

# Protection des bâtiments Existants vis-à-vis du risque radon

Bernard Collignan - [bernard.collignan@cstb.fr](mailto:bernard.collignan@cstb.fr)

Monétier-les-Bains, C.A.U.E. 05, 5 avril 2023



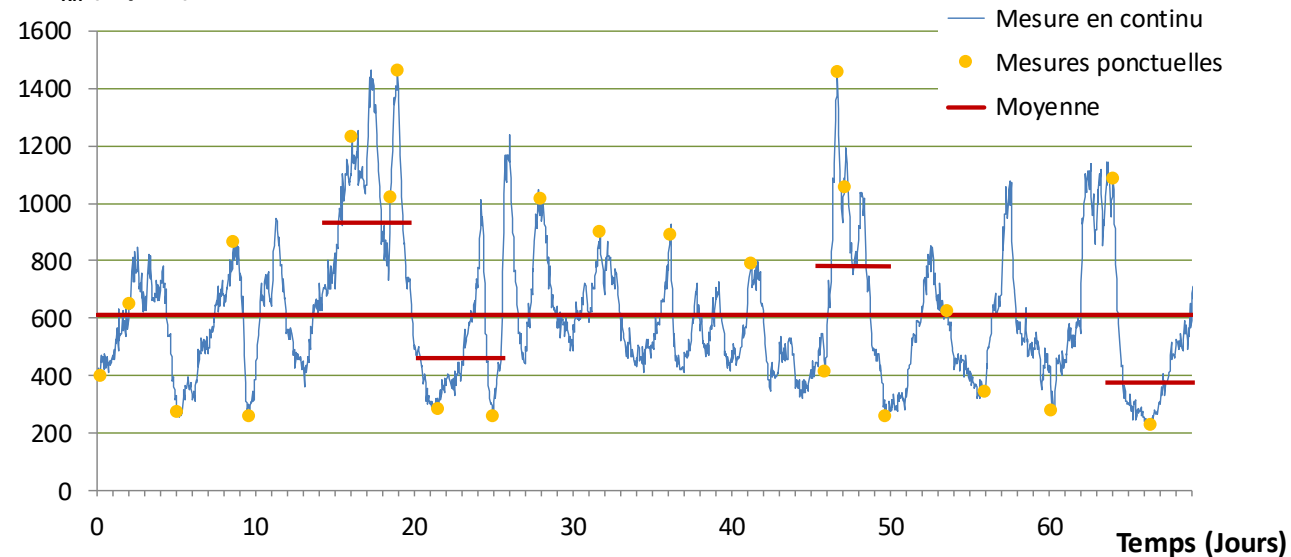
## Sommaire

- Approche technique pour la définition de mesures correctives
- Exemples d'actions correctives
- Efficacité et coûts

## Concentration intérieure de radon résulte de nombreux paramètres:

- Potentiel au sol (nature, perméabilité)
- Caractéristiques du bâtiment (géométrie, fondation, systèmes, ...)
- Conditions météorologiques (température, vent)
- Comportement des occupants

→ variable au fil du temps  $C_{Rn}$  (Bq/m<sup>3</sup>)



Évaluation du risque fondée sur la concentration moyenne annuelle dans l'air intérieur

→ Difficultés à comparer une mesure donnée à une valeur moyenne annuelle

## NF ISO 11665-8 Janvier 2013

Mesurage de la radioactivité dans l'environnement - Air: radon 222 - Partie 8:  
Méthodologies pour les investigations initiales et complémentaires dans les bâtiments

### Objectifs :

- Spécifie les exigences pour la détermination de la concentration d'activité du radon dans tous les types de bâtiments.
- Décrit les méthodes de mesure utilisées pour évaluer la concentration moyenne annuelle de radon à l'intérieur des locaux - **dépistage**.
- Décrit les méthodes de mesure nécessaires pour identifier les sources, les voies d'entrée et de transfert du radon dans le bâtiment  
**investigations ou mesures supplémentaires**
- Décrit les exigences applicables aux tests immédiats d'atténuation

## Disparité de situations

### Moyens à mettre en œuvre à considérer en fonction :

- Du niveau des mesures de dépistage (NF ISO 11665-8 ex NF M 60-771)
- Des caractéristiques du bâtiment considéré

- **solutions définies au cas par cas, parfois mises en œuvre de façon itératives**
- **Combinaison appropriée :**
  - étanchement (préalable nécessaire),
  - Ventilation du bâtiment,
  - traitement des soubassements (par ventilation ou SDS)

→ **Diagnostic technique (ou expertise) du bâtiment (NF X 46-040)**

- Video : <https://vimeo.com/506044940/46a57a12a8>

## NF X 46-040 (en cours de révision)

### Référentiel de diagnostic technique vis-à-vis de la présence de radon dans un bâtiment - mission et méthodologie

#### Objectifs

- Identifier les causes de la présence de radon
- Donner les éléments nécessaires au choix de solutions adaptées

#### →Collecte d'information et visite sur site

Peut être complété par :

- Mesures de radon complémentaires (NF ISO 11665-8 ex NF M 60-771),
- Mesures de ventilation

## Méthode:

### Identification et analyse qualitative du bâtiment :

- Informations préalables à la visite (plans, coupes, croquis, descriptions rénovations ...)
- Niveau d'activité volumique du radon (rapports de dépistage ou autre)
- Conditions climatiques (type de climat, exposition au vent)
- Géologie (Nature du sol sous-jacent et adjacent au bâtiment)
- Historique de l'immeuble bâti et de son environnement (historique du site : anciennes constructions, aménagements ou activités ; réhabilitations, rénovations, extensions)
- Type et disposition du bâtiment (**type de bâtiment** : année de construction, usage du bâtiment, bâtiment isolé ou mitoyen ; **mode constructif** : structure du bâtiment, matériaux et produits constitutifs, type de soubassement ; **nature des composants de l'enveloppe** : murs extérieurs, baies, toitures ; **disposition du bâtiment** : nombre de niveau, agencement et utilisation des différentes pièces, présence de cave).
- Équipements (système de ventilation, de chauffage, appareil à combustion à foyer ouvert, système de drainage, puits canadien ou provençal, conduits de ventilation ou autres désaffectés ...)
- Voiries et Réseaux Divers (V.R.D.) : électricité, arrivée et évacuation d'eau, gaz, fioul, ...
- Conditions particulières (exploitation particulière et/ou pathologie identifiée, contraintes d'hygiène et de sécurité, comportement de l'occupant, ...)

## Exemple d'observation de terrain



Fissures sous la moquette,  
vraisemblablement liées au fonctionnement d'un système de chauffage par le sol

Ancien système de chauffage, "presque oublié"

Initialement non identifié

Rappel à l'occasion d'une discussion sur le bâtiment et son système de chauffage.



## Exemple d'observation de terrain



Séjour au dessus d'une cave. Dalle béton avec plancher bois dessus  
Conduit de cheminée retiré à l'occasion d'une rénovation



Départ de l'ancien conduit dans la cave

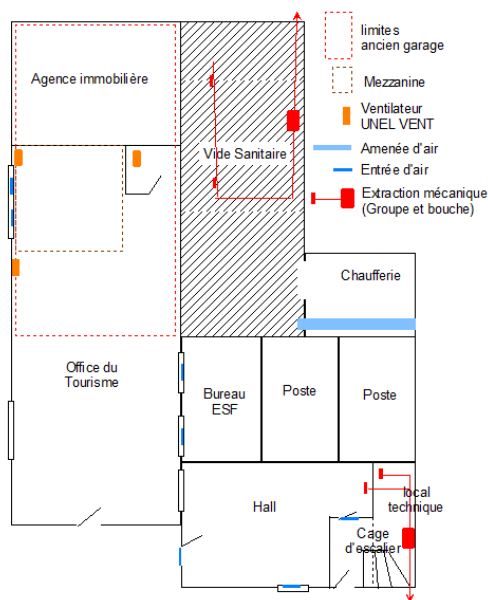


Vue intérieure du boisseau :  
Traversée de la dalle connectée à la lame d'air sous le plancher bois

