



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Efficacité énergétique du bâtiment et qualité de l'air intérieur : exemple de la Suisse romande

Joëlle Goyette Pernot*, Corinne Hager Jörin, Hélène Niculita Hirzel et Vincent Perret

(*)Déléguee radon de l'Office Fédéral de la Santé Publique pour la Suisse romande

joelle.goyette@hefr.ch

Hes·SO

Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale

Fachhochschule Westschweiz

Contexte – Stratégie énergétique 2050

- Faire baisser d'ici 2050 la consommation finale d'énergie par pers et par an de 54% par rapport à l'an 2000 et d'électricité de 18%
- Couvrir la part actuelle du nucléaire (40%) par des énergies renouvelables
- Réduire les émissions de GES de 75% et passer à moins de 1.5 tonne de CO2 par pers et par an

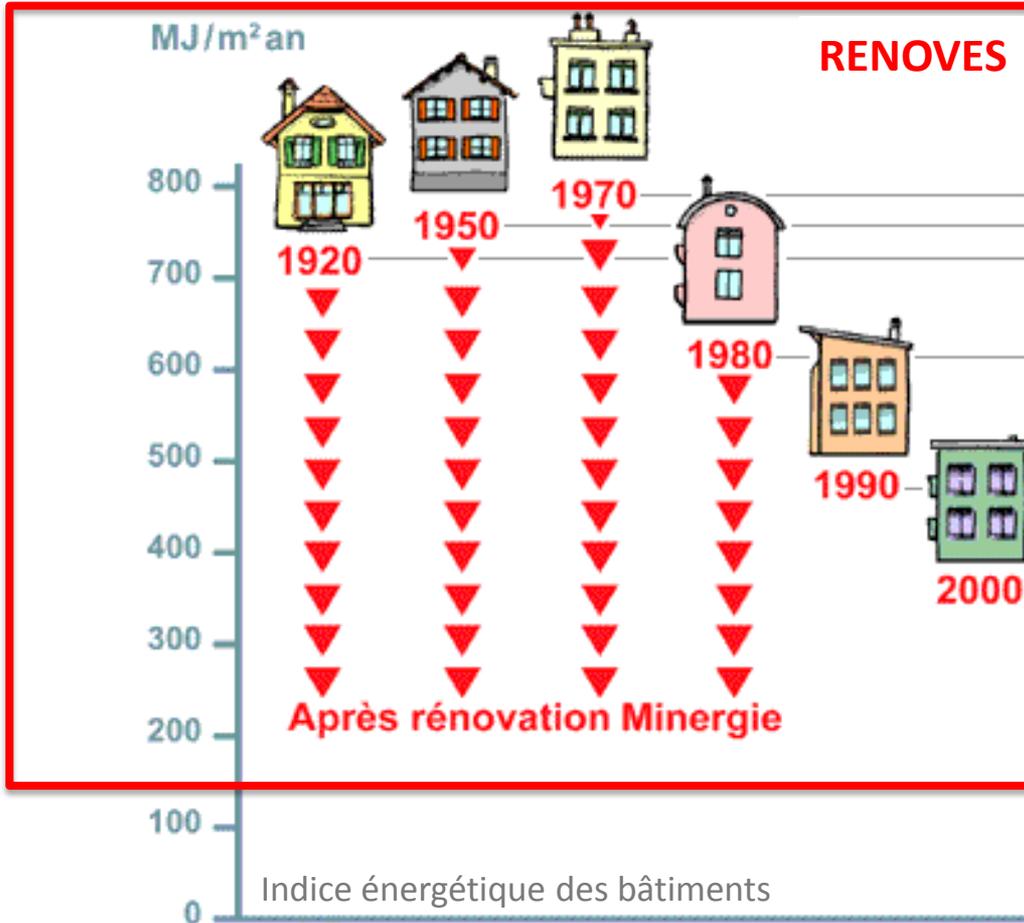
Améliorer l'efficacité énergétique du parc immobilier

- Un des leviers de cette stratégie!
- Les bâtiments consomment 50% de l'énergie primaire et le secteur du bâtiment est responsable de 50% des émissions de CO₂
- Environ 1.6 millions de bâtiments parmi lesquels 83% nécessitent un assainissement énergétique
- A peine 1% d'entre eux ont déjà été assainis!

Solutions proposées

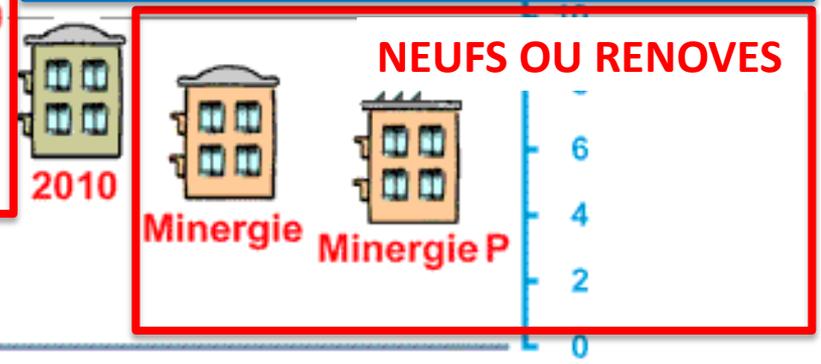
- Prescriptions
 - Selon la Constitution Fédérale les cantons sont responsables de prendre et faire appliquer les mesures d'économie d'énergie
- Normes
 - SIA 380/1 Energie thermique dans le bâtiment
- Standards
 - Label Minergie
- Programme de subvention national
 - Depuis 2010 la Confédération soutient les mesures d'assainissement énergétique par le biais du Programme Bâtiments

