

# TRAMAYES

1 060 habitants (Saône et Loire)

Commune fondatrice du réseau des territoires à énergie positive en 2011

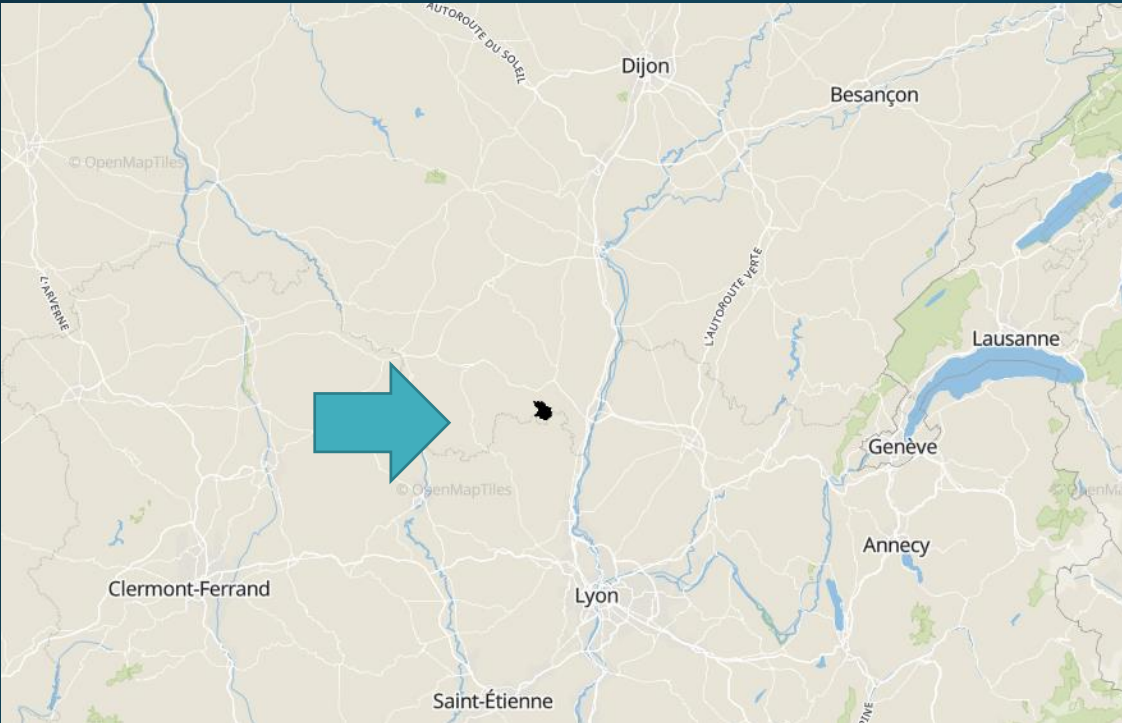
Prix spécial du jury de la ligue des énergies renouvelables en 2011

1er prix de la ligue européenne des énergies renouvelables en 2012

1ère commune française de plus de 1000 hbts n'utilisant que de l'énergie renouvelable pour ses bâtiments municipaux et son éclairage public en 2019

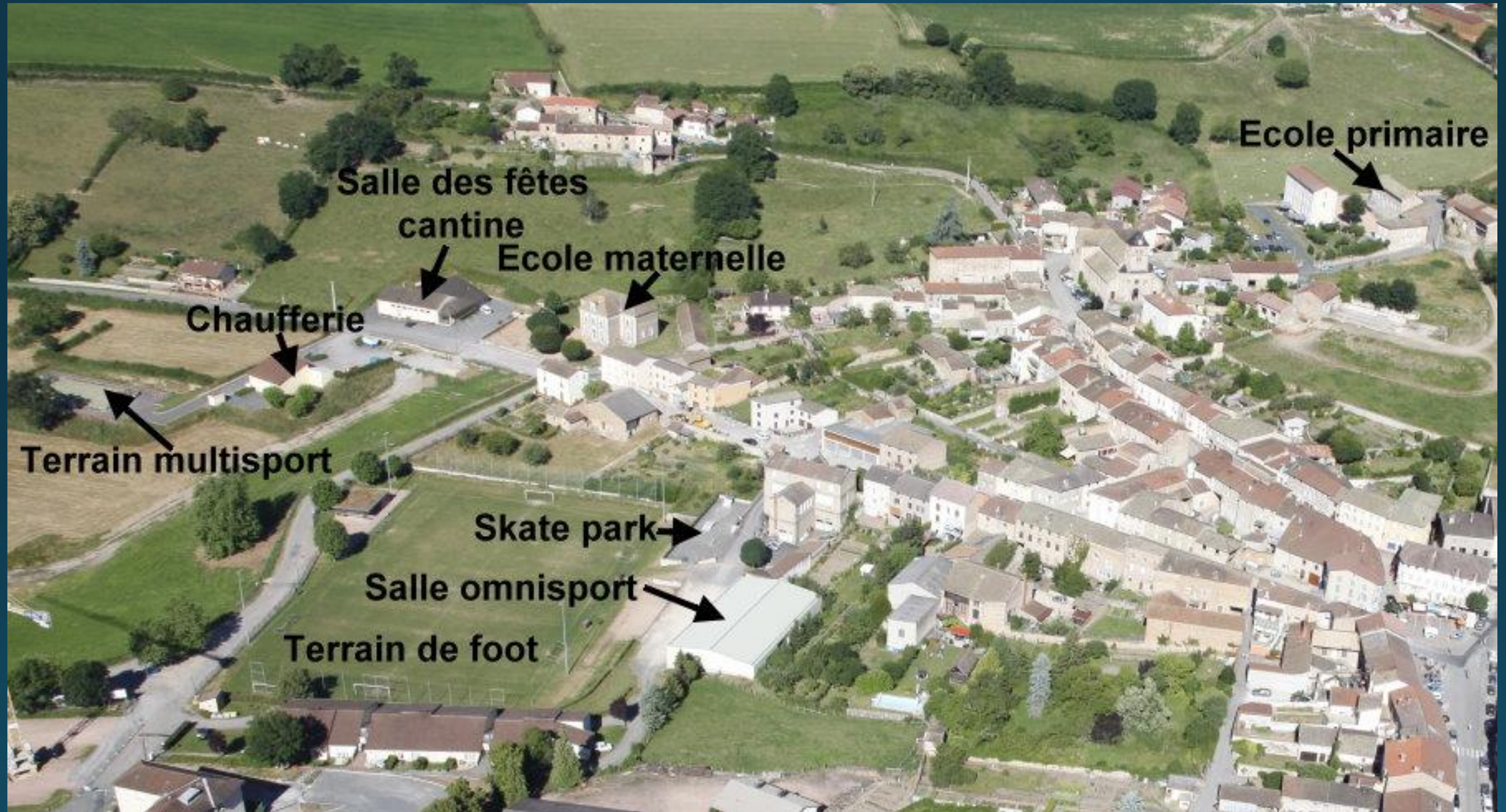
Objectif de production d'électricité renouvelable égale à la consommation électrique pour les bâtiments municipaux et l'éclairage public en 2024