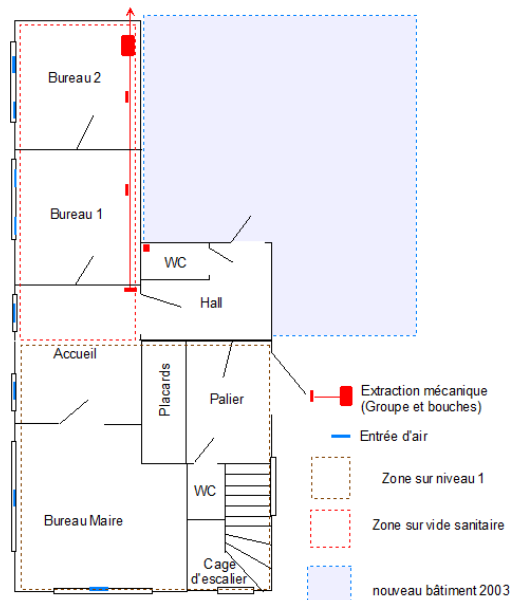
## Exemple d'observation de terrain



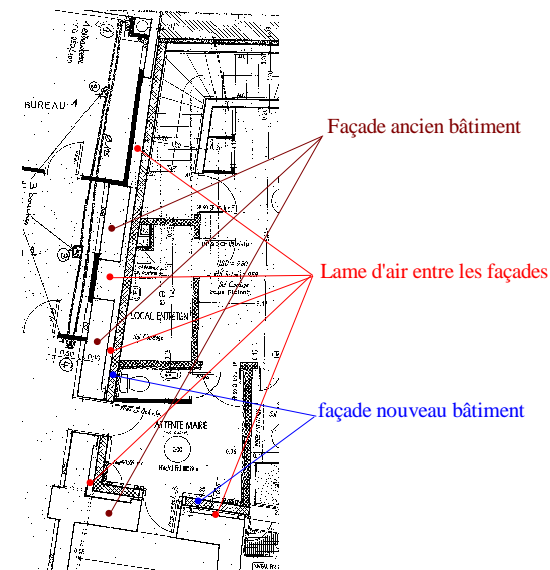
Rubans adhésifs  
sur fissures



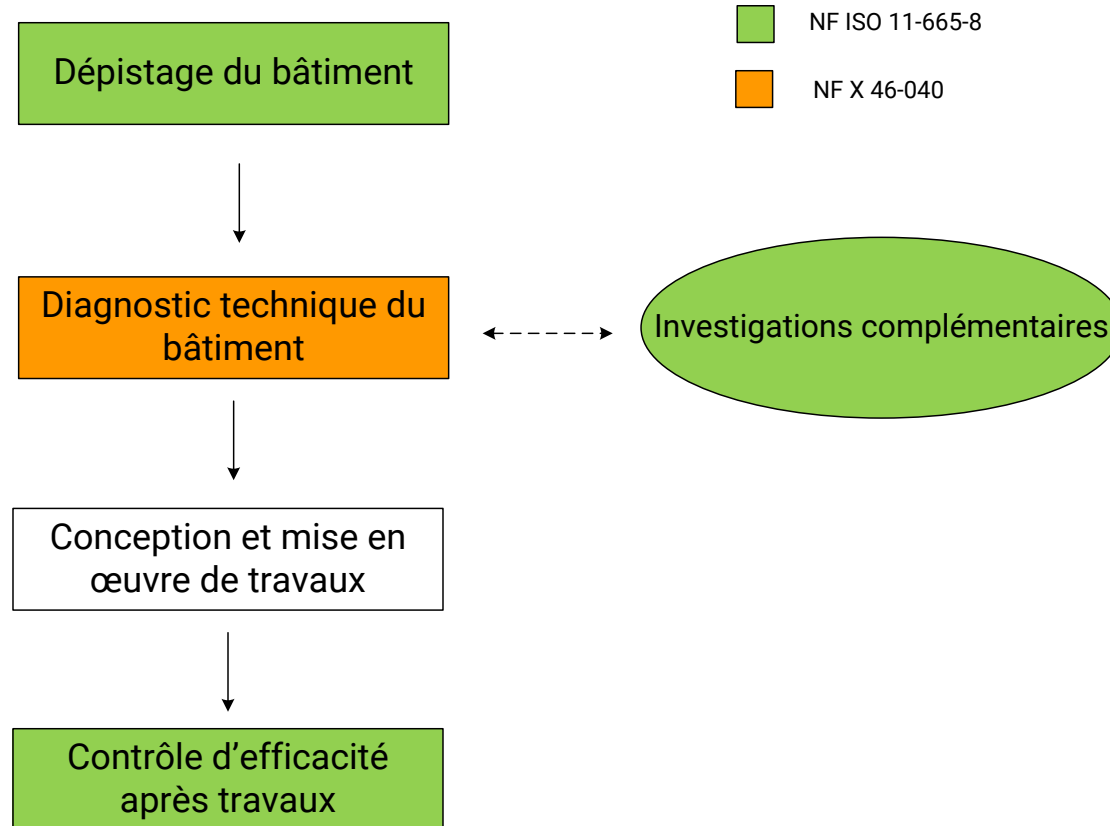
Niveau 1 (rez-de-chaussée)



Niveau 2 (1<sup>er</sup> étage)



Lame d'air entre les deux  
façades



## Bâtiment

Ecole, 1930, en béton, sur trois niveaux

Rez-de-chaussée semi enterré. Plancher bas en béton

Surface au sol d'environ 750 m<sup>2</sup>.

Pas de système de ventilation spécifique



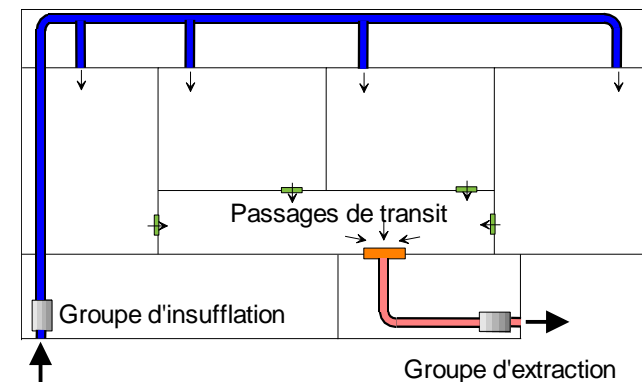
## Actions correctives

- Etanchement de points singuliers
- Mise en place d'un système de ventilation double flux

## mesure de contrôle

| Mesure de dépistage<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) | Mesure de contrôle<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) | Efficacité de<br>réduction (%) |
|---|--|--------------------------------|
| 2 385                                       | 286  | 88                             |

**coût : environ 49 000 €**



# 1<sup>er</sup> exemple d'action corrective (Ventilation du bâtiment)

## Mise en évidence du besoin de maintenance

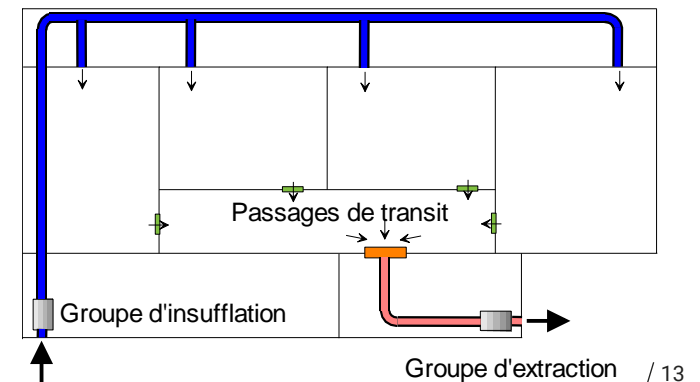
Contrôle de la mesure après deux ans : niveaux élevés

Contrôle du système:

Filtre du ventilateur d'alimentation complètement bouché

Raison:

Chantier à proximité du bâtiment générant beaucoup de poussière à proximité de l'entrée d'air du groupe d'insufflation



## Contexte :

Propriétaire : commune

Locataire : association, centre d'activité pour les enfants,  
utilisé en été et en hiver

Dépistage du radon :

- 1<sup>er</sup> (entre le 08.11.2001 et le 27.02.2002)

|                           | Dépistage<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------|-----------------------------------|
| <b>Salle de jeu (RdC)</b> | <b>970</b>                        |

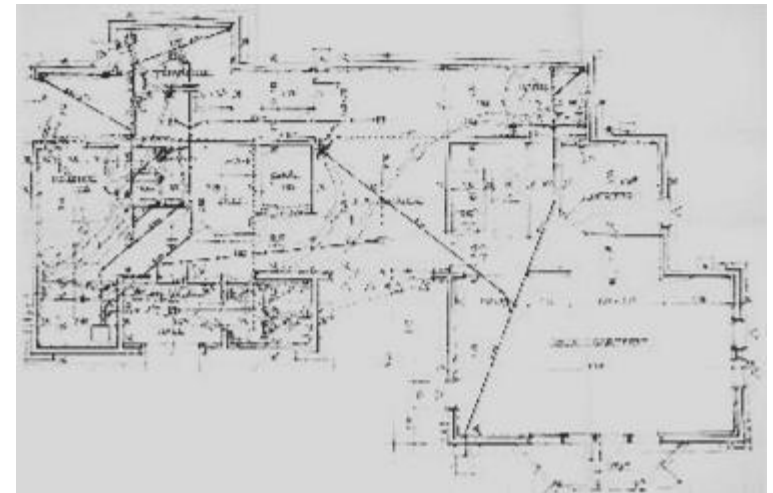
- 2<sup>nd</sup> (entre le 20.01.2012 et le 26.03.2012)

|                           | Dépistage<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------|-----------------------------------|
| <b>Cantine (RdC)</b>      | <b>2 073</b>                      |
| <b>Salle de jeu (RdC)</b> | <b>2 677</b>                      |



## Bâtiment:

- Environnement de montagne, env. 1 800 m
- Trois niveaux, 1992, Béton.
- 200 m<sup>2</sup> au sol
- Deux cages d'escalier et un ascenseur.
- RdC semi-enterré
- Dallage indépendant sur terre-plein avec pièce technique sous dallage connectée à la cage d'ascenseur
- Réseaux de drainage d'eaux usées dans toutes les pièces





## Bâtiment :



## Systèmes de ventilation :

- Principe de balayage avec système de ventilation mécanique par extraction, (Bouches d'extraction mécanique dans les pièces techniques, entrées d'air naturelles dans les pièces de vie)
- Système d'extraction mécanique additionnel dans la cuisine
- Hotte dans la cuisine

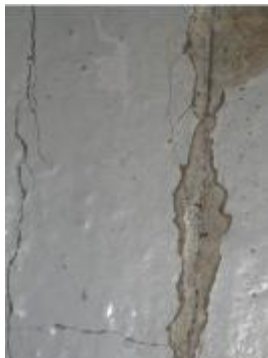
## Systèmes de chauffage :

Chauffage électrique par le sol au RdC associé à des convecteurs électriques



## Diagnostic technique :

- Soubassement complexe et perméable (système de drainage, ascenseur, fissures, différents réseaux, ... → favorise l'entrée du radon du sol



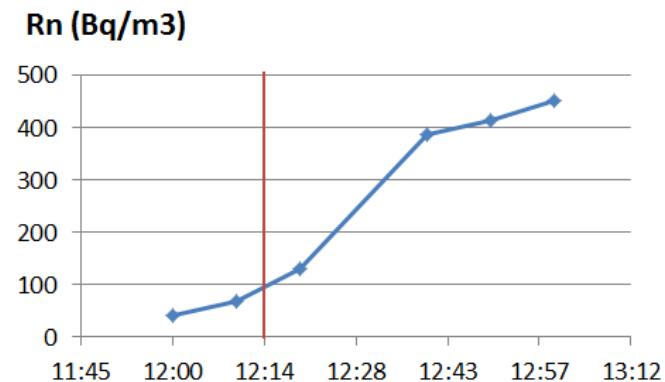
- Bon dimensionnement du système de ventilation de base
- Systèmes d'extraction mécanique additionnels en cuisine → favorisent la dépression du bâtiment et l'entrée du radon du sol

## Analyse / variation de mesures de dépistage entre les deux campagnes

2002 (autour de 900 Bq/m<sup>3</sup>) et 2012 (autour de 2 000 Bq/m<sup>3</sup>)

Le propriétaire a constaté l'arrêt du moteur de ventilation de base et l'obturation des entrées d'air à la fin de l'hiver 2012 : faible ventilation a priori

En association, l'utilisation potentielle des moteurs additionnels en cuisine peut exacerber l'entrée du radon



Impact qualitatif du fonctionnement de la hotte de cuisine

Entre 2002 et 2012, détérioration possible du plancher bas due à l'utilisation du chauffage électrique par le sol.