Types de bâtiments et caractéristiques

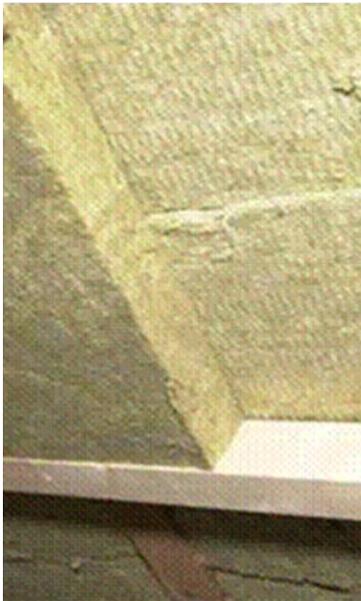


Lancé en 2010 par la Confédération pour:

- promouvoir l'assainissement énergétique des bâtiments
- investir dans les énergies renouvelables
- récupérer des rejets de chaleur
- optimiser des installations techniques du bâtiment



Mesures d'assainissement dans le bâtiment



Isolation de l'enveloppe + Traitement des ponts de froid



Etanchéité à l'air



Renouvellement de l'air

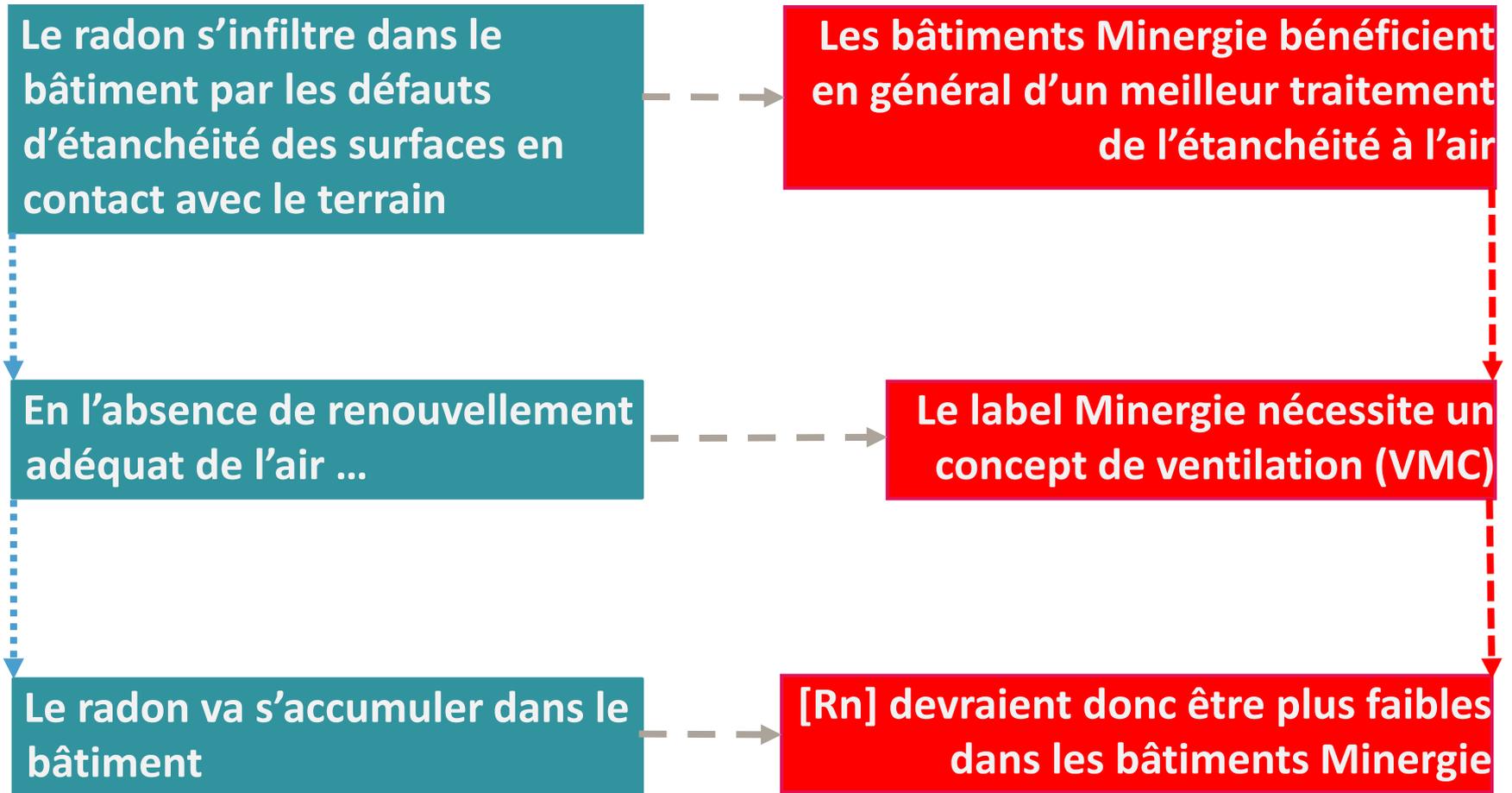


Protection thermique contre la surchauffe estivale

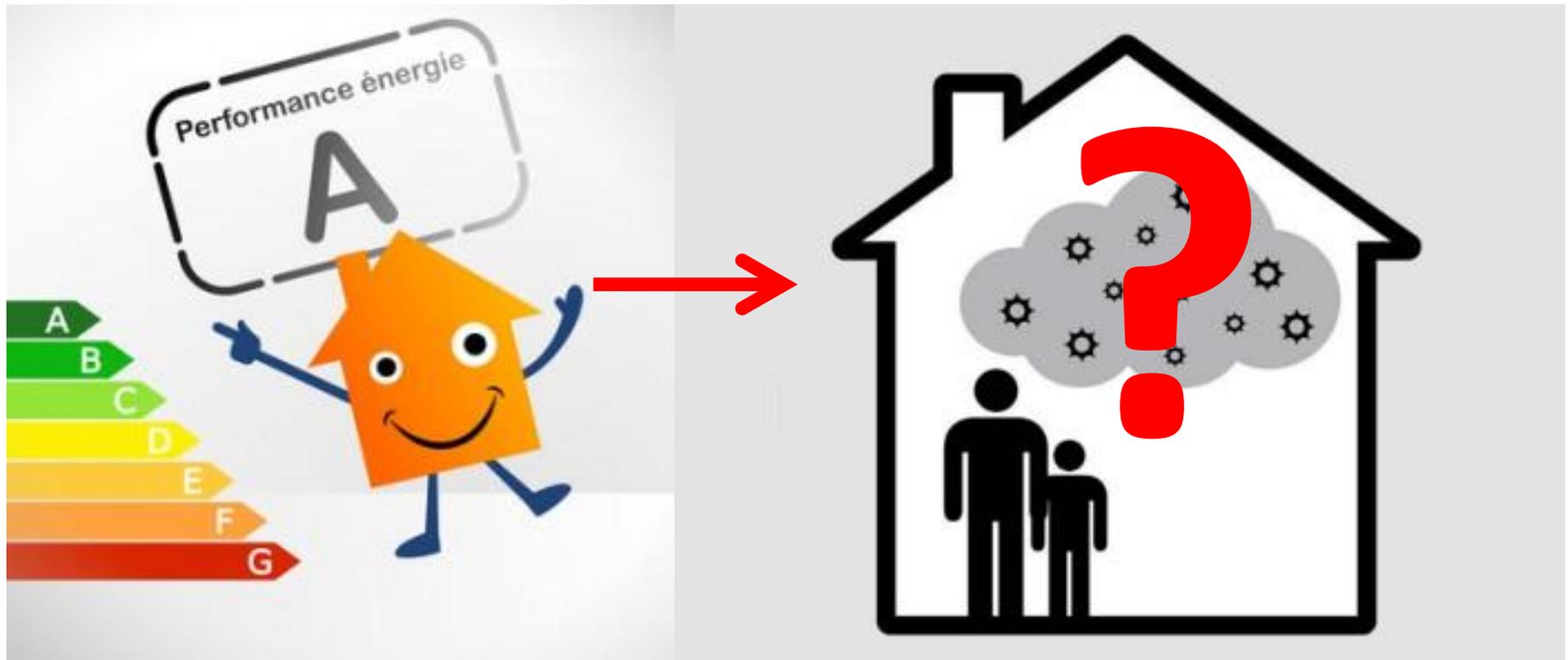
Le label Minergie

- **Label adressé aux bâtiments neufs et rénovés**
- Mutuellement soutenu par la Confédération suisse, les cantons ainsi que les chambres du commerce et de l'industrie