Territoire à énergie positive pour la croissance verte en 2050





# TRAMAYES – Groupe scolaire





# TRAMAYES – Groupe scolaire





## Coût et plan de financement

- Coût 2 600 000 € TTC
- Etat TEPCV : 100 000 €
- Etat DETR 2017 : 180 000 €
- Etat DSIL 2017 : 195 000 €
- Etat Ecole numérique innovante : 12 000 €
- CRBFC : 100 000 €
- CD71 : 70 800€
- CEE : 47 000 €
- FCTVA : 430 000 €



ROUTE DE CLUNY  
R.D. 22 409.72





# TRAMAYES – Ancienne gendarmerie

## Documents visuels

Etat actuel



Projet



Façades Est et Nord



Façade Nord



# TRAMAYES – Ancienne gendarmerie





# TRAMAYES – Ancienne gendarmerie





## Coût et plan de financement

- Coût 1 600 000 € ht – 1 760 000 € TTC
- TVA 10%
- Etat TEPCV : 90 000 €
- Etat DSIL : 350 000 €
- CRBFC : 500 000 €
- CD71 : 18 750 €
- CEE (estimation) : 30 000 €



# L'ACCOMPAGNEMENT DU CEREMA SUR LA QUALITÉ DE L'AIR


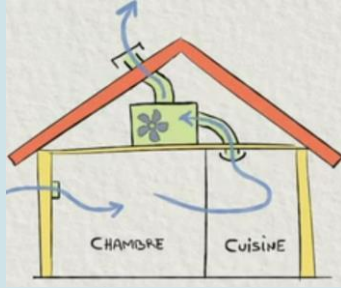

- Enjeu
- Le chantier – un suivi spécifique
- Résultats de mesures radon à réception Clos des Carillons
- Et ensuite... Bonnes pratiques à l'usage des occupants pour maîtriser son exposition



# L'enjeu

# FOCUS SUR LE RENOUVELLEMENT D'AIR



3 voies de renouvellement d'air	Perméabilité à l'air	ventilation	aération
définition	<p>Toutes les fuites d'air présentes dans l'enveloppe du bâtiment</p> 	<p>Système, actif ou passif, dont l'objectif est de renouveler l'air</p> 	<p>Action (ponctuelle) d'ouvrir portes/fenêtres donnant sur l'extérieur</p> 
tendance	<p>En baisse: logements plus étanches dans un contexte de maîtrise énergétique (RE, Rtex, etc)</p>	<p>Obligatoire dans le logement neuf (&gt;50% de non-conformités à réception)</p> <p>-</p> <p>Pas systématique en rénovation</p>	<p>En baisse (hors covid): changement des habitudes liées aux économies d'énergie</p>



# LES ENJEUX DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR (QAI)

Conséquences mauvaise QAI:  
Inconfort -> Pathologies



J-F. Millet, les glaneuses



85 à 90% du temps

Polluants  
extérieurs

Radon

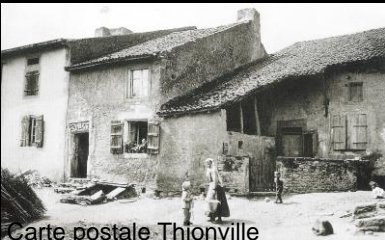
Émissions

Supplémentaires en air intérieur

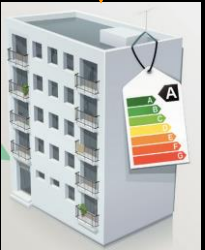
Activités des  
occupants

Matériaux  
construction/  
décoration

Renouvellement d'air



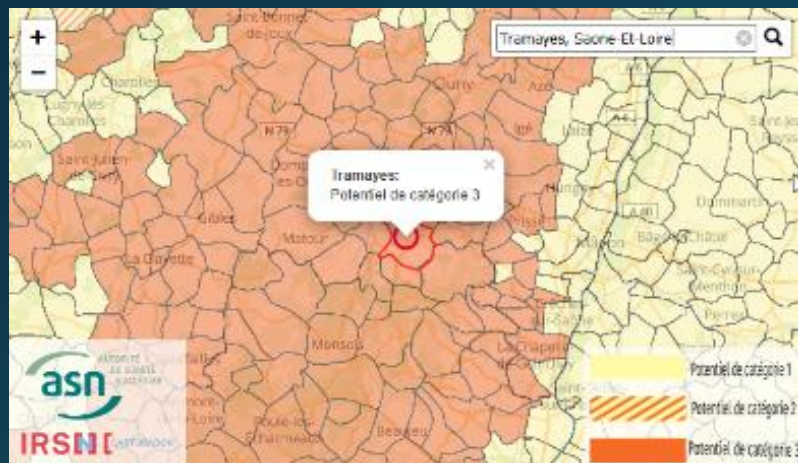
Carte postale Thionville



# LE RADON – DÉFINITION ET ENJEU



Uranium 238



<http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/Pages/5-cartographie-potentiel-radon-commune.aspx>

Gaz

Radioactif

Naturel



Source : Iffo RME

Cancérogène certain



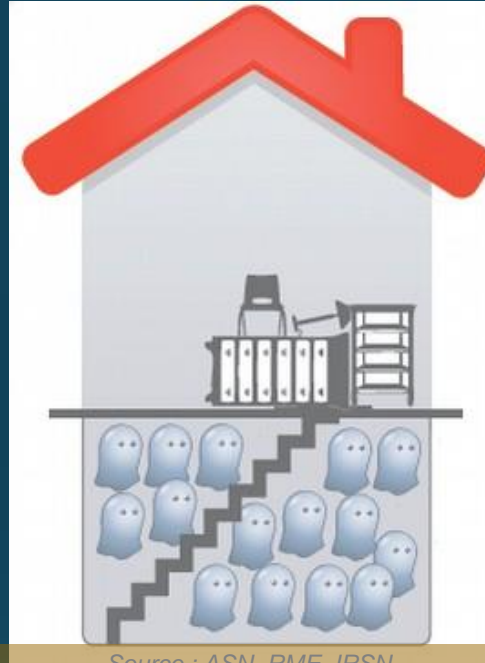
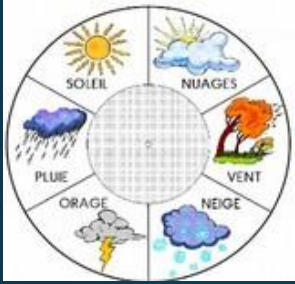
Source : IffoRME