## 1<sup>ères</sup> actions correctives

- Réagréage du plancher bas, obturation des drainages, traitement des fissures et des points singuliers, étanchement de surface et des plinthes



- Remise à niveau du système de ventilation de base avec définition d'un contrat de maintenance

Mesure de contrôle (2 mois, hiver 2013): ~ 800 Bq/m<sup>3</sup>

- Coût total : env 50 k€, Incertitude demeure quant à l'utilisation de la VMC par le locataire

## 2<sup>èmes</sup> actions correctives

- Installation d'une ventilation double flux. Coût supp. : 11 k€

Mesure de contrôle (2 mois, hiver 2014): ~ 350 Bq/m<sup>3</sup>

## Bâtiment

Ecole, 1958 en parpaing et briques sur un niveau, deux classes, un couloir, sanitaires, chaufferie.

Classes : plancher bois sur vide sanitaire (VS) (100 m<sup>2</sup>).

Aération du vide sanitaire : 4 entrées d'air sur le seul côté donnant sur l'extérieur, 8 grilles dans le plancher et donnant dans les classes.

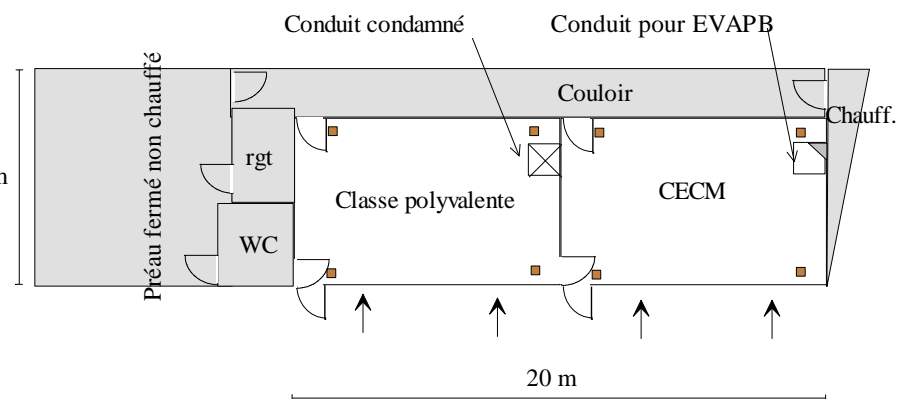
Reste en dallage béton sur terre-plein.



Grille dans le plancher



Entrée d'air dans le VS



- Grille plancher
- ← Entrées d'air VS
- Plancher bois sur VS
- Dallage sur terre plein

## Actions correctives :

- Etanchéements de points singuliers
- Ventilation mécanique par extraction du VS

## mesure de contrôle

| Mesure de dépistage<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) | Mesure de contrôle<br>(Bq/m <sup>3</sup> ) | Efficacité de<br>réduction (%) |
|---|--|--------------------------------|
| 1 397                                       | 437  | 68                             |

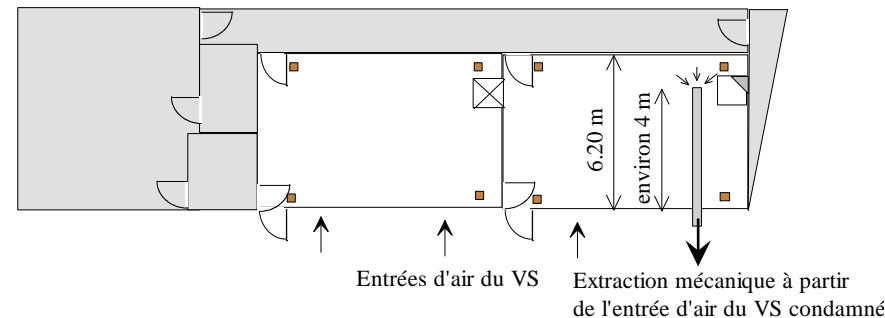
**coût : environ 800 € ttc + main d'œuvre**



Grille obturée



Entrée d'air du VS agrandie



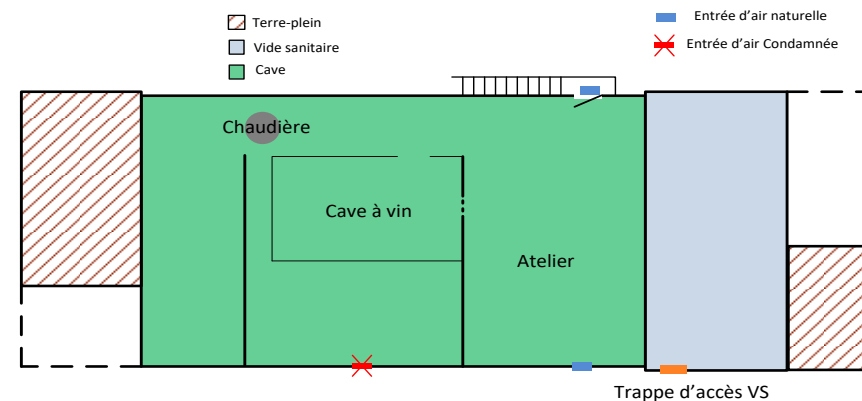
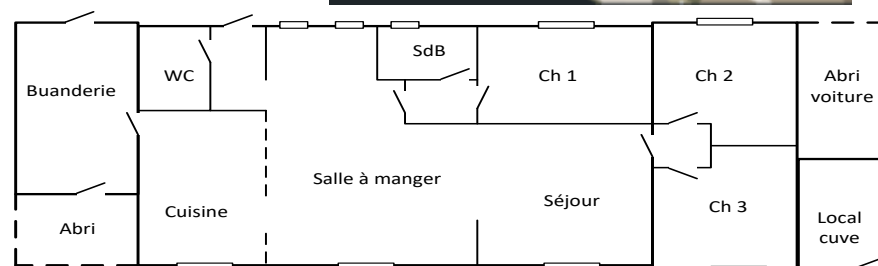
Point d'extraction



ventilateur d'extraction

## Contexte

- Maison individuelle isolée, sur un niveau, 100 m<sup>2</sup> au sol, en parpaing.
  - Partie initiale de 1950, sur cave
  - 1995, modifications et extensions :
    - portes et fenêtres en PVC double vitrage,
    - extensions de chaque côté du bâtiment initial : deux chambres sur un vide sanitaire accessible, un local et un abri voiture sur terre-plein.
    - Isolation extérieure du bâtiment a été réalisée.
    - Système de Ventilation Mécanique Contrôlé (VMC) par extraction
- Dépistage : 1 987 Bq/m<sup>3</sup>.



Trappe d'accès VS

## Diagnostic technique

Nombreux points singuliers non étanches entre cave et volume habité et vide sanitaire et volume habité



Manque d'aération de la cave et du vide sanitaire

Mauvais dimensionnement et défaut de mise en œuvre de la ventilation :

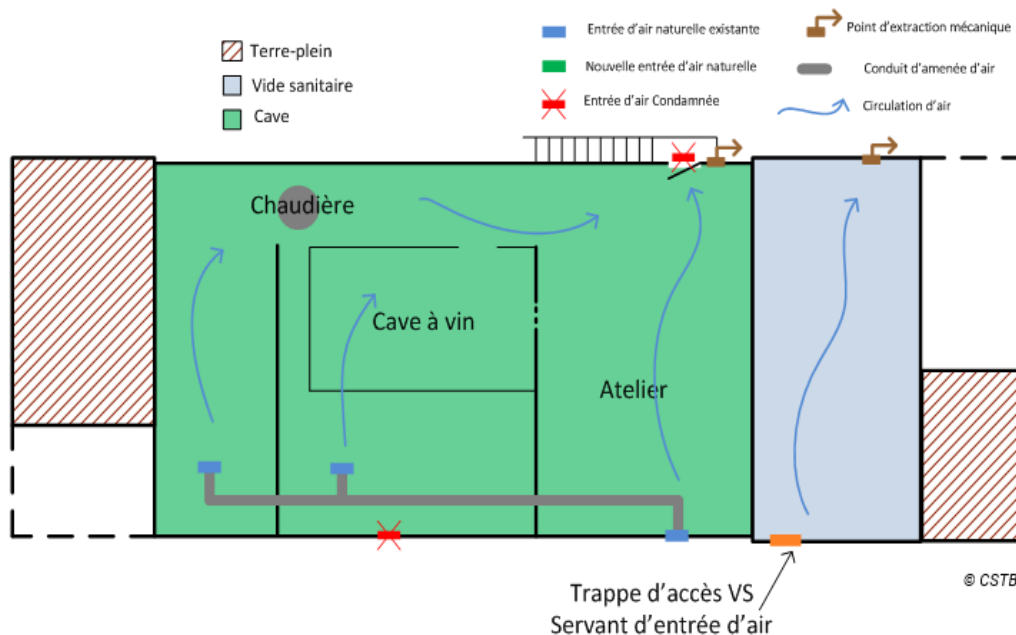
- entrées d'air naturelles insuffisantes,
- détalonnements de portes trop faibles,
- rejet du groupe d'extraction non relié à l'extérieur dans les combles





## Actions correctives

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



Mesure de contrôle : 56 Bq/m<sup>3</sup>.

→ Efficacité : 97 %



## Contexte

Habitat privé (pas de réglementation)

Propriétaire décide de faire un dépistage.