- Valeurs limites de consommation énergétique fonction de la catégorie de bâtiment et plus sévères que les exigences légales
- Label exigé pour les bâtiments publics dans plusieurs cantons (exemplarité de l'état)
- Objectif principal visé: le confort des utilisateurs. L'énergie invisible est encore trop peu chère mais le confort ressenti, un facteur motivant !
- Minergie-Eco oblige à la réduction des émissions de polluants provenant des matériaux de construction et à la limitation du rayonnement non ionisant et ionisant en assurant des **[Rn] < 100 Bq/m³ d'air**

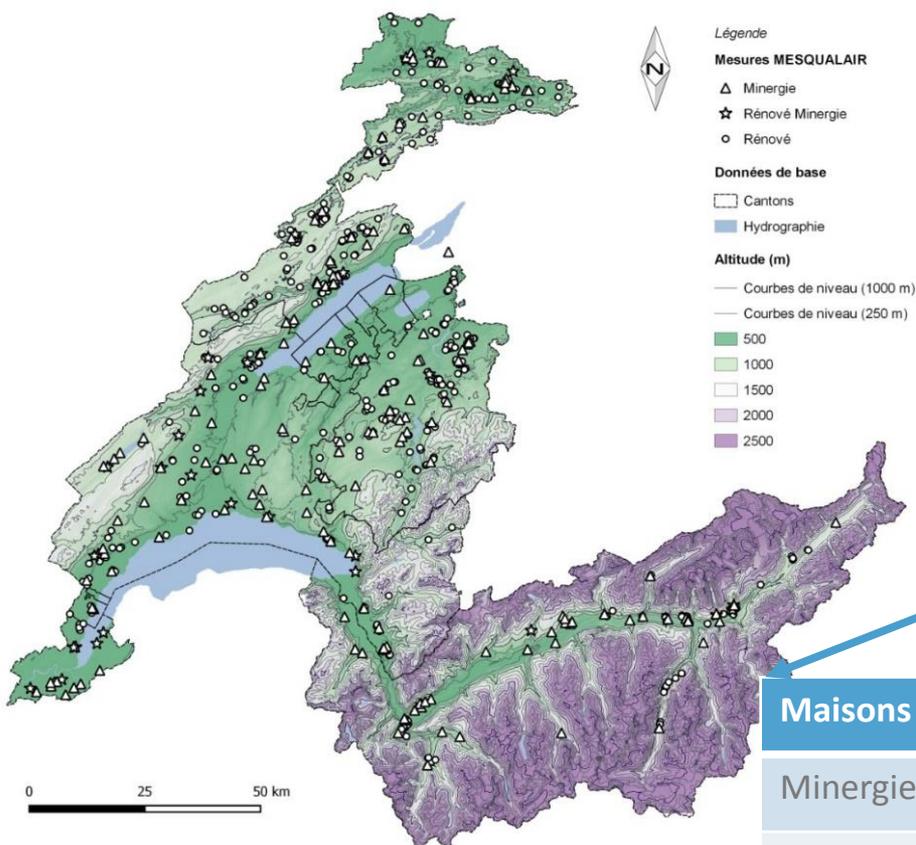
Le label Minergie devrait-il mieux se comporter face au radon?



Défis du bâtiment économe en énergie?