3000 morts/an

2ème cause  
cancer pulmonaire  
(après tabac)



# TAUX DE RADON DANS UN BÂTIMENT



Source : ASN, RME, IRSN

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

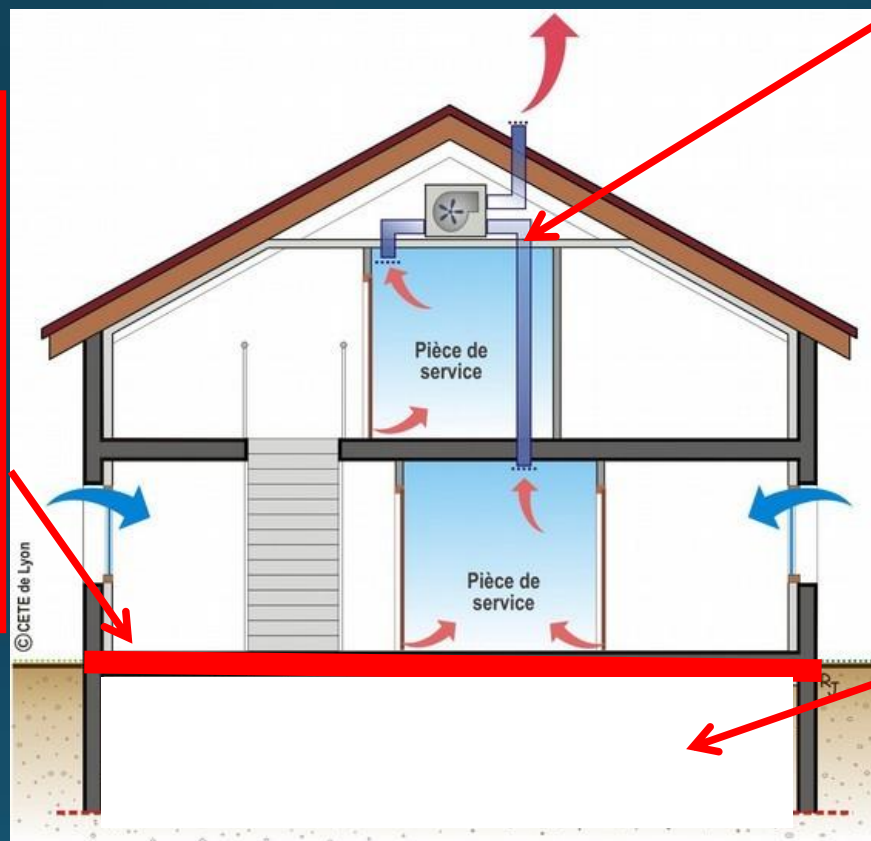
Uranium 238



### 3 FAMILLES DE PRÉCONISATIONS

Étancher l'interface entre le sol et le bâti

*But : empêcher l'entrée du radon*



Traiter le renouvellement d'air

*Buts :  
Améliorer la dilution  
Diminuer la dépression*

Traiter le soubassement

*But : extraire et diluer le radon*



# Le chantier

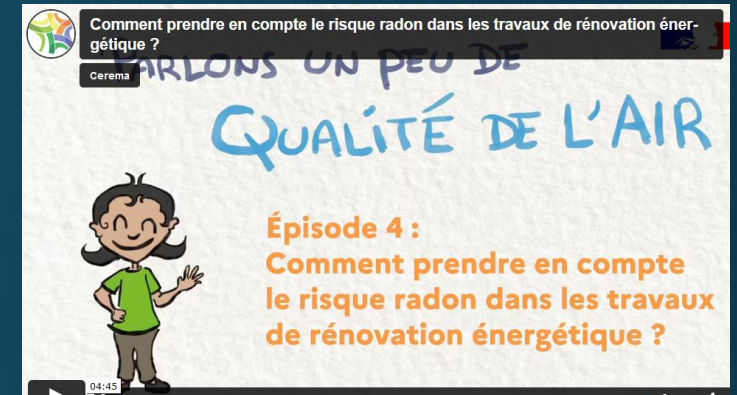


# CONTEXTE

- **Un risque peu connu...**

Peu / pas de formation pour les professionnels du bâtiment  
Méconnaissance du sujet par le grand public et les maîtres d'ouvrage

...mais potentialisé par les travaux de rénovation énergétique



- **Aucune obligation réglementaire vis-à-vis du radon dans l'habitat**

- **Contexte local (régional) favorable – plan régional santé environnement**

- **Démarche innovante et volontaire de Tramayes,** accompagnée par plusieurs institutions (DREAL, CEPN, DDT71, ARS, Cerema)

# CAS-ÉCOLE

## RADON

### TRAMAYES, UNE COLLECTIVITÉ ÉCOLE POUR LA PRISE EN COMPTE DU RADON EN RÉNOVATION

Transformation d'une ancienne gendarmerie communale en logements locatifs

Le radon est un gaz naturellement présent dans le sol, imperceptible par l'œil humain, qui représente la **seconde cause de décès par cancer** en France. S'il se dilue dans l'air à l'extérieur présente donc pas de danger, il peut s'accumuler à l'intérieur des bâtiments jusqu'à atteindre des concentrations dangereuses pour la santé. Le seul moyen de le réduire est de le détecter et de le traiter à l'heure actuelle consiste donc sa présence dans les bâtiments.

Cependant, le radon est un phénomène complexe et il est nécessaire d'agir de manière spécifique chaque bâtiment, et par conséquent pour solutions mises en œuvre en fonction de l'observé.

C'est pourquoi la commune de Tramayes (71) a décidé de prendre en compte le risque radon dès l'amont d'un projet de rénovation globale sur un bâtiment communal. Ce projet a été suivi par la DREAL Bourgogne-Franche-Comté (BFC) et le Cerema, qui a développé une **méthodologie innovante**, tandis que la DREAL a fait de cette commune un territoire école pour accompagner la montée en compétence collective des acteurs locaux concernés.