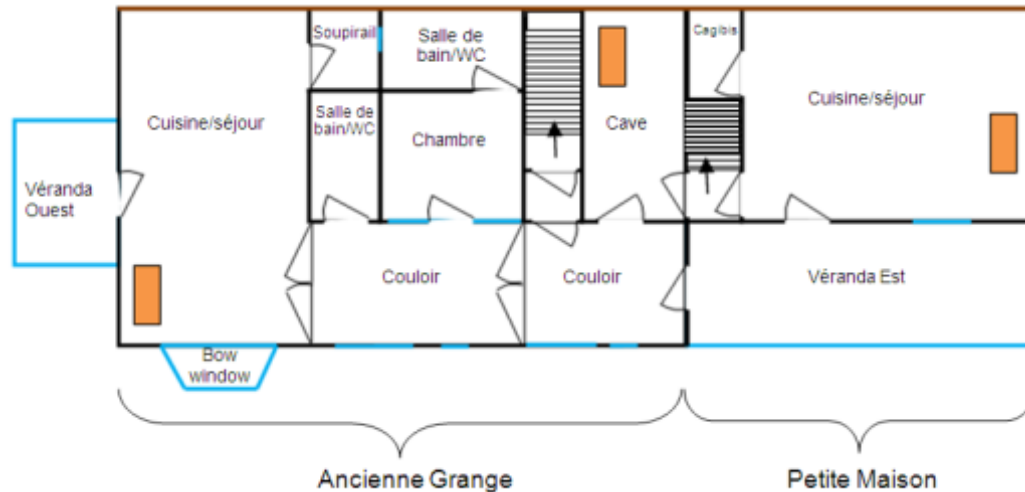
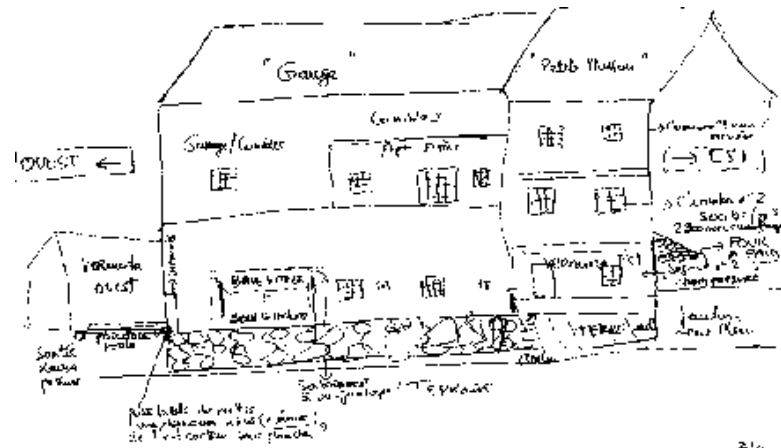
Dosimètres passifs entre le 25 avril 2012 et le 17 sept. 2012  
(env. 5 mois).



|  | Bq/m <sup>3</sup> |
|--|-------------------|
| Cave (RdC, ancienne grange)                    | 6 200             |
| Séjour (RdC, ancienne grange)                  | 7 250             |
| Chambre (RdC, ancienne grange)                 | 5 300             |
| SdB (RdC, ancienne grange)                     | 5 200             |
| Chambre (1 <sup>er</sup> étage, petite maison) | 520               |

- Propriétaire très inquiet
- Difficulté de trouver des compétences professionnelles
- Demande de soutien tout azimut
- Cas intégré dans un cadre expérimental : Soutien technique du CEREMA et du CSTB

## Bâtiment : ancienne grange rénovée



## Description de la partie ancienne grange

Environnement de petite montagne, env. 1 000 m

Deux niveaux

RdC semi enterré

Murs en granit

Plancher bas en dallage sur terre-plein avec plancher bois au dessus

Chauffage central avec chaudière gaz dans la cave

Poêle fonctionnant en continu, associé à une petite entrée d'air.

Pas de système de ventilation, bâtiment relativement étanche à l'air.



Comportement de l'occupant:

Température de confort autour de 24°C,  
faible aération

## Diagnostic technique :

- Plancher bas assez perméable à l'air, défauts d'étanchements ponctuels à l'interface
- Utilisation du poêle à bois, peu d'entrée d'air, forte température intérieure
- Manque de ventilation associée à faible perméabilité du bâtiment

→ favorisent l'entrée et l'accumulation

## Recommandations :

1<sup>ère</sup> approche :

Étanchement de l'interface et amélioration de la ventilation

2<sup>nd</sup> approche :

S.D.S. sous le plancher bas

## Action corrective :

### Installation d'un S.D.S.

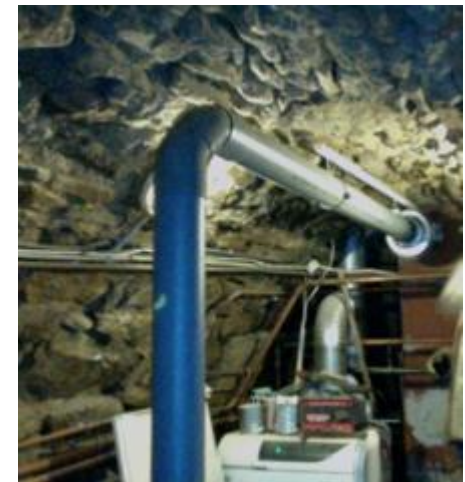
#### 1<sup>er</sup> puisard installé dans la cave



Trou dans le béton



Installation du  
puisard



Connexion avec un  
ventilateur (60 Watts)

Contrôle de l'efficacité avec des mesures en continu :  
Concentration de radon divisée par 2 dans le séjour

## Action corrective (suite) :

Installation d'un deuxième S.D.S.

2<sup>nd</sup> puisard installé dans petite pièce attenante au séjour



Trou dans le béton



Installation du  
puisard

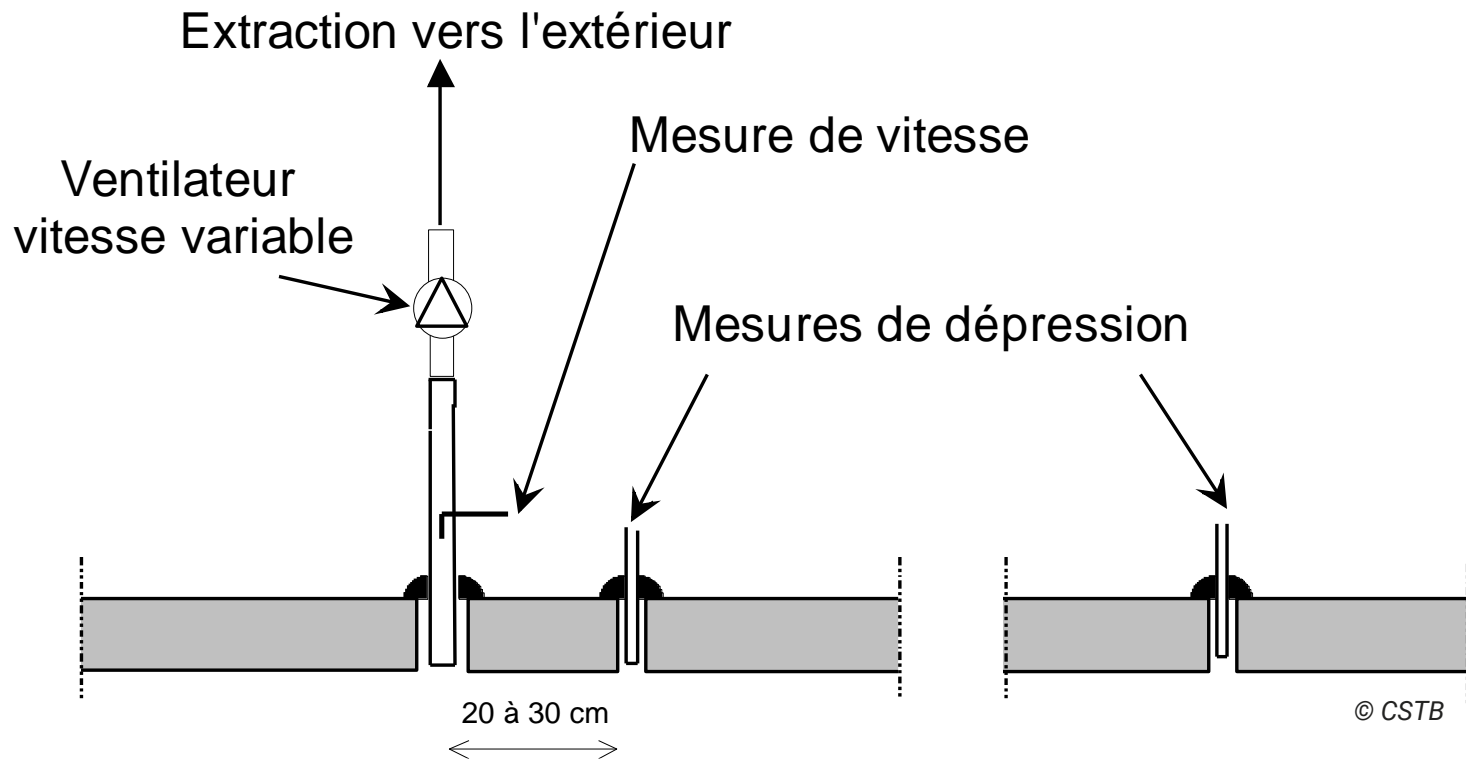


Connexion avec un  
ventilateur (100 Watts)

Contrôle de l'efficacité avec des mesures en continu :  
Concentration de radon divisée par 30 dans le séjour

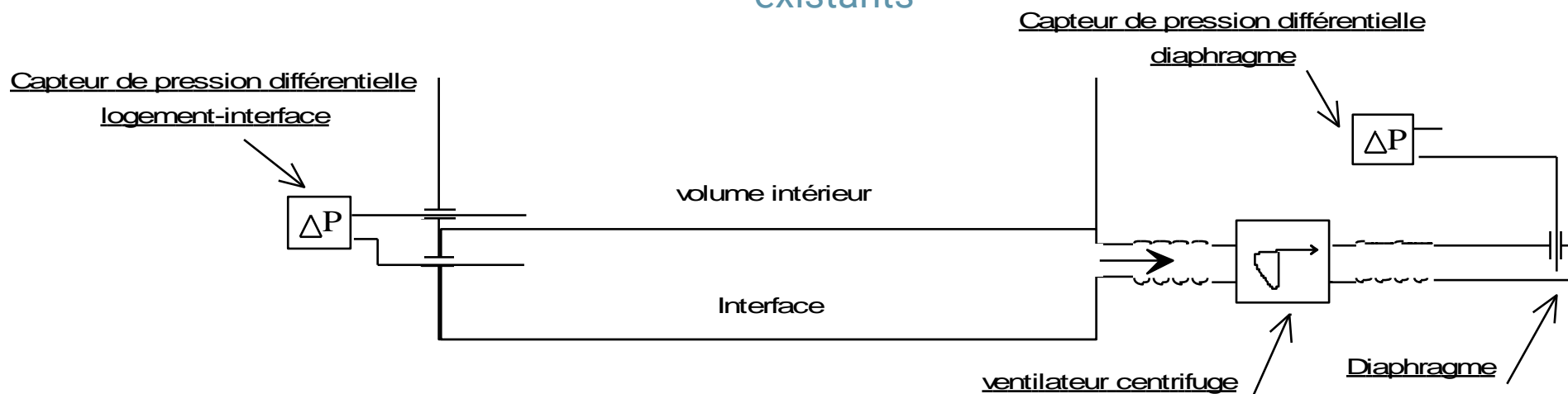
Mesure de contrôle par dosimètre passif (1 mois en avril 2013):  $\sim 70 \text{ Bq/m}^3$