Types de mesures effectuées



| Maisons | Nombre | Fréquence rel |
|-------------------|------------|---------------|
| Minergie neuves | 182 | 28 |
| Minergie rénovées | 35 | 5 |
| Rénovées PB | 433 | 67 |
| Total | 650 | 100 |

650

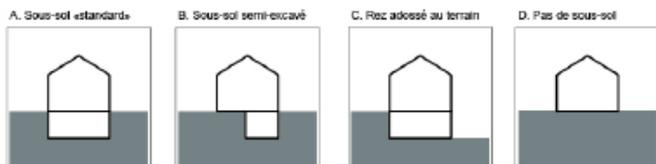


| Maisons | COV | Lingette | Capteur | Prélèvement |
|-------------------|------------|------------|------------|-------------|
| Minergie neuves | 45 | 39 | 43 | 8 |
| Minergie rénovées | 9 | 8 | 7 | 4 |
| Rénovées PB | 115 | 110 | 114 | 52 |
| Total | 169 | 157 | 164 | 64 |

Questionnaire

20. 3.3 Selon les schémas ci-dessous, à quelle configuration correspond votre habitation?
Une seule réponse possible.

- A
 B
 C
 D
 Autre : _____



21. 3.4 Une partie du sol de votre maison est-elle en terrain naturel?
ex: cave en terrain naturel recouvert de graviers
Une seule réponse possible.

- Oui
 Non
 Je ne sais pas

22. 3.5 Combien y a-t-il de pièces habitées au sous-sol?
Une seule réponse possible.

- Aucune
 1
 2
 Autre : _____

23. 3.6 S'il y a des pièces au sous-sol, quelles sont leurs fonctions?

24. 3.7 Comment accédez-vous au sous-sol?
Plusieurs réponses possibles.

- Par l'extérieur
 Par l'intérieur (avec une porte de séparation)
 Par l'intérieur (sans séparation)
 Autre : _____

0. Identification

1. Aspects constructifs

2. Occupants

3. Organisation de la maison

4. Matériaux de construction

5. Installations techniques

6. Agencement et usage

7. Dégâts observables

8. Habitude de vie et

consommation

9. Perception du confort

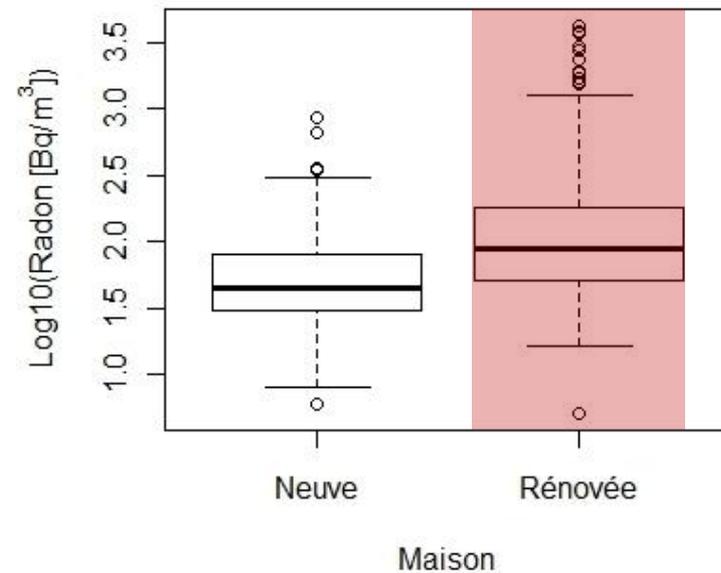
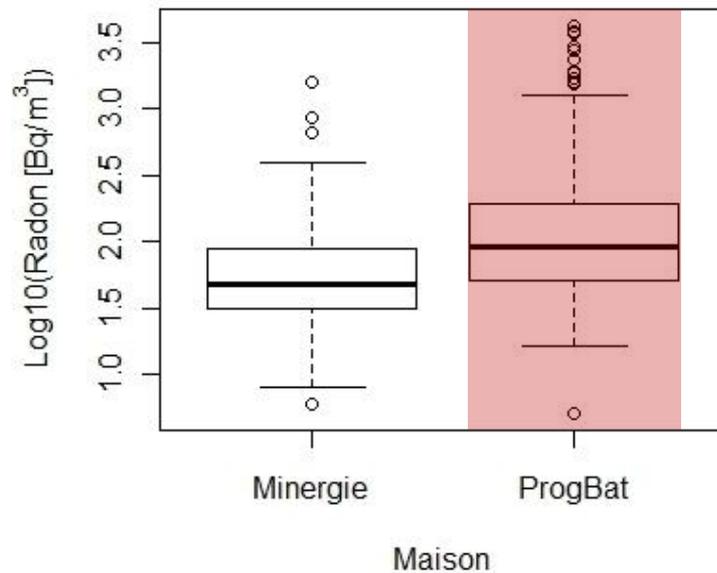
10. Santé

11. Consommation énergétique

| Zone de risque / Type de bâtiment | Minergie (neuves + rénovées) | PB |
|-----------------------------------|------------------------------|------------|
| Risque léger | 66 (33%) | 67(16%) |
| Risque moyen | 106 (52%) | 225 (54%) |
| Risque élevé | 30 (15%) | 122 (30%) |
| Nombre de bâtiments total | 202 (100%) | 414 (100%) |