#### DES ACTEURS LOCAUX SENSIBILISÉS EN AMONT

La région Bourgogne-Franche-Comté a publié en 2017 son troisième Plan régional santé environnement (PRSE 3), qui prévoit d'**intégrer la gestion radon dans le cadre des opérations programmées d'amélioration de l'habitat (OPAH)** ou des **programmes d'intérêt général de l'ANAH** (fiche n°19). Le risque radon peut en effet être amplifié lors de travaux de rénovation énergétique, notamment si le renouvellement d'air intérieur se trouve réduit. L'objectif de la fiche n°19 est donc de s'assurer que les opérations subventionnées par (ANAH) intègrent bien une réduction du risque radon.

La DREAL BFC, qui pilote la fiche n°19, a mobilisé une **équipe pluridisciplinaire** (ANAH, ARS, CEPN, DDT 71 et IRSN) pour accompagner la montée en compétence de ce **territoire école**. L'équipe a ainsi présenté en octobre 2019 les enjeux du radon et les leviers d'action aux élus de la Communauté de communes Saint-Cyr Mère Bother (CCSCMB), à laquelle appartient Tramayes.

1. Agence nationale d'amélioration de l'habitat
2. Agence régionale de santé
3. Centre d'études sur l'installation de la protection dans le domaine nucléaire
4. Direction départementale des territoires de Saône et Loire
5. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire



#### UNE DÉMARCHE INNOVANTE

Tramayes est une commune rurale d'un millier d'habitants, Territoire à énergie positive (TEPOS), qui porte à depuis 2018 un **projet de rénovation globale** d'une ancienne gendarmerie communale en bâtiment d'habitation collectif, rénovation qu'elle souhaitait exemplaire sur les plans environnemental et énergétique.

Concernant le risque radon, le projet est innovant à deux titres :  
• le type de bâtiment: la prise en compte du radon dans l'habitat collectif dépasse non seulement le cadre des obligations réglementaires mais également celui du PRSE 3, qui s'intéresse

#### UNE MÉTHODOLOGIE SPÉCIFIQUE CONÇUE PAR LE CEREMA

Le risque radon dépend des actions menées depuis la conception d'un bâtiment jusqu'à son usage final, en passant par le soin apporté à sa construction. Les coûts de remédiation a posteriori sont souvent plus élevés que les actions préventives.

En conséquence, le Cerema a conçu un accompagnement en quatre volets :  
• assistance à maîtrise d'ouvrage, intégrant une contribution au Cahier des charges techniques particulières (CCTP) et un suivi du chantier, afin de s'assurer

- suivi métrologique spécifique, reposant sur deux modes de mesures complémentaires: les mesures intégrées et les mesures dynamiques (voir encadré);
- vérification en fin de chantier des systèmes de ventilation à réception;

La mesure intégrée s'effectue pièce par pièce, sur une durée de deux mois en période de chauffe, pour avoir des valeurs comparables aux seuils. En effet, période de chauffe, le tirage thermique favorise la pénétration du radon dans le bâtiment et les fenêtres sont moins souvent

#### DES RÉSULTATS SATISFAISANTS, MAIS PERFECTIBLES

##### 1 Des préconisations adaptées au risque

La première campagne de mesures intégrées, conduite avant travaux, a permis d'établir l'existence d'un **potentiel dépassement des seuils après travaux élevés**. En effet le radon était déjà bien présent avant travaux, et ce alors que le bâtiment n'était ni hors d'air ni chauffé.

Le diagnostic initial a conduit à inscrire dans le CCTP des préconisations adaptées, s'appuyant sur deux leviers principaux :

- la lutte au plus près de la source, avec la mise en place

##### 2 Une sensibilisation difficile des artisans

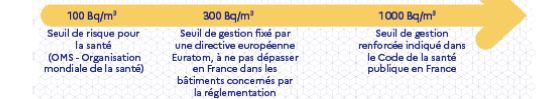
Si les chefs d'entreprises ont été sensibilisés en amont, l'information n'est pas allée jusqu'à leurs ouvriers, témoignant d'un manque de prise en compte du risque radon. Les mesures dynamiques sur chantier ont permis de corriger cette situation en montrant aux ouvriers la présence du radon.

##### 3 Des défauts de mise en œuvre à l'origine de non-conformités

#### Diagnostic des systèmes de ventilation

Un diagnostic du système de ventilation, avec mesure aux bouches des débits/pression permettant d'établir un bilan quantitatif des flux d'air était prévu à réception du bâtiment. Avant occupation des locaux, le système n'étant pas raccordé à l'électricité, seuls des éléments qualitatifs ont pu être examinés. Dès avril 2021, il a ainsi été signalé différentes non-conformités :

- extractions hygro-régulables et non auto-régulables mises en place au rez-de-chaussée contrairement aux indications du CCTP, générant effectivement une mise en dépression du bâtiment et un renouvellement insuffisant;



#### BILAN ET RETOUR D'EXPÉRIENCE

##### Intérêts et limites des solutions expérimentées

L'accompagnement mené sur l'ensemble du projet a permis de maîtriser la problématique du radon, en obtenant des résultats finaux en-dessous du seuil de 300 Bq/m³. Le suivi réalisé sur ce projet a permis d'identifier des points de vigilance qui constitueront

Ce chantier d'inscrit dans un processus de montée en compétence du territoire et des territoires voisins. Cet exemple concret de prise en compte du radon dans des travaux de rénovation énergétique a été valorisé auprès d'acteurs-clés: élus et techniciens des collectivités, professionnels du bâtiment notamment lors du forum de la rénovation énergétique de Cluny (en 2021), et jusqu'au grand public à travers la presse.

Il a également fait l'objet de plusieurs communications à l'échelle nationale, avec notamment la remise d'un prix « Ma Ville, mon artisan » par la chambre des métiers et de l'Artisanat (2022), le congrès de la société française de radioprotection (2021) et une présentation lors du comité de suivi du plan national action radon (2022).