Préalable : étanchement (éventuellement provisoire) de l'interface avec le sol

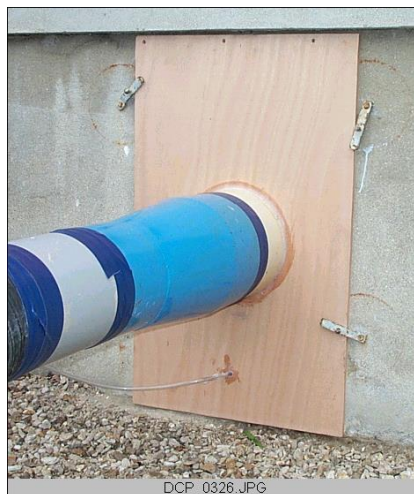




## Etude sur la faisabilité de la mise en dépression de soubassements de bâtiments existants



DCP\_0328.JPG



DCP\_0326.JPG



DCP\_0332.JPG

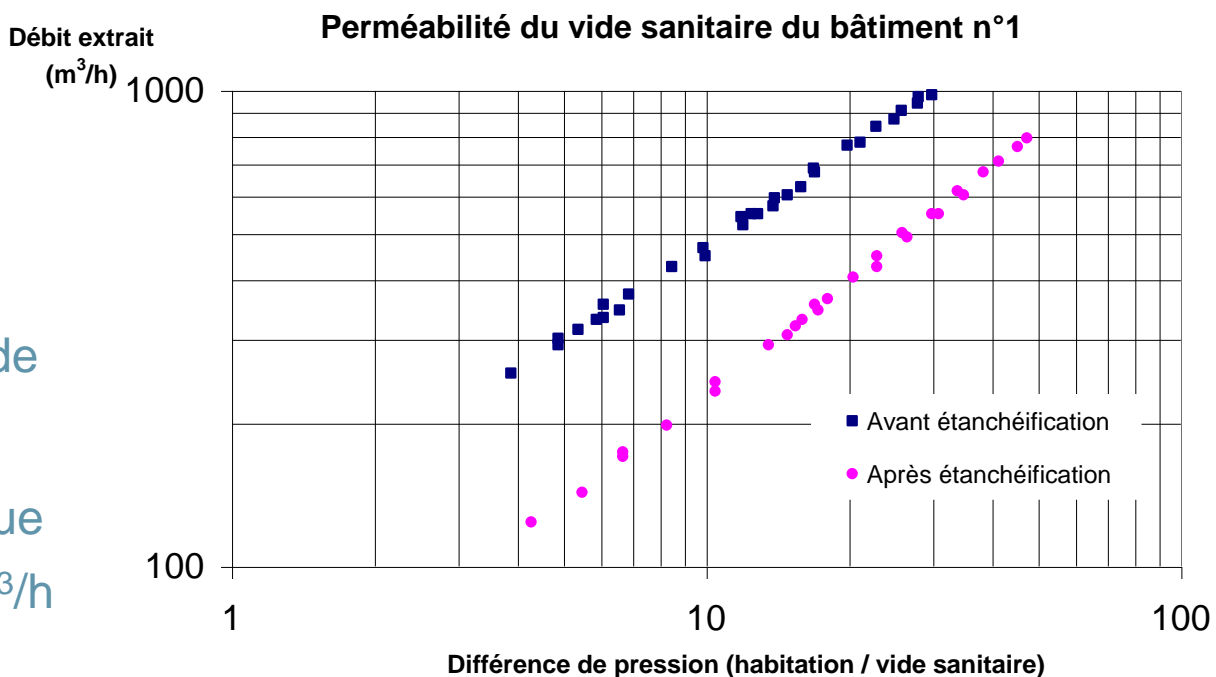


## Etude sur la faisabilité de la mise en dépression de soubassements de bâtiments existants

### Exemple de résultat



Maison sur vide sanitaire de  
90m<sup>2</sup> au sol,  
Dépression de 5 Pa obtenue  
avec un débit de 134 m<sup>3</sup>/h

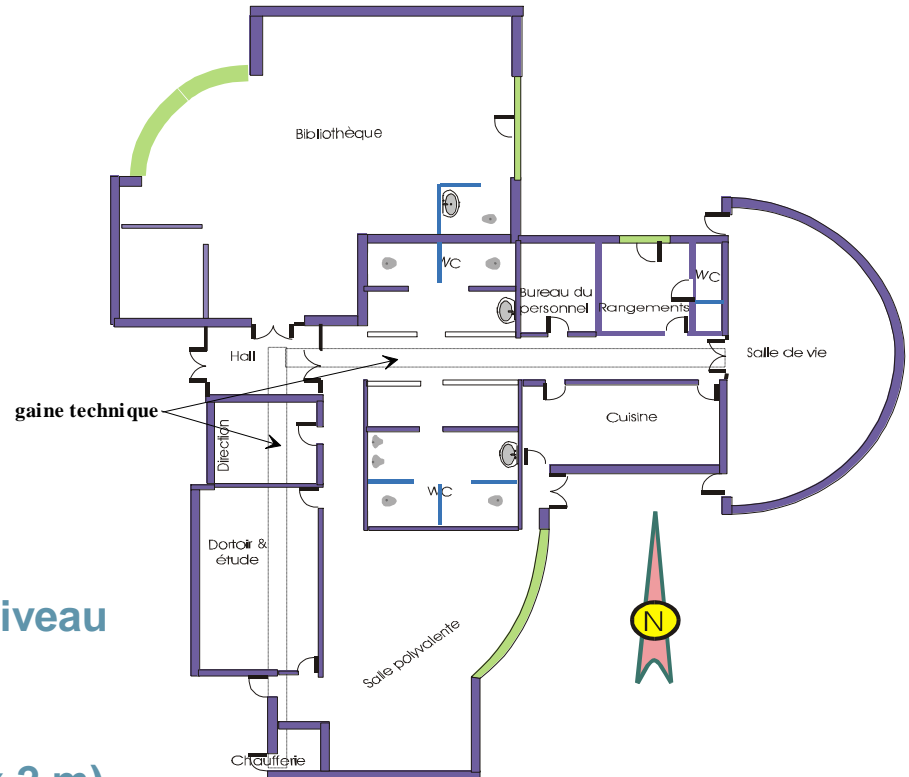


3 maisons sur vide sanitaire (VS)

1 maison sur cave partielle

## Pour une dépression de 5 Pa :

|                             | <i>Débit</i><br>(en $m^3.h^{-1}.m^{-2}$ ) | <i>Surface au sol</i><br>(en $m^2$ ) | <i>Débit</i><br>( $m^3.h^{-1}$ ) |
|-----------------------------|---|--------------------------------------|----------------------------------|
| Bât. 1-Dalle béton sur VS   | 1.45                                      | 92                                   | 134                              |
| Bât. 2-Dalle béton sur VS   | 0.2                                       | 273                                  | 54                               |
| Bât. 3-Plancher bois sur VS | 2.3                                       | 38                                   | 87                               |
| Bât. 4-Cave enterrée        | 7   | 10                                   | 70                               |



Gaine technique

Niveau de dépistage : 1990 Bq/m<sup>3</sup>

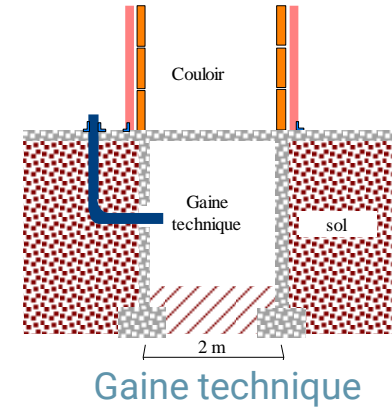
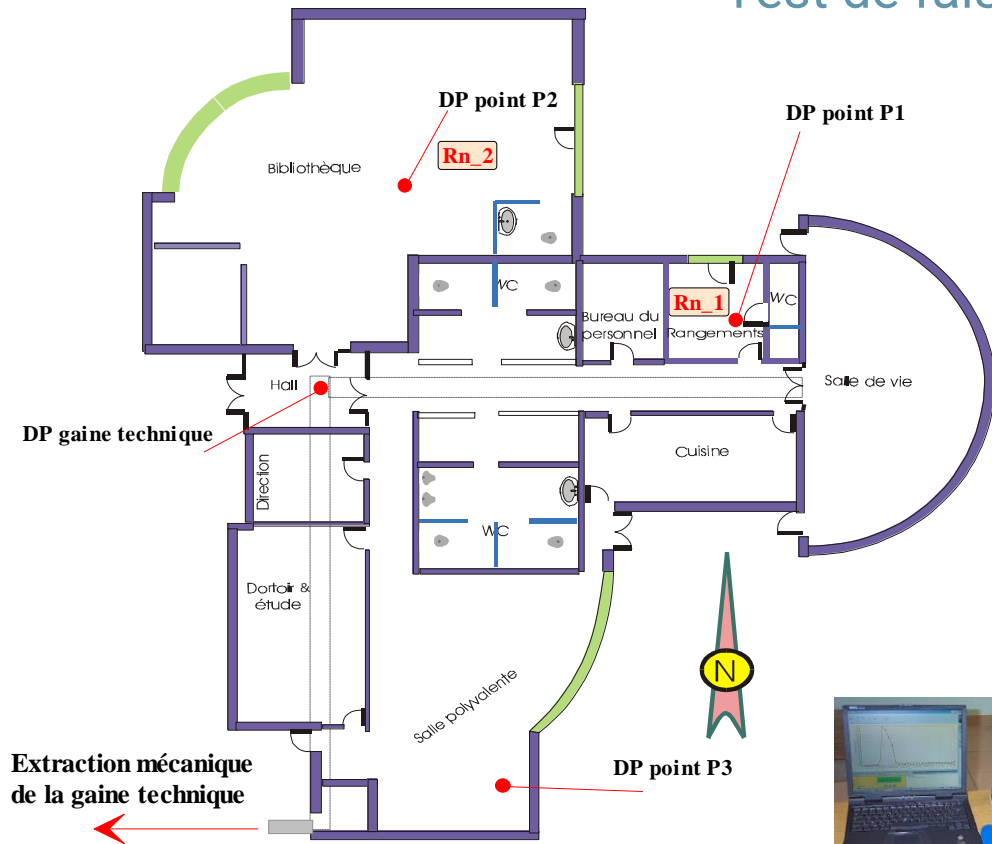
Bâtiment de 1995 en parpaing, 630 m<sup>2</sup> au sol, un niveau

Soubassement : Dallage sur terre plein

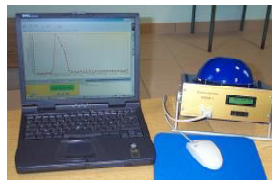
avec une gaine technique au centre (section 2 m x 2 m)

