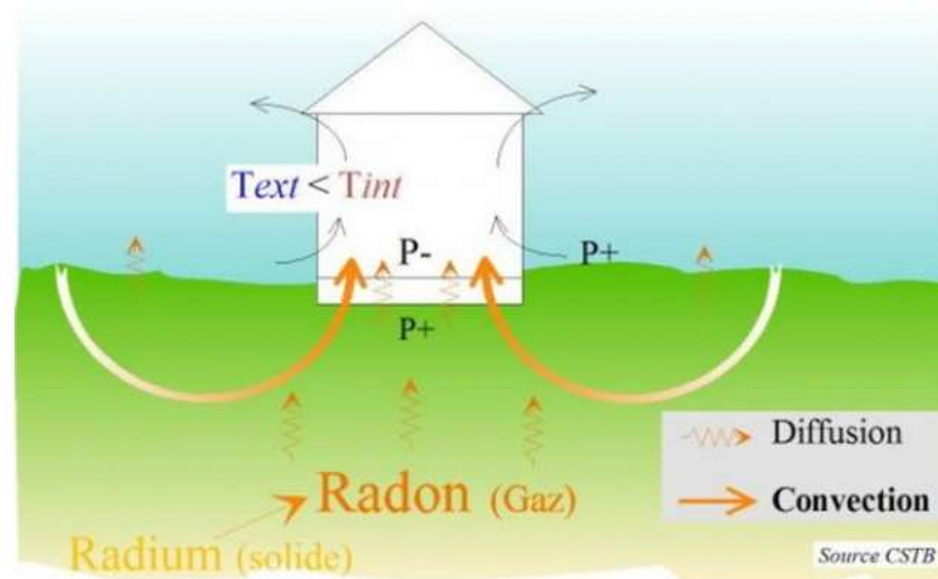
VENTILATION



RENOUVELLEMENT D'AIR

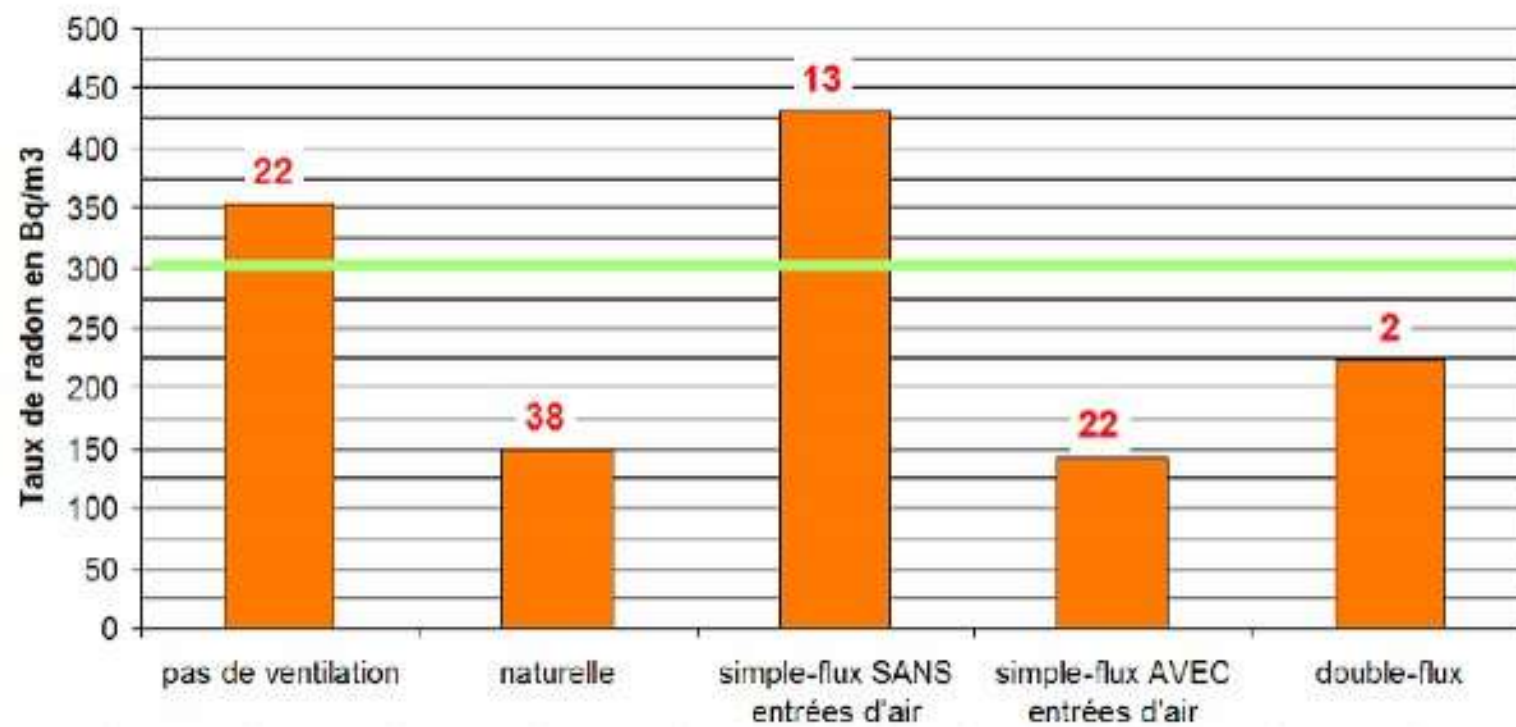
Le transport convectif est favorisé par la mise en dépression du bâtiment :