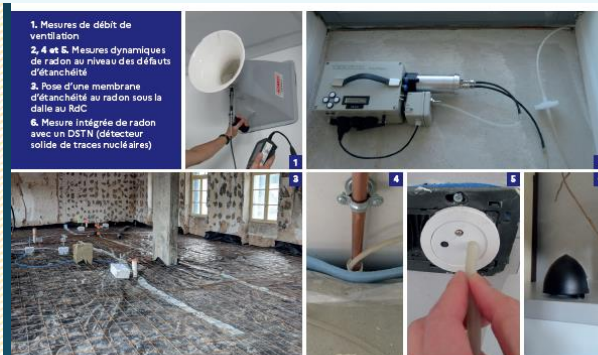
- de les corriger le cas échéant (approche itérative);
- ces mesures facilitent par ailleurs la sensibilisation des artisans sur le phénomène.

#### Vos contacts

Cerema Agence d'Autun  
Ambre Marchand-Moury - 03 85 86 67 93  
ambre.marchand-moury@cerema.fr  
Florent Boithias - 03 85 86 67 11  
florent.boithias@cerema.fr

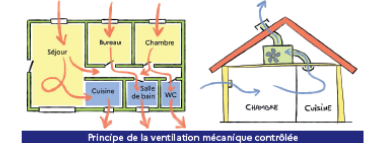
www.cerema.fr

#### PARTENAIRES



Une VMC autorégulable apporte des débits suffisants et évite la mise en dépression du bâtiment, qui favoriserait la pénétration du radon. Finalement, pour tenir compte des impacts sur la performance énergétique, une VMC autorégulable a été préconisée au rez-de-chaussée, où le risque était plus fort, et une hygro-régulable dans les étages supérieurs.

En revanche, certaines non-conformités n'ont pas pu être corrigées. Par exemple, la membrane d'étanchéité du radon a été posée avant destruction du mur de refend et ne recouvrait donc pas la surface qu'il occupait, créant une entrée de radon.



#### 4 Mesures en occupation après rénovation

La dernière campagne de mesure radon est menée dans les conditions normales d'occupation, durant la saison de chauffe 2021-2022 (du 5 octobre au 14 décembre 2021). Les résultats sont tous inférieurs à l'objectif de 300 Bq/m³, 50% sont même au seuil de 100 Bq/m³ proposé par l'OMS. L'activité volumique décroît lorsqu'on s'élève dans les étages puisqu'elle est divisée par 3 entre le RdC et le deuxième étage.

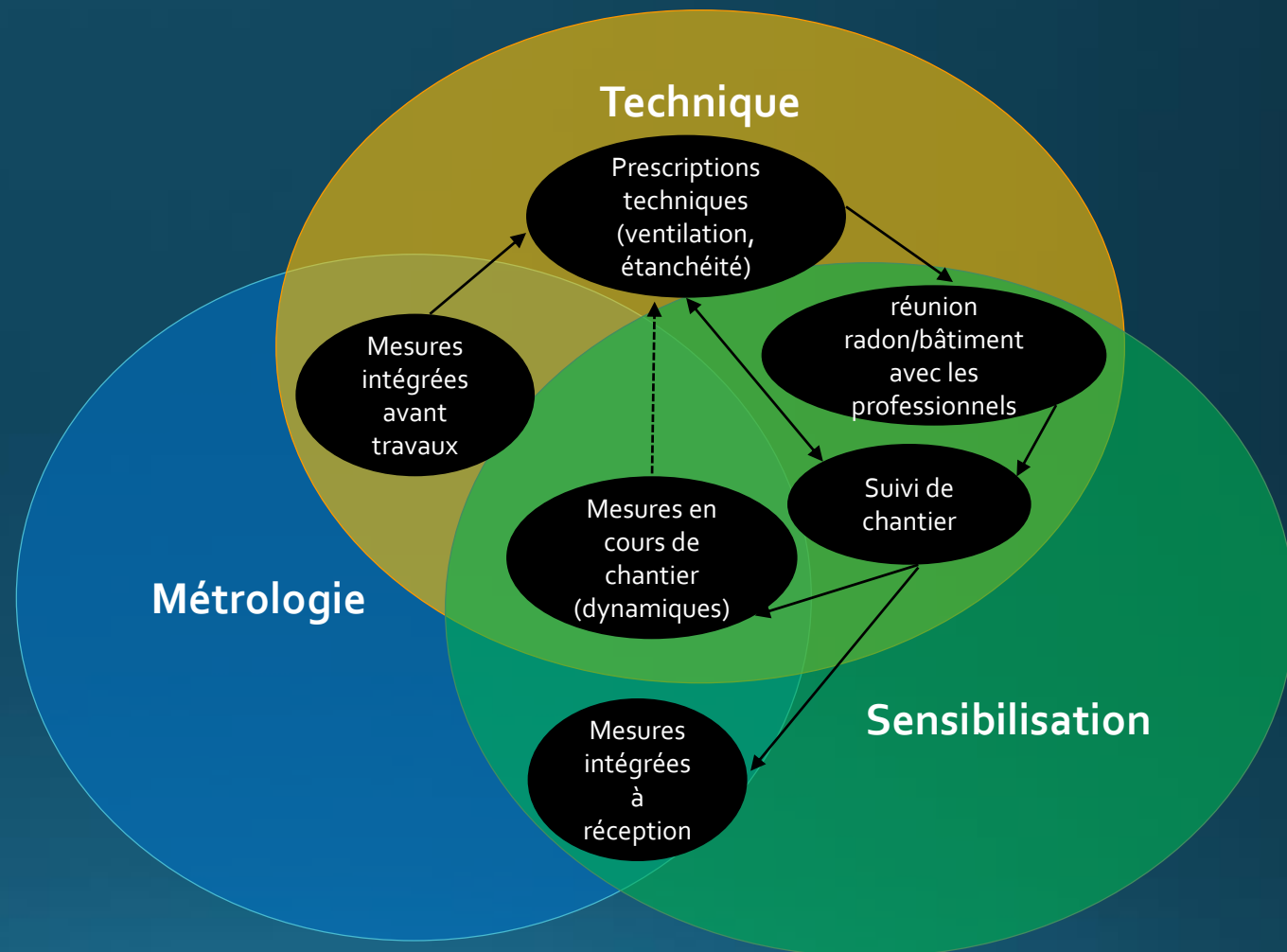
NB: Les occupants déclarent avoir très chaud dans les appartements, ce qui les conduit à laisser les fenêtres ouvertes régulièrement.



# UN ACCOMPAGNEMENT SUR L'ENSEMBLE DES PHASES

Les points critiques identifiés dans la gestion du radon:

- Les mesures finales résultent d'actions menées à chaque étape de la vie du bâtiment (conception, chantier, occupation), par des acteurs qui n'ont pas connaissance de ce risque
- Le radon est imperceptible (difficulté pour proportionner les solutions de prévention au risque initial + difficulté lors des travaux pour identifier les impacts de son action sur ce risque)
- Les ventilations font souvent l'objet de non-conformités dès leur mise en oeuvre.