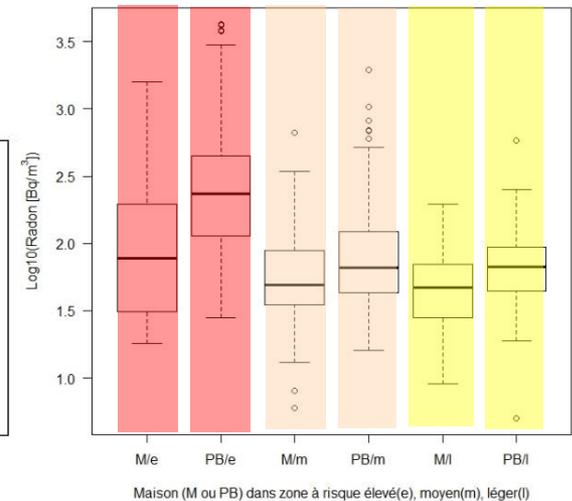
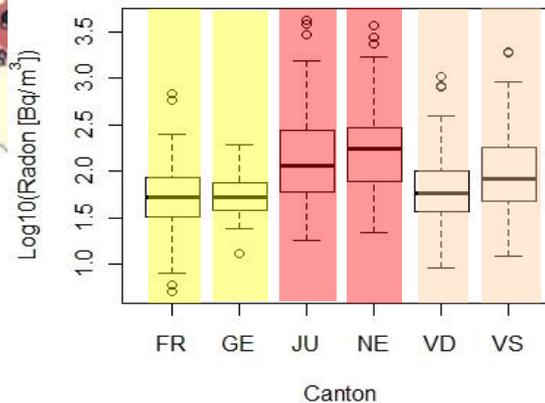
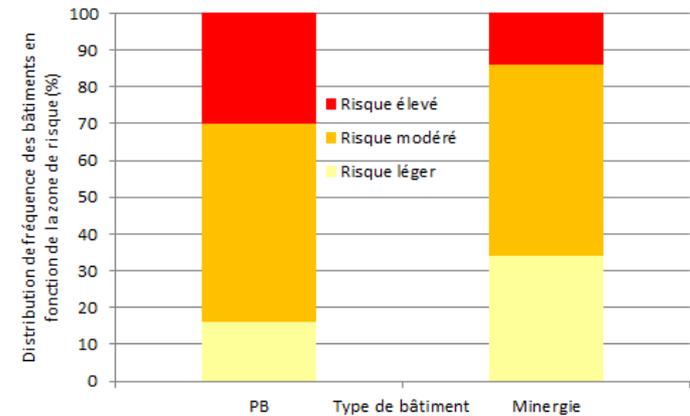
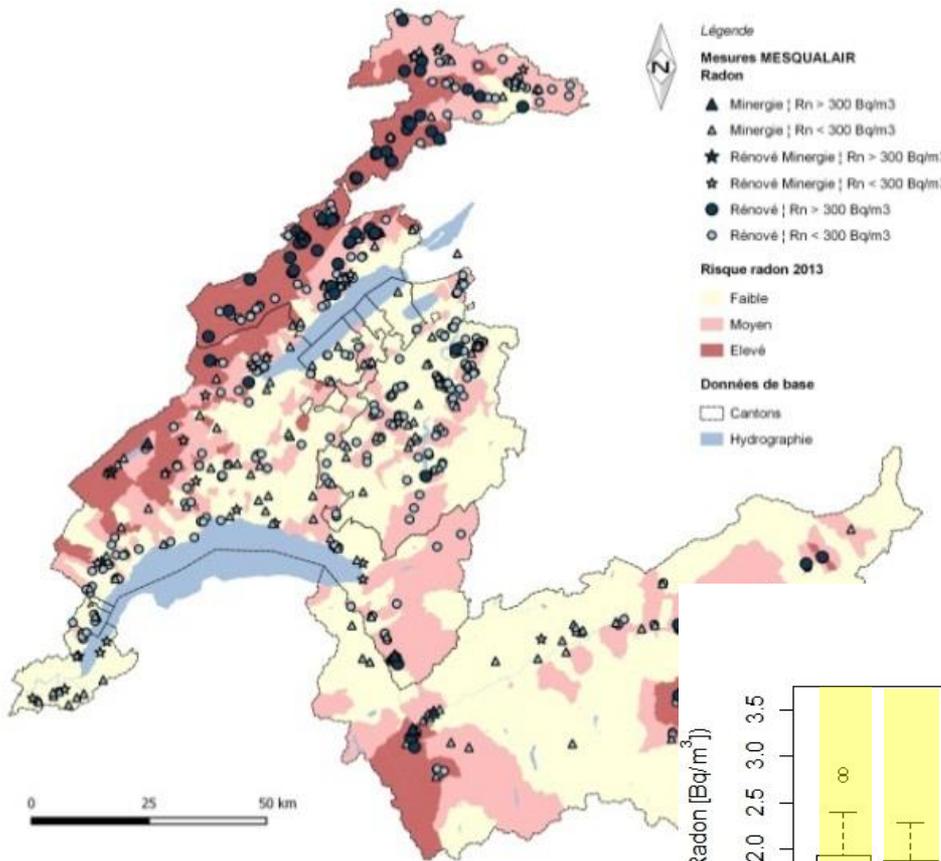
616

Nette distinction de comportement des différents types de bâtiments



$p < 0.001$

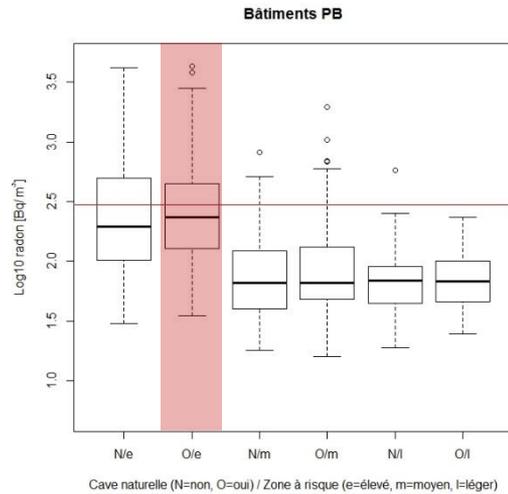
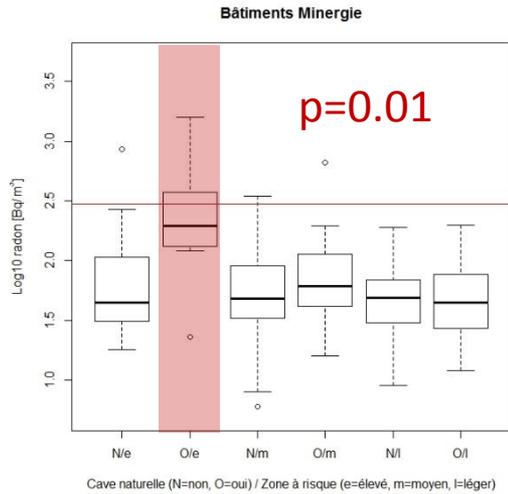
Forte empreinte géologique