- Tirage thermique
- Ventilation déséquilibrée

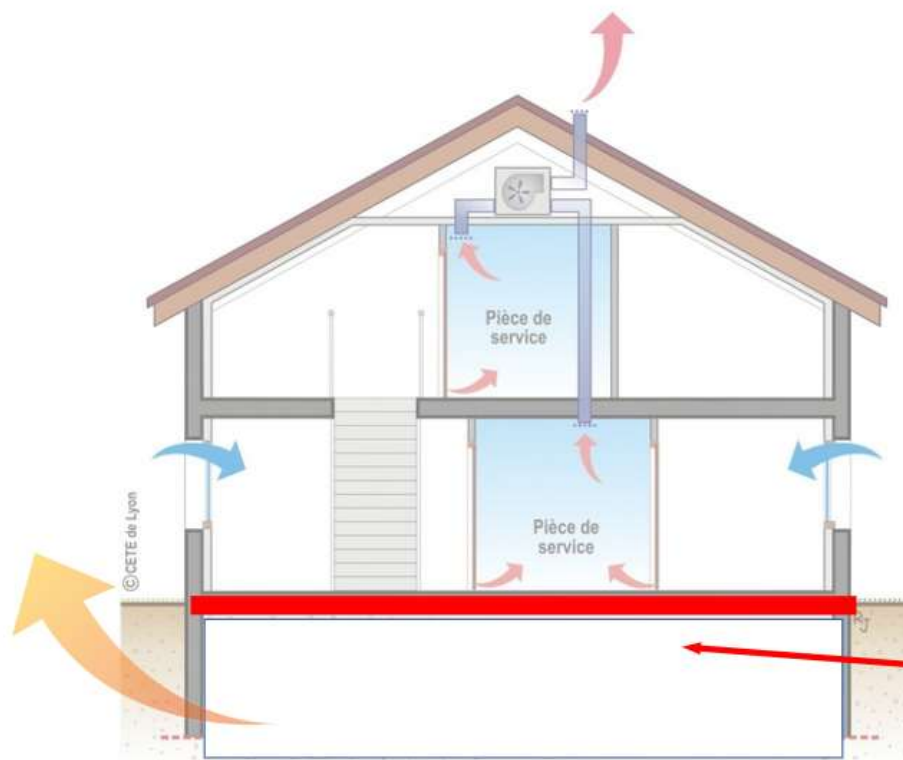


VENTILATION ET RADON

Type de ventilation



TRAITER LE RADON À LA SOURCE



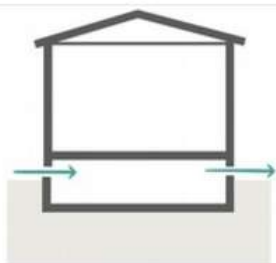
**Traiter le
soubassement**

*But : extraire et
diluer le radon*

TRAITER LE SOUBASSEMENT

En présence de vide sanitaire → ventiler

- naturellement
- mécaniquement



Source: jurad'bat.net

Vigilance :
Pertes énergétiques

En l'absence de vide sanitaire

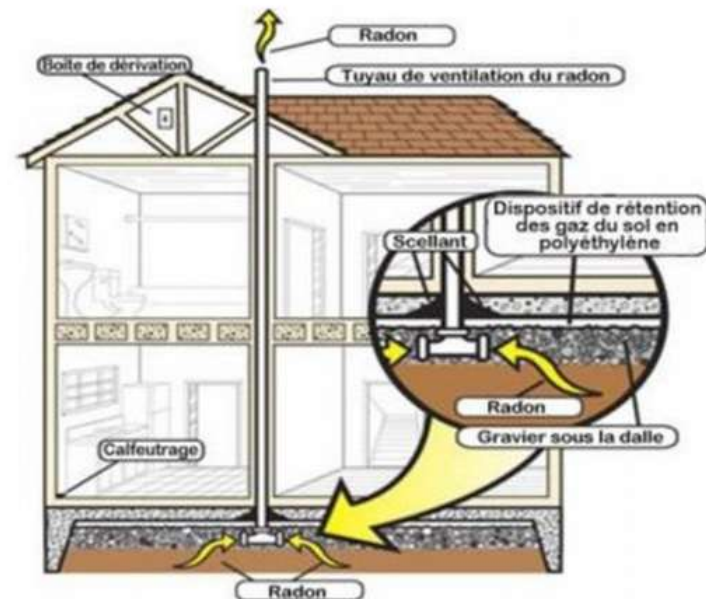
Puisards à radon (SDS)



(a) : maçonné (© CSTB)