# TRAVAUX ET SUIVI DE CHANTIER (1/2)

- Intervention de sensibilisation des parties prenantes
- Prescriptions dans le CCTP:
  - Pose d'une membrane pare-radon sur l'ensemble du RdC,
  - Système de ventilation simple flux auto-réglable, a minima au RdC
- Suivi de chantier avec mesures ponctuelles dynamiques de radon (au radon mapper, sur 10 minutes)



Mesure dynamique avec le Radon mapper - Cerema

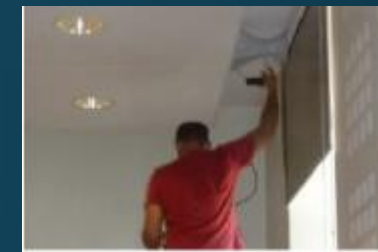


Source photos: Mr Maya, Source montage: CEPN



# TRAVAUX ET SUIVI DE CHANTIER (2/2)

- Audit des systèmes de ventilation:
  - 26/04/21: visuel et qualitatif (système non finalisé et hors fonctionnement)
  - 21/06/21: diagnostic ventilation avec mesures aux bouches dans les logements occupés.



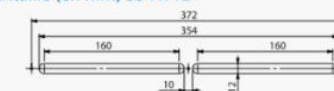
Mesures de ventilation

- Des dysfonctionnements malgré les recommandations rédigées le 26/04, en particulier:

- 87% des entrées d'air sont non-conformes (mortaises sous dimensionnées, voire absentes, etc)
- Absence de détalonnage des portes intérieures quasi-systématique
- des mesures en dehors de la plage de pression prescrite pour les bouches d'extraction hygro, quelques poses non conformes qui ne permettent pas la mesure
- Des terminaux hygroréglables posés au RdC contrairement aux prescriptions du CCTP

**Un bilan aéraulique en faveur de la dépression...**

• Entaille (en mm) 354 x 12



Détail de la notice Anjos-ventilation pour le dimensionnement des entailles des entrées d'air



Photo de l'entaille réalisée dans la menuiserie en nombre insuffisant et sous-dimensionnée

# MESURES EN COURS DE CHANTIER

Source: CEPN

Le rez-de-chaussée :

● ~ 100 Bq.m<sup>-3</sup> ● [100 - 500] Bq.m<sup>-3</sup> ● > 500 Bq.m<sup>-3</sup> (max : 3 618 Bq.m<sup>-3</sup>)  
 ■ membrane ○ visite du 24/02



Résultats des mesures ponctuelles de radon, 24/02

Source: CEPN

Le rez-de-chaussée (épisode 3, après travaux colmatage/ré-agrèage) :

● ~ 100 Bq.m<sup>-3</sup> ● [100 - 500] Bq.m<sup>-3</sup> ● > 500 Bq.m<sup>-3</sup> (max : 639 Bq.m<sup>-3</sup>)  
 ○ visite du 26/04



Résultats des mesures ponctuelles de radon, 26/04

Enseignements:

- Des flux de radon importants au niveau des défauts d'étanchéité (notamment au droit des murs porteurs)



Source: Cerema

-> traités efficacement par le réagréage (étanchéification des passages de plomberie/électricité)

- Le radon remonte jusqu'aux niveaux supérieurs à travers les murs en pierre

Et les niveaux supérieurs :

● [100 - 500] Bq.m<sup>-3</sup> ● > 500 Bq.m<sup>-3</sup> (max : 1 290 Bq.m<sup>-3</sup>)



Résultats des mesures ponctuelles de radon, 24/03

Source: CEPN

Et les niveaux supérieurs (après travaux colmatage/ré-agrèage) :

● ~ 100 Bq.m<sup>-3</sup> ● [100 - 500] Bq.m<sup>-3</sup> ● > 500 Bq.m<sup>-3</sup> (max : 1 669 Bq.m<sup>-3</sup>)  
 ○ visite du 26/04