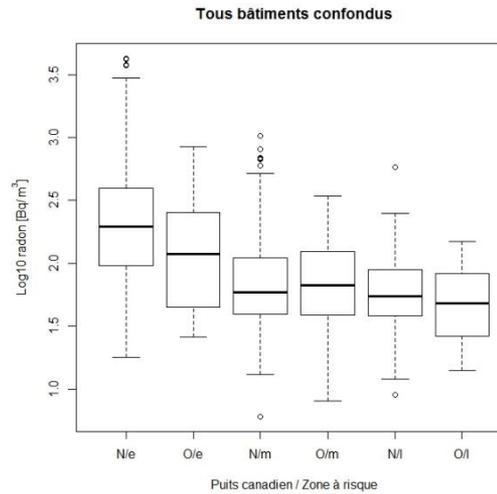
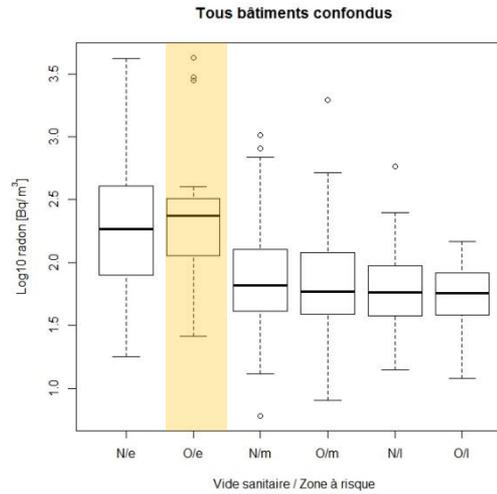
Considérations de nature constructive



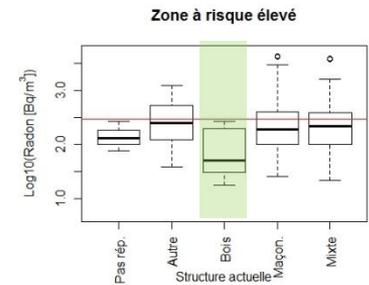
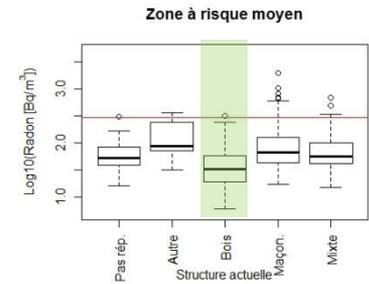
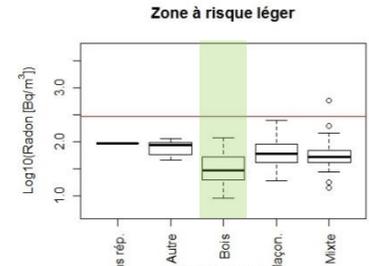
Terrain naturel dans la cave



Puits canadien et vide sanitaire

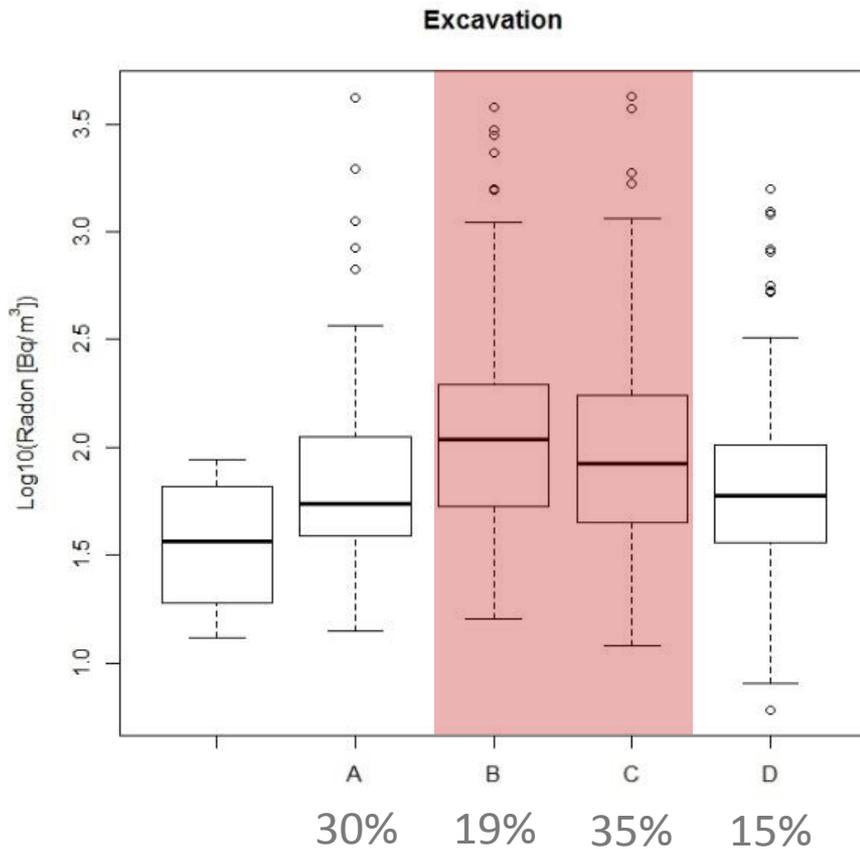


Influence du type de structure selon la zone de risque radon

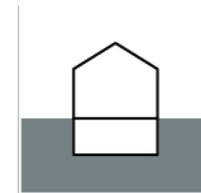


$p < 0.001$

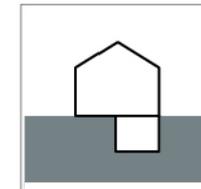
Configuration du sous-sol



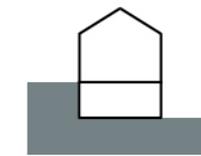
($p < 0.001$)