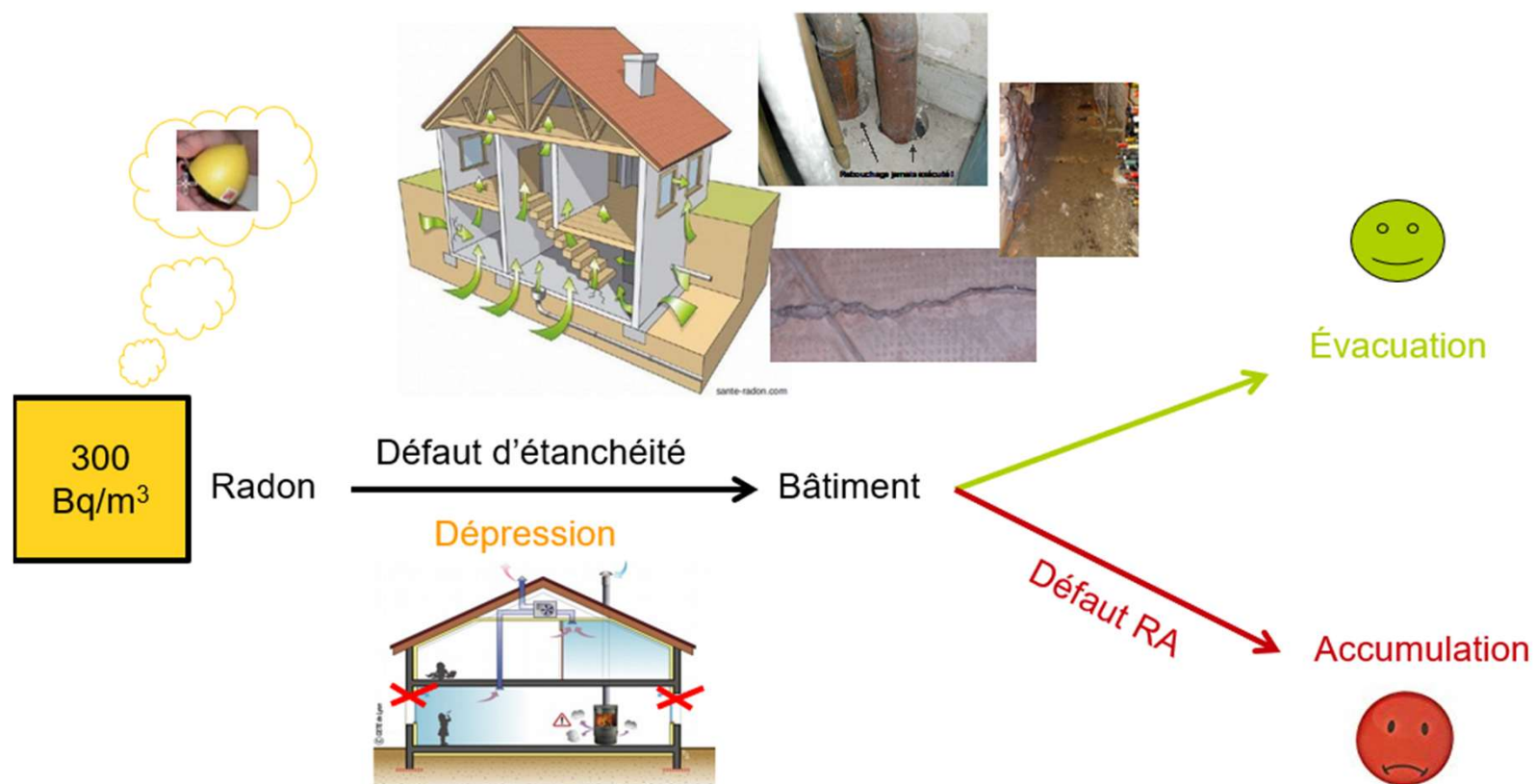


(b) préfabriqué (© Monarflex)



Source: ecohabitation.net

INTERACTIONS RADON / BÂTIMENT - SYNTHÈSE



RESSOURCES

Plateforme Batisph'air



« 2 minutes j'ai tout compris » de la plateforme « agir pour la santé du vivant »
(ex e-set) : issue du PRSE 3 en Bourgogne-Franche Comté :

<https://www.youtube.com/watch?v=iglX2Y1qkds>



Vidéo radon et rénovation énergétique