Résultats des mesures ponctuelles de radon, 26/04

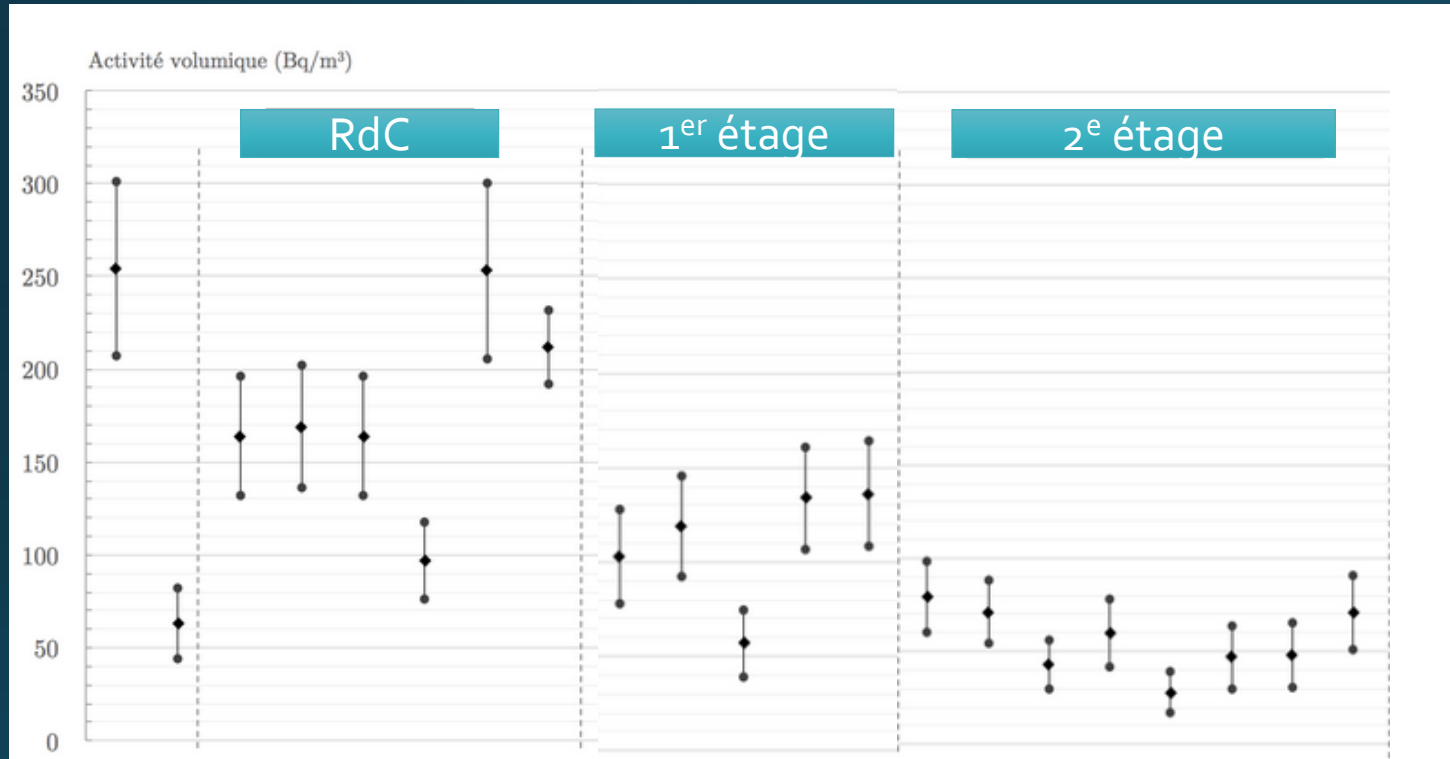
Source: CEPN



# Résultats Clos des Carillons

# MESURES EN CONDITION D'OCCUPATION

## 2<sup>ème</sup> campagne de dépistage: hiver 2021-2022



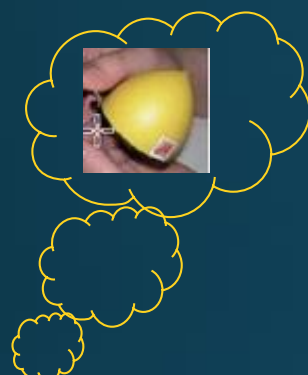
Source: CEPN

- 2 DSTN posés par logement
  - Bâtiment occupé, et instrumentés durant la saison de chauffe : résultats comparables aux valeurs de référence
- NB: les occupants déclarent avoir très chaud et laisser les fenêtres ouvertes régulièrement
- Résultats:
    - Tous < 300 Bq/m³
    - 50% < 100 Bq/m³
    - Décroissent avec la montée dans les étages