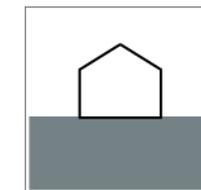
A. Sous sol standard



B. Sous sol semi excavé



C. Rez adossé au terrain

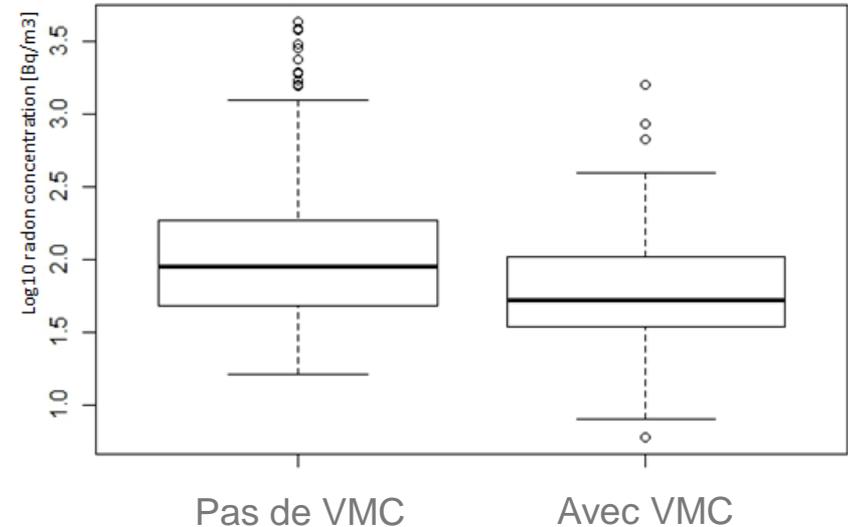


D. Pas de sous sol

Avec ou sans VMC?



| Type de bat | <300 Bq/m ³ | ≥300 Bq/m ³ | Proportion ≥300 Bq/m ³ par type |
|-------------------|------------------------|------------------------|--|
| Minergie avec VMC | 190 | 7 | 4% |
| Minergie sans VMC | 4 | 0 | 0% |
| PB avec VMC | 12 | 2 | 14% |
| PB sans VMC | 321 | 55 | 15% |

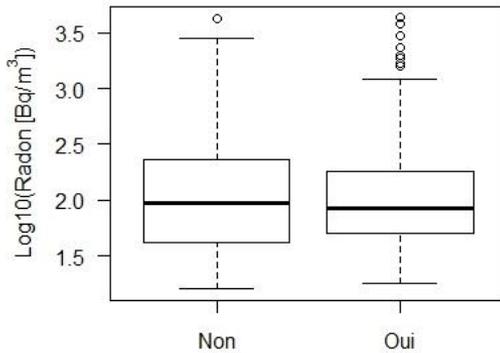


- A priori pas d'effet significatif de la VMC → Même proportion de bâtiments ≥ 300 Bq/m³ d'air avec ou sans VMC
- Tous les bâtiments ≥ 1000 Bq/m³ d'air sont non équipés de VMC → 18 cas avec une concentration moyenne de 2031 Bq/m³ d'air (médiane à 1636 Bq/m³ d'air)
- Le seul bâtiment équipé d'une VMC qui ne l'emploie que rarement à une concentration de radon égale à 1594 Bq/m³ d'air

Impact de l'assainissement énergétique

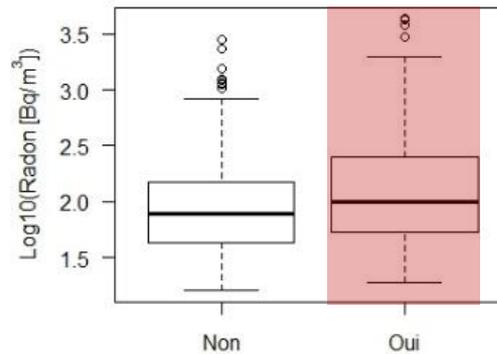


Maisons rénovées



Assainissement des fenêtres

Maisons rénovées

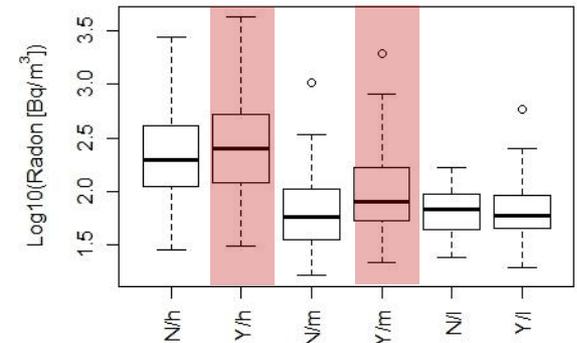


Assainissement des murs et sols extérieurs

$p < 0.001$

Maisons rénovées

Assainissement murs extérieurs

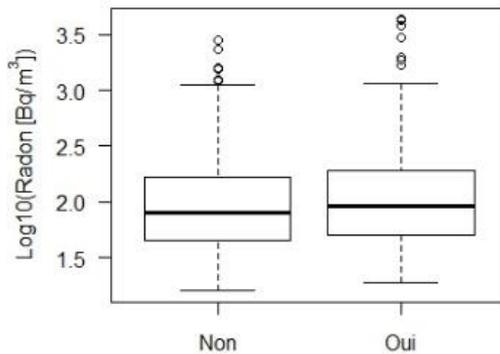


Assainissement / Zone à risque

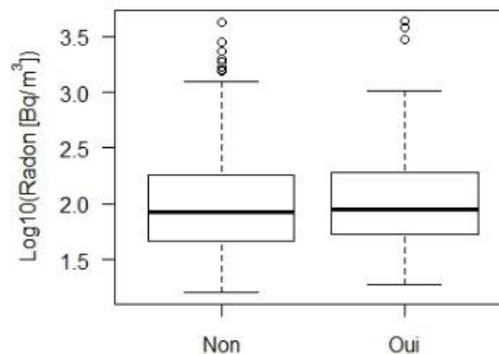
$p < 0.001$

Assain. global de l'enveloppe ext.