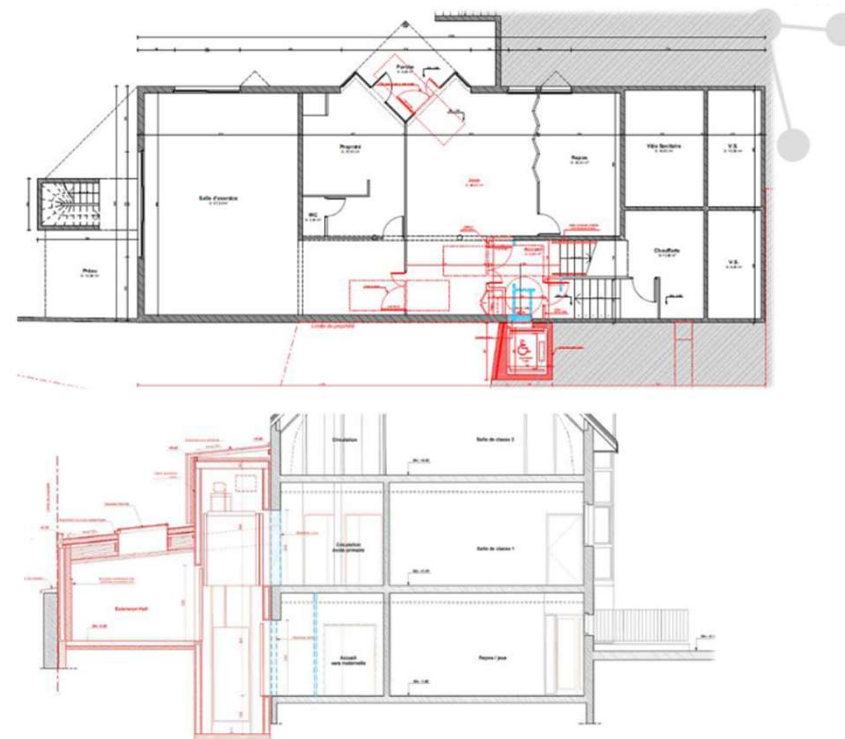
Ventilation



Retex de l'école de Gelles (63)

CONTEXTE

- ✓ Bâtiment datant des années 1980, sur 3 niveaux (travaux de restructuration pour accessibilité PMR en 2020)
- ✓ Bâtiment sur terre-plein et vide sanitaire
- ✓ Certains murs du RDC bas sont enterrés
- ✓ Ventilation mécanique contrôlée simple flux avec bouches d'extraction dans les sanitaires et modules d'entrées d'air en partie supérieure des fenêtres.