# Et ensuite...

# RAPPEL INTERACTION RADON / BATIMENT



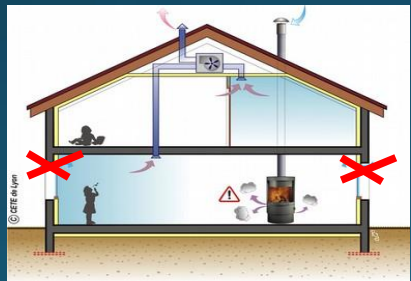
300  
Bq/m<sup>3</sup>

Radon

Défaut d'étanchéité

Bâtiment

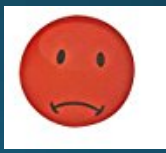
Dépression



Évacuation

Défaut RA

Accumulation

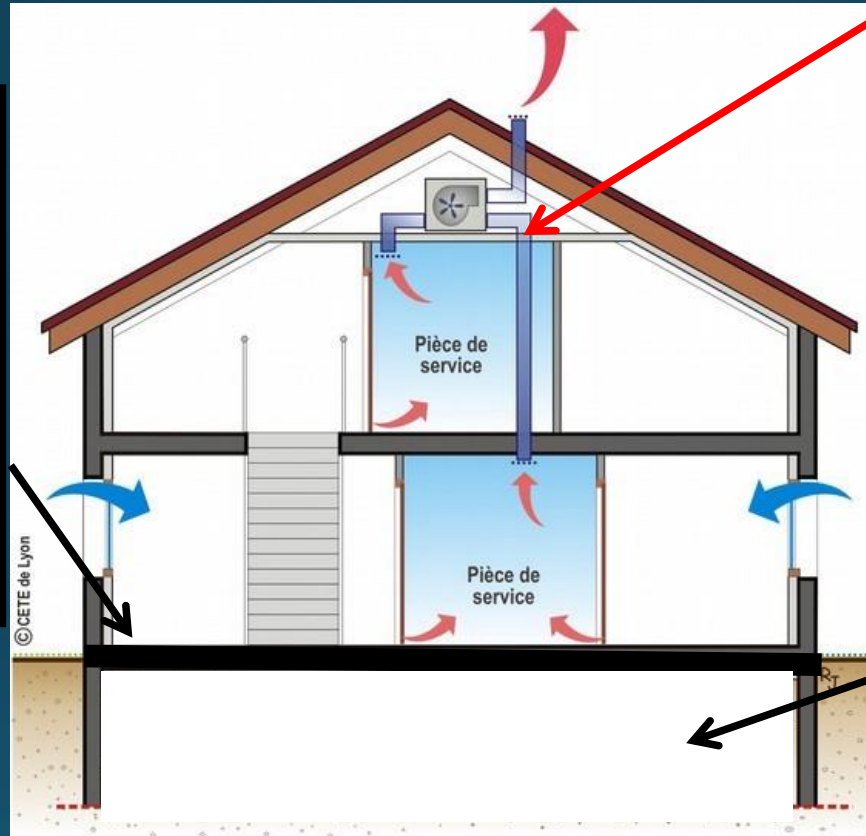




## 3 FAMILLES DE PRÉCONISATIONS

# Étancher l'interface entre le sol et le bâti

*But :  
empêcher  
l'entrée  
du radon*



*Buts :*  
*Améliorer la dilution*  
*Diminuer la dépression*

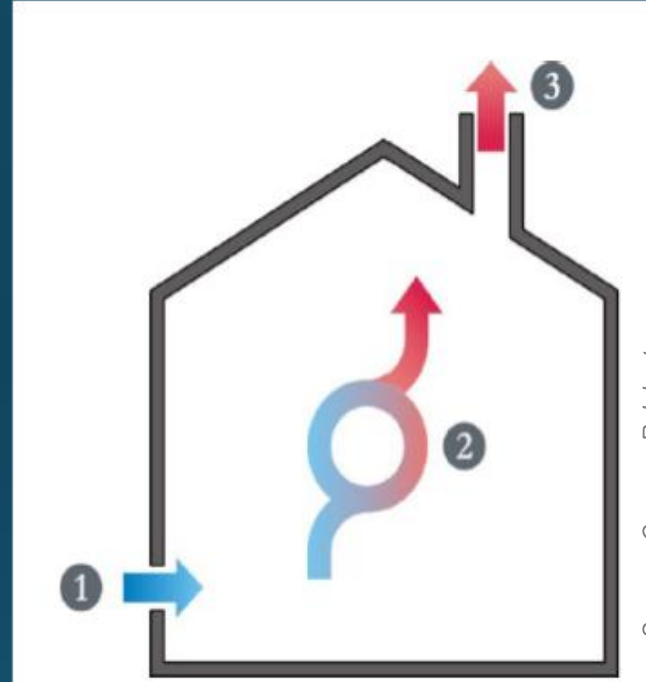
# Traiter le soubassement

*But : extraire et diluer le radon*

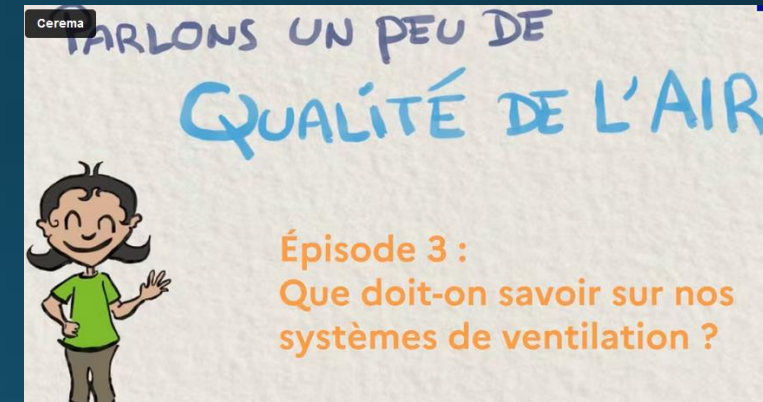
# LA VENTILATION – UN SYSTÈME À CONNAÎTRE...

**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



Pour aller plus loin :



La ventilation doit assurer un « balayage général et permanent » : le flux d'air doit pouvoir circuler depuis les entrées d'air vers l'extraction sans obstacle.



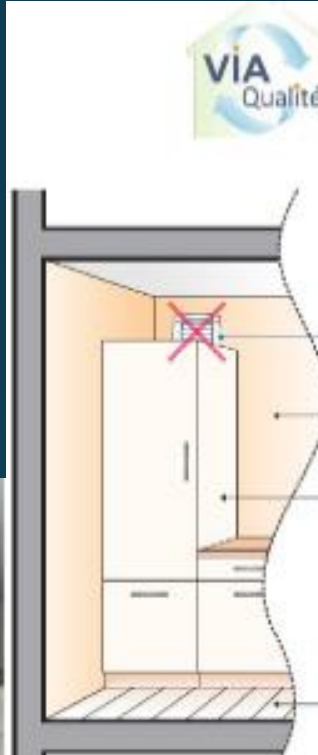
# ...ET À ENTREtenir

- **Nettoyage / dépoussiérage:**

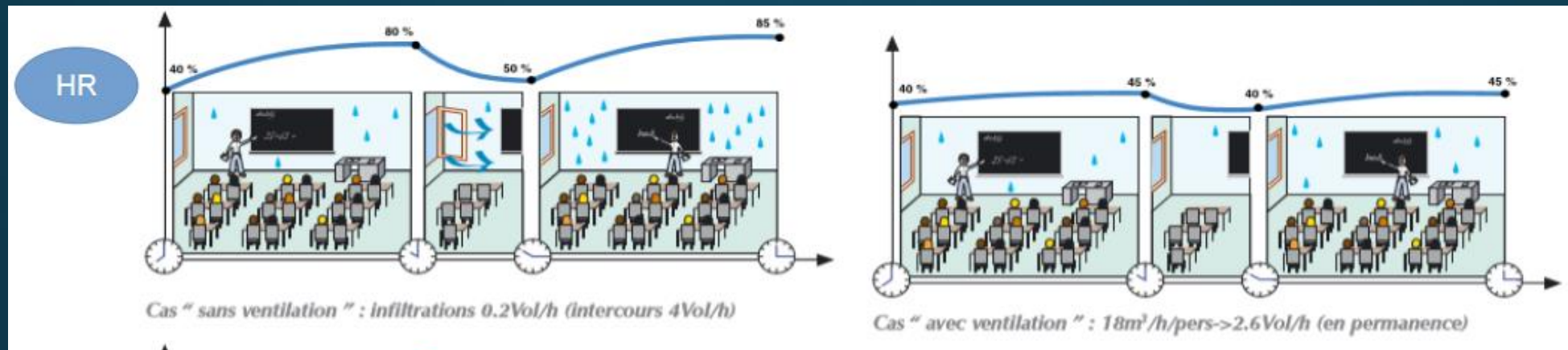
- **Entrées d'air:** tous les 3/6 mois
- **Bouches d'extraction:** tous les 3/6mois
- > modules d'entrée d'air et bouches d'extraction peuvent être démontées pour faciliter le lavage

- **Vigilances**

- Lors d'éventuelle réfection des revêtements de sol, préserver le **détalonnage** des portes intérieures (espace de 1cm)
- **Ne jamais boucher les entrées d'air:** cela entrave le fonctionnement du système de ventilation et met le bâtiment en **dépression**, ce qui va **accentuer l'entrée de radon**.
- Ne jamais éteindre le système, même lorsque le logement est inoccupé.



# COMPLÉMENTARITÉ AÉRATION / VENTILATION



- La **ventilation** permet d'assurer un renouvellement d'air maîtrisé, en continu.
- L'**aération** permet d'avoir un renouvellement d'air important sur un temps court, elle est particulièrement utile lors d'activités polluantes.



**13<sup>ème</sup> CONGRÈS NATIONAL DE RADIOPROTECTION**  
**Du 14 au 18 juin 2021**

**Développement de la prise en compte du risque radon dans le cadre des travaux de rénovation énergétique – Application par un territoire sur un chantier-école**

**Sylvain Andresz<sup>1</sup>, Ambre Errard<sup>2</sup>, Michel Maya<sup>3</sup> et Carine Vrel<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> [sylvain.andresz@cepn.asso.fr](mailto:sylvain.andresz@cepn.asso.fr),

Centre d'étude sur l'Évaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire,



# TRAMAYES – Ancienne gendarmerie