Double vitrage, système de ventilation

## Test de faisabilité de SDS



Extraction mécanique de la gaine technique

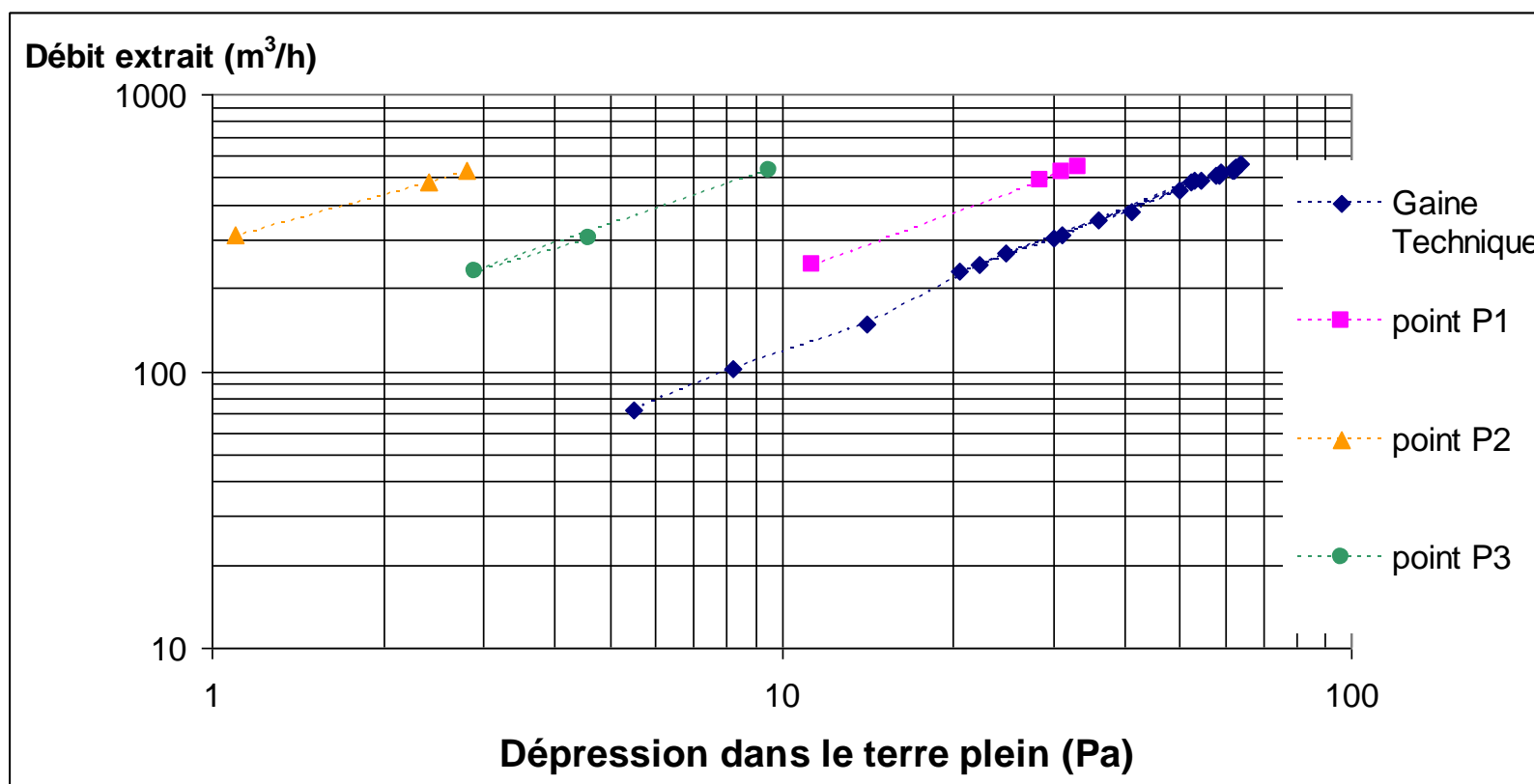


Mesure du radon

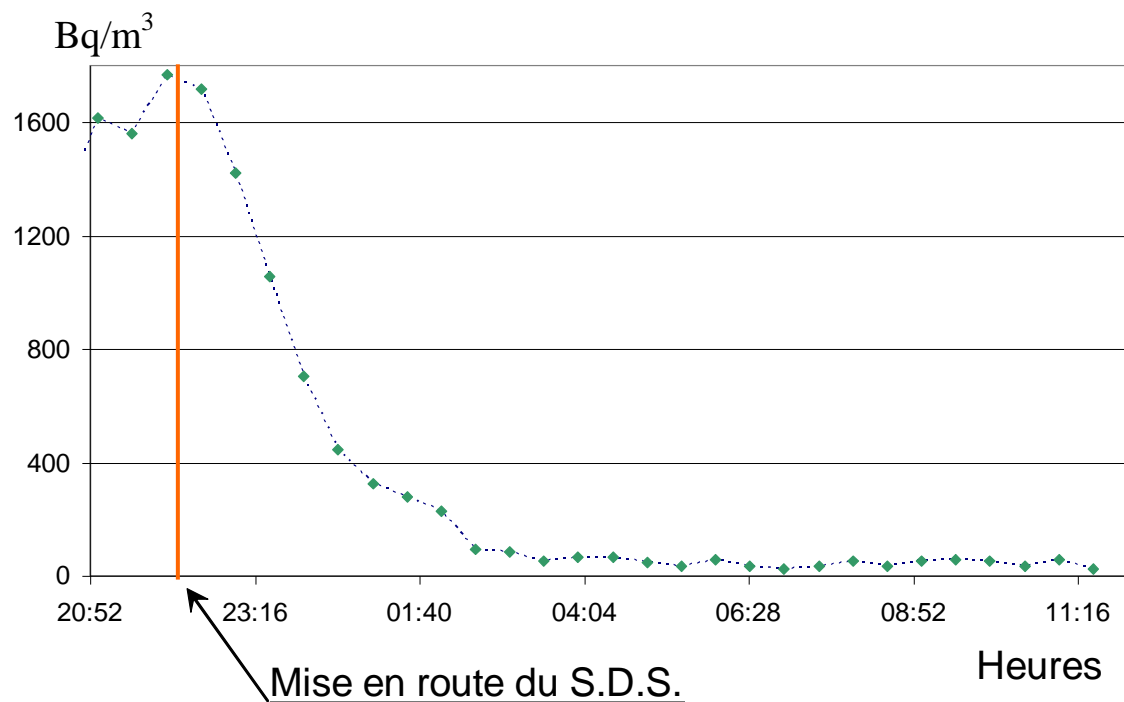


Mesure de dépression sous dallage

## Étanchement de l'interface et test de mise en dépression du terre-plein



## Evolution de la concentration en radon dans le bâtiment



**Extraction de 0.5 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>**

## Action corrective

- Etanchement au niveau du dallage
- Mise en dépression gaine technique :  
débit extrait :  $450 \text{ m}^3/\text{h}$   
soit  $0.7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2 \text{ sol}$
- Mise à niveau ventilation bâtiment

Mesure de contrôle :  $37 \text{ Bq}/\text{m}^3$

(eff. : 95%)

Coût : 15 000 € T.T.C.

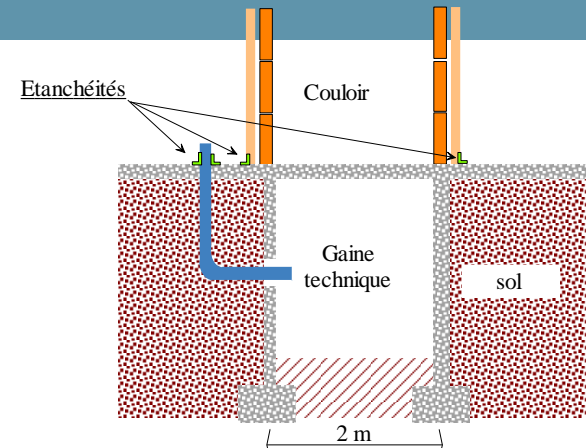


Schéma d'étanchement



Travaux d'étanchement



Groupe d'extraction dans la gaine technique

# 7<sup>ème</sup> exemple d'action corrective (Etude pilote SDS)

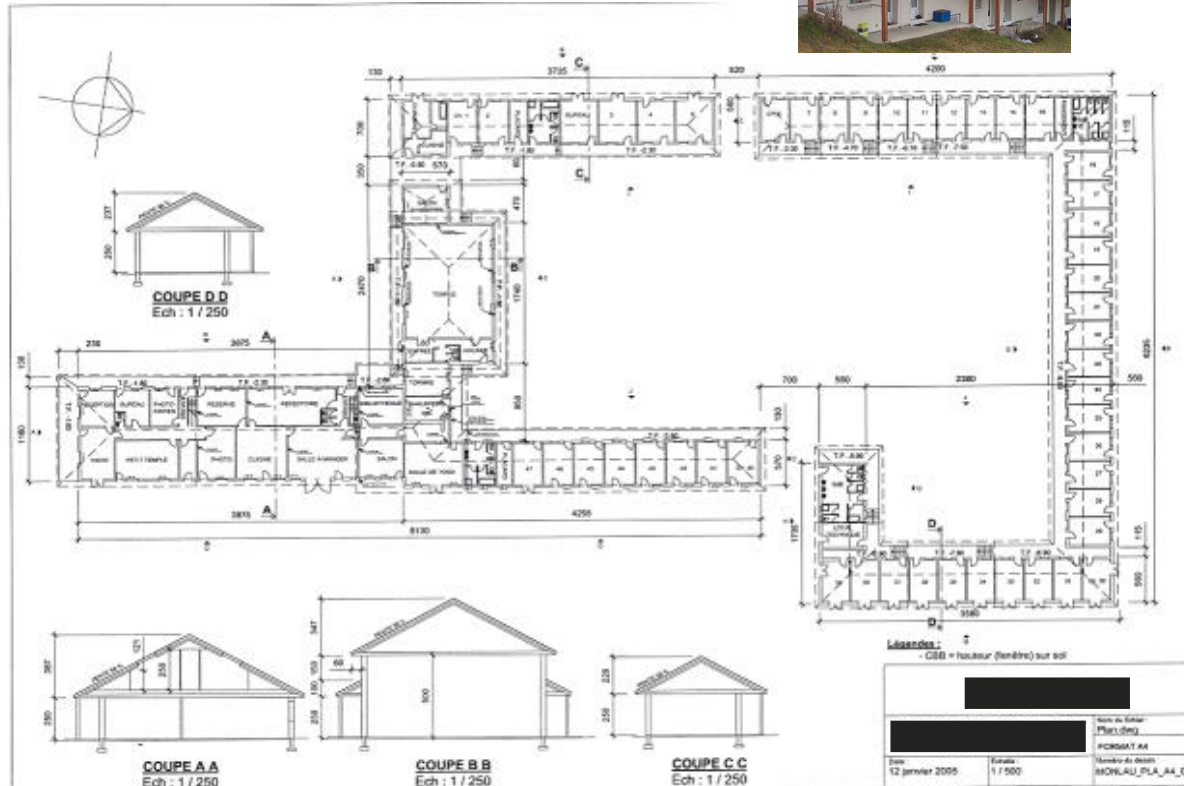


Niveau de dépistage :  
plusieurs studios au dessus de 1000 Bq/m<sup>3</sup>

Bâtiment de 1994 en béton cellulaire, un  
niveau

Soubassement : Dallage sur terre-plein

Chaque studio en double exposition,  
aération par ouvertures hautes et basses.  
Double vitrage