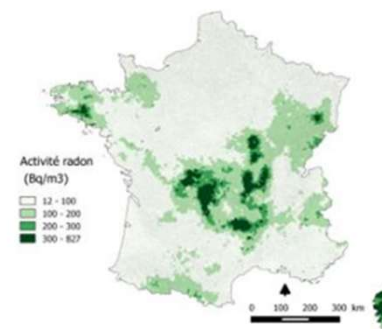


CONTEXTE

Commune de Gelles en zone radon 3

Historique des mesures antérieures

- ✓ 2008_Dépistage initial :
 - 1707 Bq.m⁻³ dans le dortoir
 - 938 Bq.m⁻³ dans la salle de classe de maternelle
- ✓ 2009_Investigations complémentaires: identification des sources et voies d'entrées du radon
- ✓ 2020_Dépistage :
 - 1847 Bq.m⁻³ dans le dortoir
 - 878 Bq.m⁻³ dans la salle de classe de maternelle

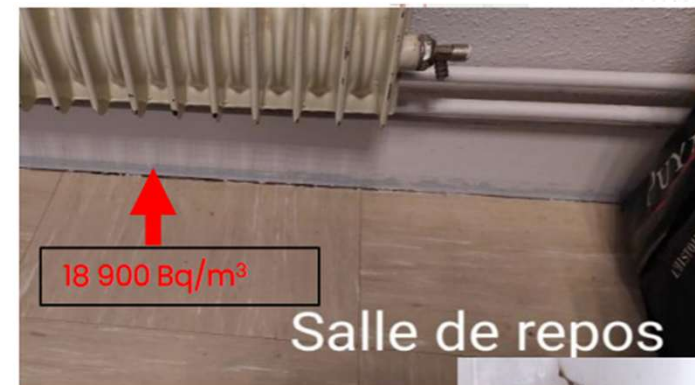


RECHERCHE DES VOIES D'ENTRÉE DU RADON

- ✓ Interface sol-mur sous le radiateur
- ✓ Sous le bac à douche

et dans une moindre mesure :

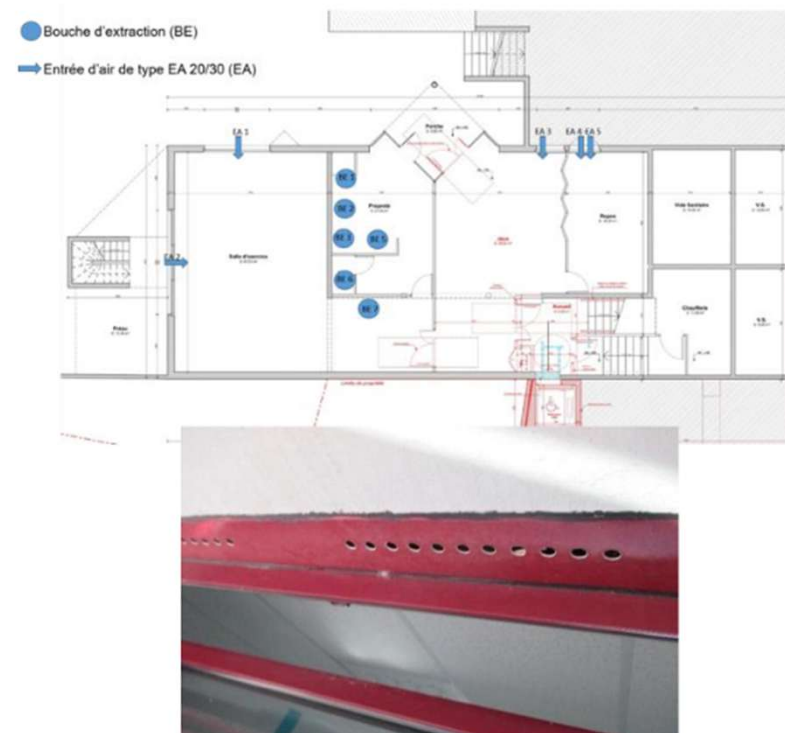
- ✓ dans la salle de propreté (siphon au sol et passage de canalisation entre 2 urinoirs)
- ✓ dans le hall/salle de jeux (à l'interface sol-mur sous le radiateur)
- ✓ dans la salle de classe (à l'interface sol-mur sous les radiateurs)



AUDIT VENTILATION

Audit ventilation

- 5 modules d'entrée d'air non conformes (section des mortaises)
- 6 bouches d'extraction : 180 m³/h (mesure Nucléagis)
- Ventilation déséquilibrée conduisant à une dépression du bâtiment : - 6 Pa (mesure Nucléagis)



CONCLUSION DE L'EXPERTISE BÂTIMENTAIRE

- ✓ Défauts d'étanchéité du sol et des jonctions sol/murs
- ✓ Déséquilibre de la ventilation : RDC en dépression
- ✓ Taux de renouvellement d'air insuffisant

MISE EN PLACE DES ACTIONS CORRECTIVES SELON UNE APPROCHE GRADUÉE

Phase I

- ✓ Remplacer le linoléum par un revêtement étanche garantissant une continuité avec les plinthes
- ✓ Étanchéifier avec un mastic l'ensemble des traversées de réseaux de la dalle et des murs périphériques enterrés ou en lien avec le vide sanitaire
- ✓ Étanchéifier les trappes d'accès sous le bac de douche et sous la fontaine dans la salle de propreté.
- ✓ Mettre en conformité le dimensionnement des mortaises d'entrée d'air existantes (norme NF DTU 68.3).
- ✓ Ajouter des mortaises à l'ensemble des fenêtres des pièces sèches afin d'équilibrer les débits d'entrée d'air neuf et les débits d'extraction

Phase II (si phase I insuffisante)

- ✓ Installation d'un système de dépressurisation des sols (SDS)

MISE EN ŒUVRE DES ACTIONS CORRECTIVES – PHASE 1

Auto-contrôle de l'efficacité de ces actions correctives :

Mesures intégrées du 19/10/2022 au 08/12/2022

- ✓ 880 Bq.m⁻³ dans le dortoir (ancienne mesure : 1 847 Bq.m⁻³)
- ✓ 890 Bq.m⁻³ dans la salle de classe de maternelle (ancienne mesure : 878 Bq.m⁻³)
- ✓ 759 Bq.m⁻³ dans le hall d'accueil



ACTIONS CORRECTIVES – PHASE 2

Actions correctives mises en œuvre (Phase 2) :

En 2023 : installation d'un SDS sous le dortoir

- ✓ Carottage de la dalle et extraction mécanique par implantation d'un ventilateur centrifuge (80 W) en façade (dimensionnement Nucléagis, réalisation Maire de Gelles)

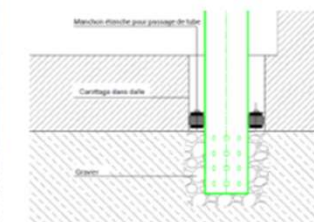
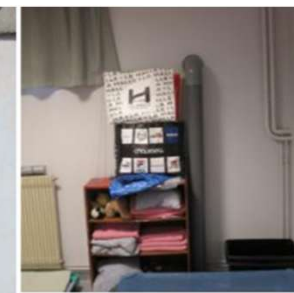
Test d'efficacité du SDS :

- ✓ Mesure de la dépression du sol : satisfaisant sous dortoir (-1,5 Pa), peu efficace sous hall d'accueil et salle de classe (- 0,3 Pa)

Contrôle d'efficacité réglementaire de ces actions correctives

Mesures intégrées du 08/01/2025 au 16/04/2025

- ✓ 56 Bq.m⁻³ dans le dortoir (mesure précédente : 880 Bq.m⁻³)
- ✓ 361 Bq.m⁻³ dans la salle de classe de maternelle (mesure précédente : 890 Bq.m⁻³)



BILAN ET SUITES À DONNER

✓ Coût de l'opération

	Coût TTC (€)
Expertise	3 000
Travaux	
Remplacement des sanitaires	5 949,54
Remplacement du sol	13 710,60
Architecte	1 080,00
Carottages	1 380,00
Installation test de ventilation	1 866,00
Installation extracteur d'air	859,92
Total travaux	24 846,06

✓ Suites à donner

Installation d'un SDS sous la salle de classe

Retex de la commune de Seez (73)

Ecole élémentaire

CONTEXTE

Zone potentiel 3 => obligation de réaliser des mesures.

Ecole élémentaire : 1952, sur 3 niveaux et la présence d'un sous-sol sur terre battue, sans aucun système de ventilation => défaut de renouvellement d'air.

Ecole primaire : 2006, 2 niveaux = RAS.



PHASE 1 - MESURAGE EN 2018

Mesurage de l'activité volumique du radon du 30/01/2018 au 13/04/2018 :

- Une pièce dépassant le seuil dépassant les 1000 Bq/m³ (2840 Bq/m³) au niveau de la bibliothèque (R+1);
- Autre pièce avec un seuil dépassant les 300 Bq/m³ (335 Bq/m³).

=> Budget 1074 €/TTC.

Mise en place rapidement d'actions simples pour réduire le taux :

- Commande de campagne de mesure de contrôle d'efficacité des actions simples (juillet 2028) :
 - 664 Bq/m³ et 398 Bq/m³;
 - MAIS toutes les autres pièces supérieures à 300 Bq/m³.

=> Budget 1251,60 €/TTC.