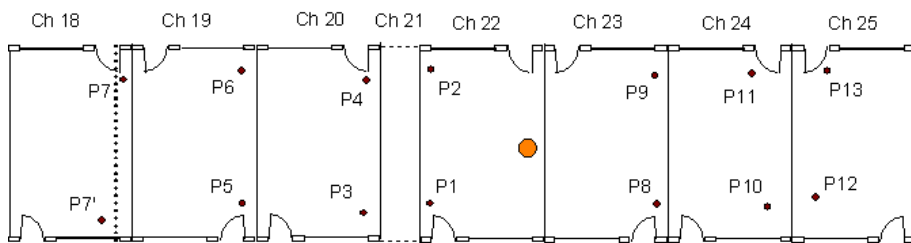


## Test de faisabilité de SDS

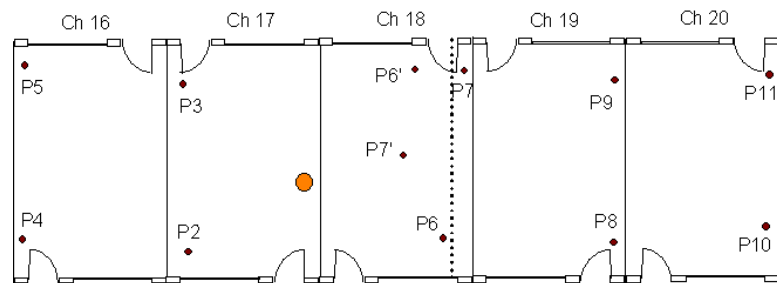
### Préparation de 6 points d'extraction dans différents studios



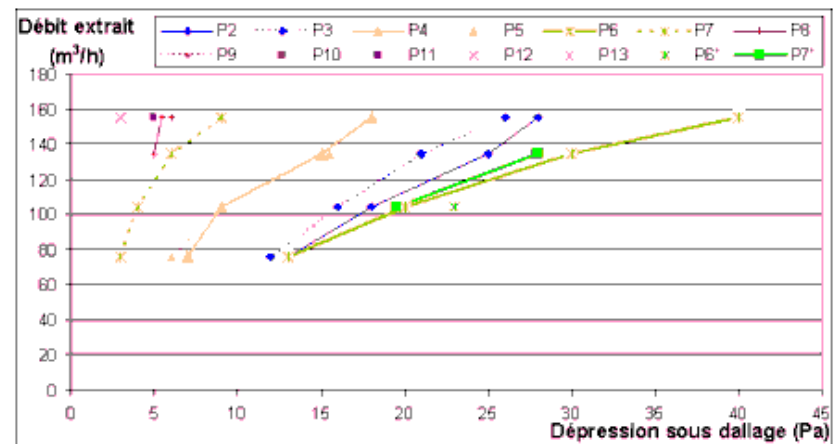
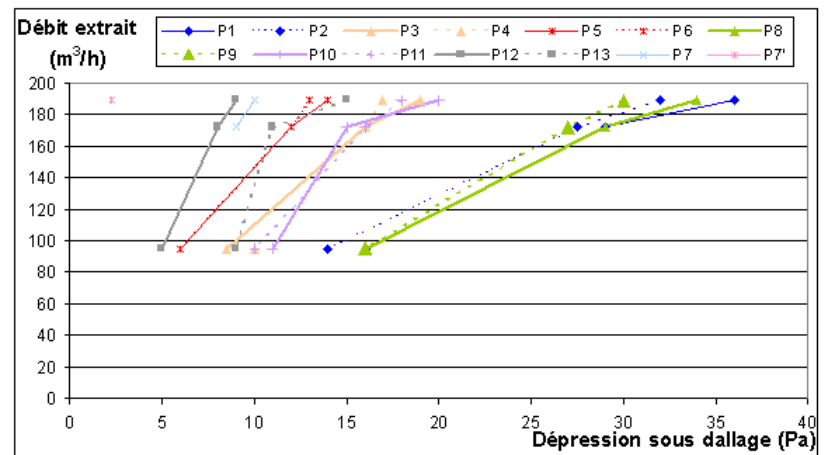
## Caractérisation de la perméabilité pour les six points



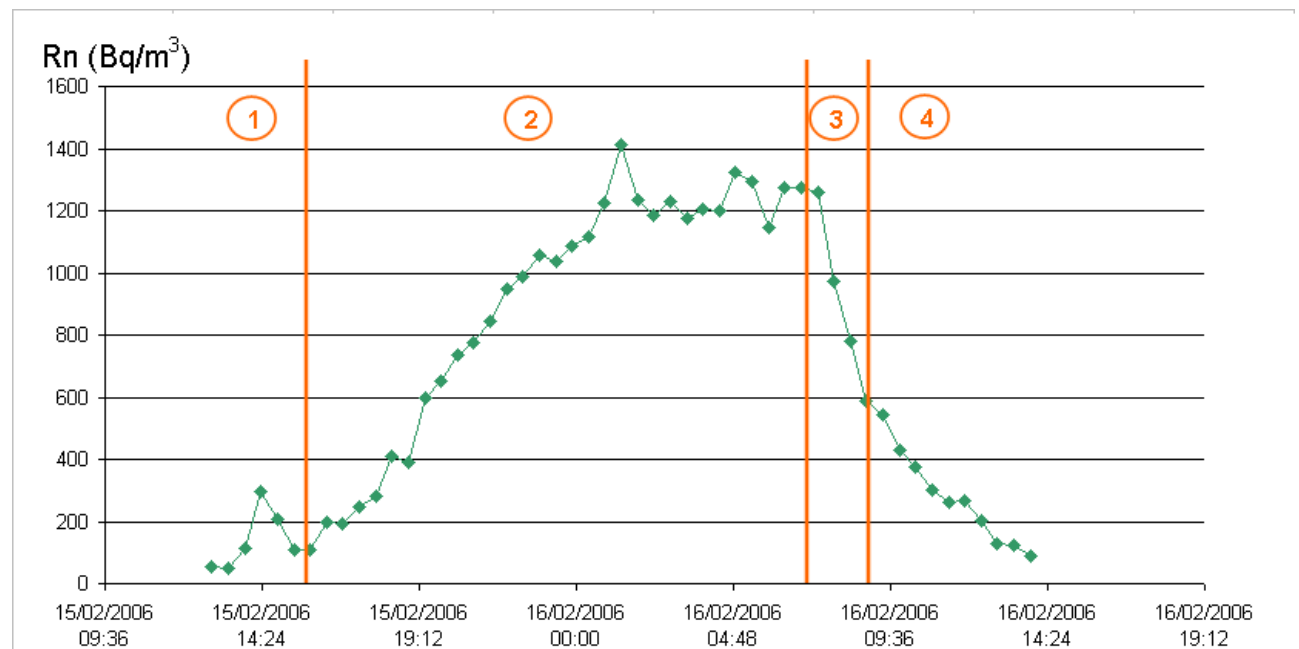
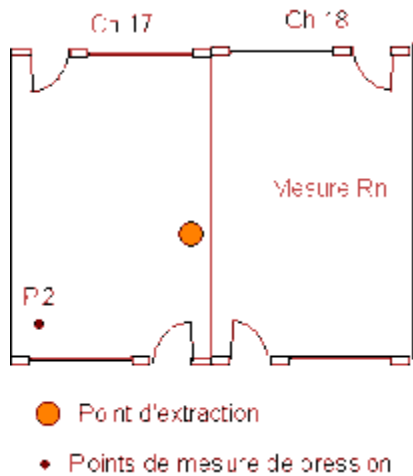
- Point d'extraction
- Points de mesure de pression



- Point d'extraction
- Points de mesure de pression



## Evolution de la concentration en radon dans le bâtiment À la mise en route du SDS



## Action corrective

- Mise en place de SDS sur chaque piquage



Conduit d'extraction



Extracteur dans les combles

## Mesure de contrôle

|                         | Mesure de dépistage (Bq/m <sup>3</sup> ) | Mesure de contrôle (Bq/m <sup>3</sup> ) | Efficacité de réduction (%) |
|-------------------------|--|---|-----------------------------|
| Chambre 11              | 1 106                                    | 133                                     | 88                          |
| Chambre 12 (extraction) | 1 741                                    | 34                                      | 98                          |
| Chambre 13              | 570                                      | 49                                      | 91                          |
| Chambre 14              | 601                                      | 68                                      | 89                          |

Coût : environ 2 000 € + main d'œuvre

## Remarque sur la mise en œuvre de l'action corrective

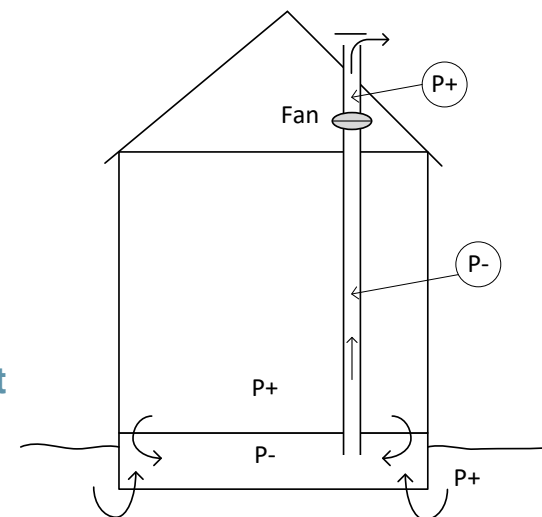
Ventilateur installé dans le volume occupé de la chambre

→ Concentration intérieure de radon plus forte qu'à l'origine

Raison:

Conduit à l'aval du ventilateur en surpression

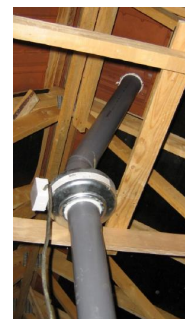
radon peut entrer dans le volume occupé par les défauts d'étanchéité du conduit



→ Ventilateur doit être installé à l'aval du volume occupé. Le point de rejet doit être loin de toute entrée du bâtiment (portes, fenêtres)



Ventilateur à l'extérieur



Ventilateur sous toiture

**Retour d'information sur les actions correctives dans les bâtiments existants**

**Sur la base de cas identifiés (83), principalement ERP et quelques habitations**

**Récolte de données par questionnaire :**

**Dépistage**

**Type de solution mise en oeuvre**

**Mesure de contrôle**

**Coût**

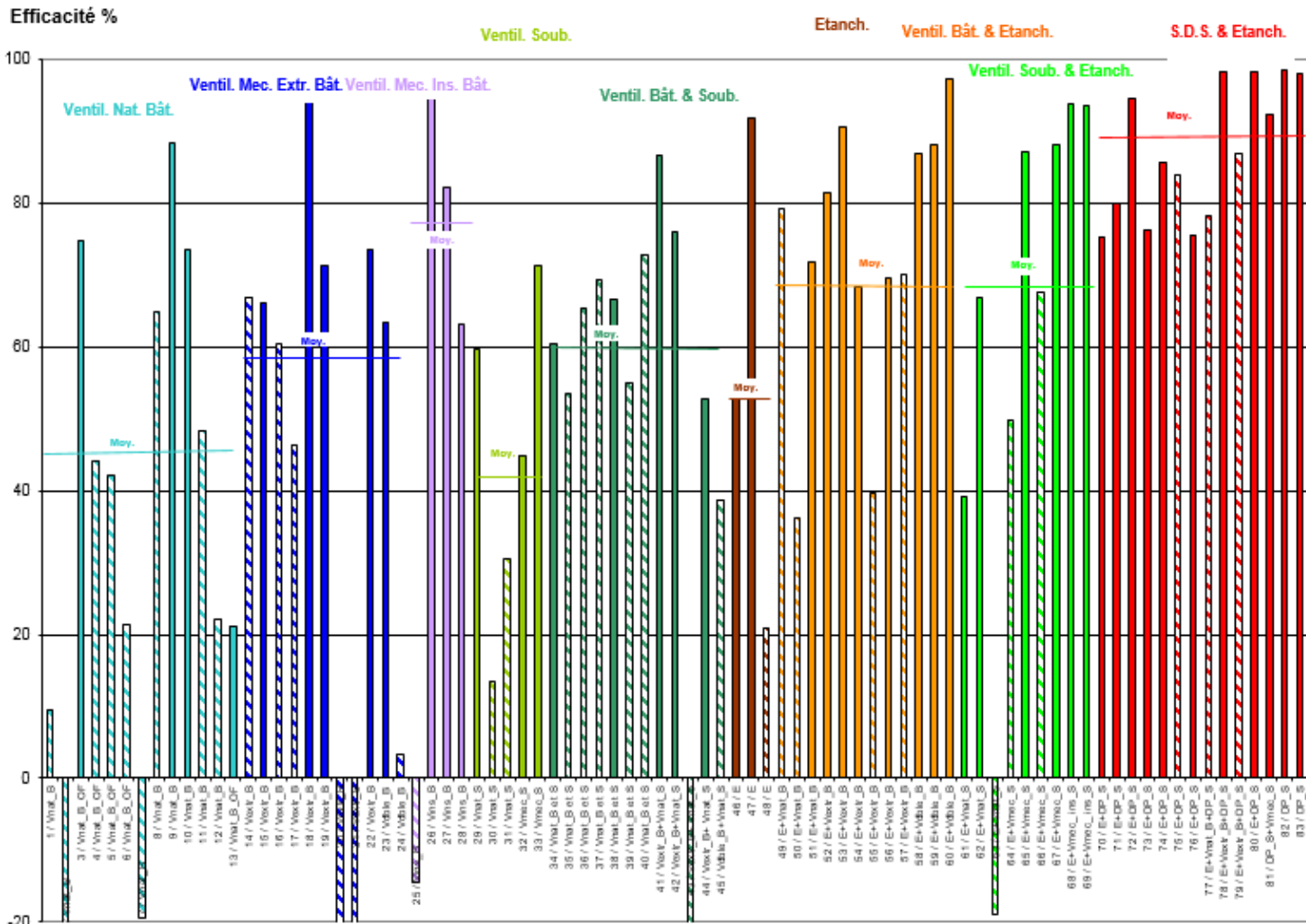
**Evaluation de l'efficacité des solutions**

$$\text{eff} = (1 - C^{\text{Rn}}_{\text{final}} / C^{\text{Rn}}_{\text{initial}}) \cdot 100$$

## Retour d'information sur les actions correctives dans les bâtiments existants (ERP)

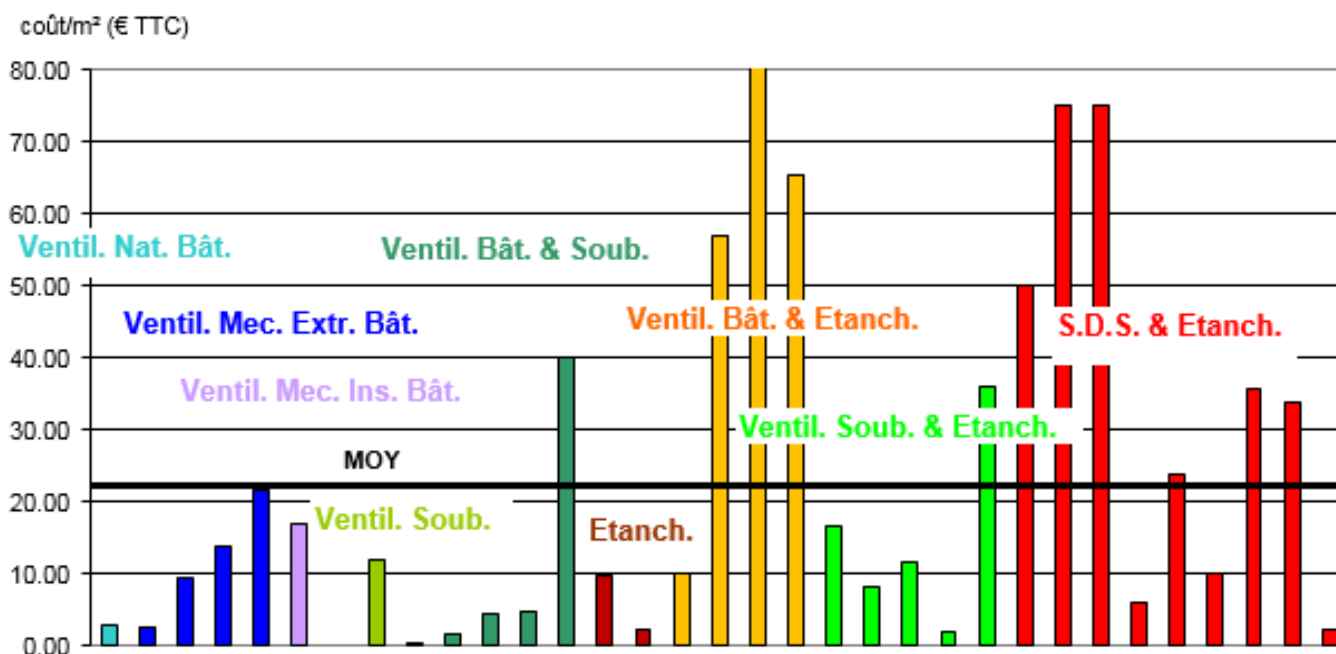
| Type de solutions       | Efficacité (%) |         |         | Delta/Moy. | Nd de cas | contreperf. (exclues) |
|-------------------------|----------------|---------|---------|------------|-----------|-----------------------|
|                         | Moyenne        | Minimum | Maximum |            |           |                       |
| Ventil. Nat. Bât.       | 46             | 9       | 88      | 1,7        | 11        | 2                     |
| Ventil. Mec. Extr. Bât. | 61             | 3       | 95      | 1,5        | 9         | 2                     |
| Ventil. Mec. Ins. Bât.  | 81             | 63      | 96      | 0,4        | 3         | 1                     |
| Ventil. Soub.           | 44             | 13      | 71      | 1,3        | 5         | -                     |
| Ventil. Bât. & Soub.    | 63             | 39      | 97      | 0,9        | 11        | 1                     |
| Etanch.                 | 55             | 21      | 92      | 1,3        | 3         | -                     |
| Ventil. Bât. & Etanch.  | 73             | 36      | 97      | 0,8        | 12        | -                     |
| Ventil. Soub. & Etanch. | 73             | 39      | 88      | 0,7        | 8         | 1                     |
| S.D.S. & Etanch         | 87             | 79      | 99      | 0,2        | 14        | -                     |





**Retour d'information  
sur les actions  
correctives dans les  
bâtiments existants  
(ERP)**

## Retour d'information sur les actions correctives dans les bâtiments existants (ERP)



### Coût des solutions

- **Peu de données sur les actions correctives des bâtiments (surtout ERP)**
- **Grande variabilité des situations : solution très simple → plus complexe**
- **Efficacités des solutions variables et pas toujours satisfaisantes**
- **Causes :**
  - **Manque de méthodes et de connaissances professionnelles**
  - **D'un point de vue technique :**
    - Cheminements du radon vers le bâtiment parfois difficile à identifier.
    - Caractérisation du bâtiment à conduire de façon appropriée

## Actions correctives dans les bâtiments :

- Adaptée au cas par cas
- Le plus simple possible
- Acceptée et appropriée par le propriétaire et par l'occupant

**Choix approprié, mise en œuvre et maintenance déterminantes pour l'efficacité des solutions et leur durabilité**

- Guide technique :

Radon et Sols pollués :

Protection des bâtiments. Guide pour la protection des bâtiments vis-à-vis des polluants gazeux du sol.

Guide technique CSTB. juin 2021.

- Norme NF ISO 11665-8 (méthodologie de dépistage et de mesures complémentaire du radon)

- Norme NF X 46-040 (méthodologie pour le diagnostic technique des bâtiments)

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

**Il est toujours possible de réduire l'exposition au radon dans un bâtiment !**





## *EXEMPLES DE BÂTIMENTS PROTÉGÉS*