PHASE 2 – TRAVAUX EN 2019 (MARS À AOÛT)

Reprise étanchéité du bâtiment :

- Calfeutrage des canalisations provenant des caves;
- Mise en place de joints sur les plinthes et les circuits électriques.



Pose de mastic Anti-radon : plinthes et regards



Découpage des anciennes canalisations (au niveau des caves) - fermeture par un joint étanche



PHASE 2 – TRAVAUX EN 2019 (MARS À AOÛT)

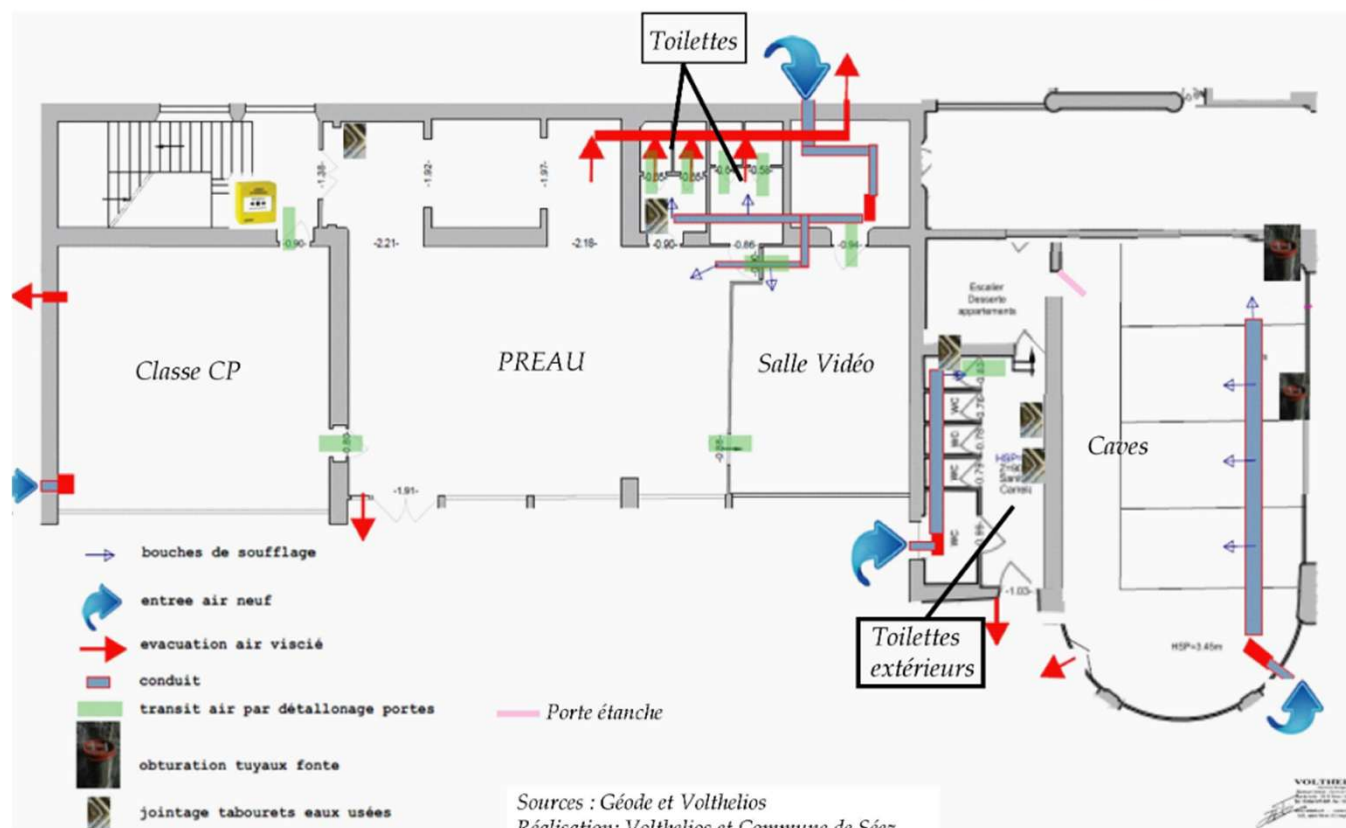
Deuxième phase de travaux :

- Mise en place d'un module d'entrée d'air sur fenêtre dans la pièce au-dessus de 1000 Bq/m³;
 - Installation d'une porte étanche au niveau des caves en terre battu;
 - Installation d'une ventilation mécanique par insufflation dans les caves (niveau 0) avec une extraction donnant sur la cour et entrée d'air neuf;
 - Installation d'une ventilation mécanique par insufflation dans la salle polyvalente, les sanitaires et la classe de CP (niveau 0).

=> Budget : 34 046 € TTC.

VENTILATION PAR INSUFFLATION

Plan du réseau de la Ventilation Mécanique par Insufflation



VENTILATION PAR INSUFFLATION – AVANTAGES



- Taux de renouvellement d'air permanent.
- Maîtrise des débits insufflés.
- Filtration de l'air neuf.
- **Radon.**

CONTRÔLE DE L'EFFICACITÉ DES TRAVAUX

Travaux de remédiation :

- Abaissement à **534 Bq/m³** (à la place de 2840 Bq/m³);
- Les autres pièces seuil en dessous de 200 Bq/m³.

=> Budget : 1 251 € TTC.

PHASE 3 – TRAVAUX COMPLÉMENTAIRES

Installation d'une ventilation double flux au niveau de la bibliothèque et des sanitaires (R+1) (mai à juin 2020) :

=> Budget 34 046 € TTC.

Entretien ventilation + commande de filtres si besoin

=> Budget 1251 € TTC.

Contrôle d'efficacité des travaux de remédiation

=> Budget 804 € TTC.

ALPES CONTROLES		ETABLISSEMENT : ECOLE ELEMENTAIRE A SEEZ					
NIVEAU	ZONE HOMOGENE	LOCALISATION	N°DOSIMETRE	DATE POSE	DATE DEPOSE	DUREE (jours)	ACTIVITE VOLUMIQUE MOYENNE EN Bq/m3
RDC	ZH1	SEEZ/ECOLE/CLASSE CP	730345	25/11/2020	18/02/2021	85	64
R+1	ZH2	SEEZ/ECOLE/SALLE 2	730348	25/11/2020	18/02/2021	85	293
R+1	ZH3	SEEZ/ECOLE/SALLE 3 CE1	730349	25/11/2020	18/02/2021	85	124
R+1	ZH4	SEEZ/ECOLE/BIBLIOTHEQUE	730347	25/11/2020	18/02/2021	85	526
R+2	ZH5	SEEZ/ECOLE/CLASSE SALLE INFO	730340	25/11/2020	18/02/2021	85	184

PHASE 4 – TRAVAUX COMPLÉMENTAIRES

Dallage du sol en terre battu des caves avec installation d'un film anti-radon (juillet à août 2024);

⇒ Budget 15 428 €/TTC.

Entretien ventilation + commande de filtres si besoin

=> Budget 1251 € TTC.

Contrôle d'efficacité des travaux de remédiation

=> Budget 864 € TTC.



ALPES CONTROLES		ETABLISSEMENT : ECOLE ELEMENTAIRE A SEEZ					
NIVEAU	ZONE HOMOGENE	LOCALISATION	N°DOSIMETRE	DATE POSE	DATE DEPOSE	DUREE (jours)	ACTIVITE VOLUMIQUE MOYENNE EN Bq/m3
RDC	ZH1	SEEZ/ECOLE/CLASSE CP	730345	25/11/2020	18/02/2021	85	64
R+1	ZH2	SEEZ/ECOLE/SALLE 2	730348	25/11/2020	18/02/2021	85	293
R+1	ZH3	SEEZ/ECOLE/SALLE 3 CE1	730349	25/11/2020	18/02/2021	85	124
R+1	ZH4	SEEZ/ECOLE/BIBLIOTHEQUE	730347	25/11/2020	18/02/2021	85	526
R+2	ZH5	SEEZ/ECOLE/CLASSE SALLE INFO	730340	25/11/2020	18/02/2021	85	184

100

80

BILAN

Point positif :

La mise en place des ventilations permet en plus du traitement du radon d'améliorer d'une manière générale la QAI.

Limites et contraintes :

- Manque d'outils et d'accompagnement des communes face un taux dépassant le seuil – quoi faire après ce dépassement ? A qui s'adresser ? Plan financier;
- Manque de connaissance de cette problématique au niveau des entreprises, peu d'entre elles peuvent apporter une certaine expertise et conduire des travaux de remédiations;
- Un budget conséquent pour les communes pour effectuer les travaux de remédiations sans accompagnements financiers.

=> Budget total (travaux et mesures) : 93 666 € TTC.

Merci de votre attention