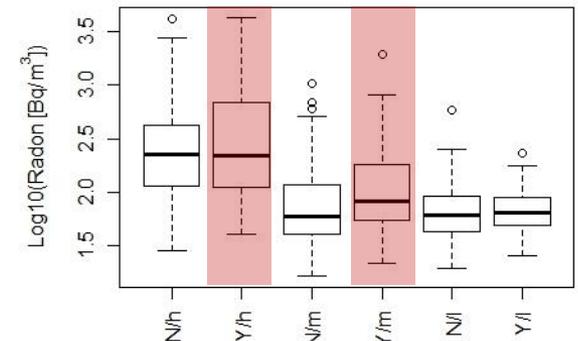
Maisons rénovées



Assainissement de la toiture



Assainissement des parois/plafonds à l'intérieur



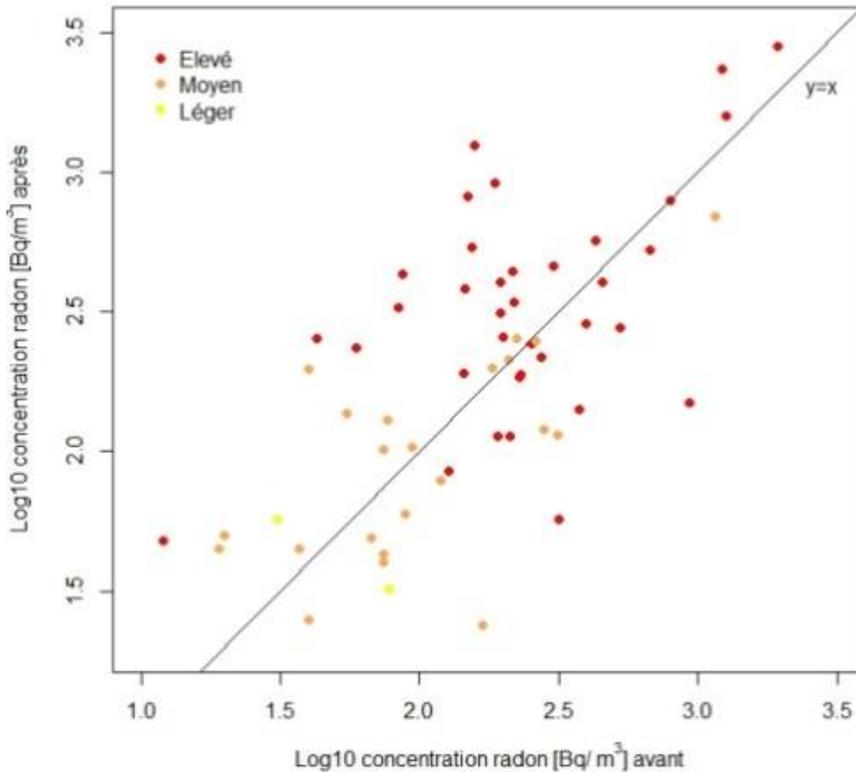
Assainissement / Zone à risque

$p = 0.007$

Après assainissement?



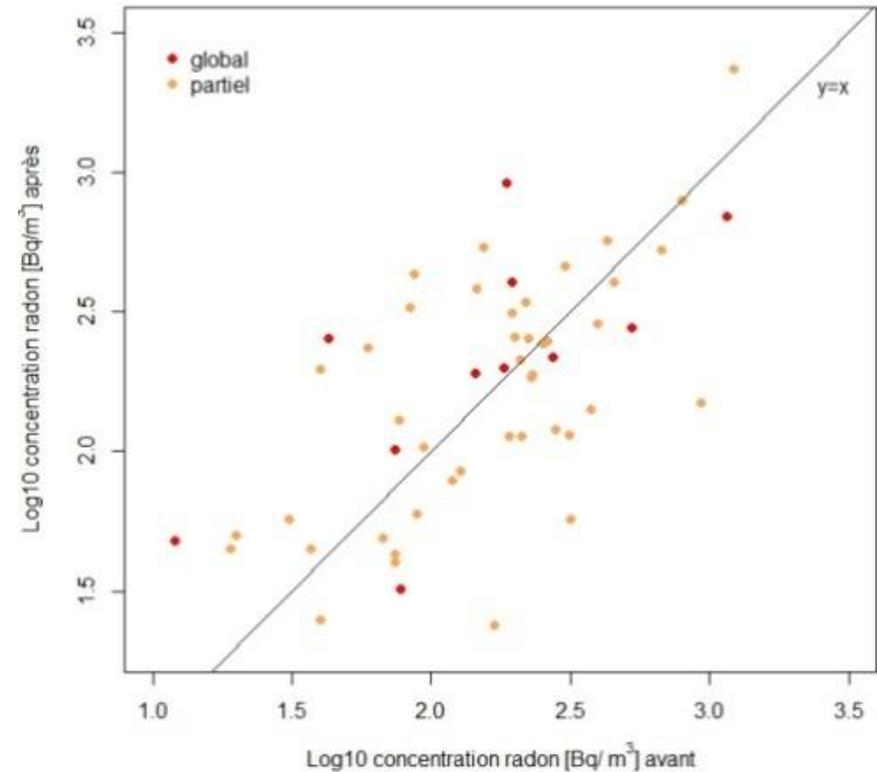
Zone à risque



$p=0.23$

**[Rn] APRÈS = 1.18 X [Rn] AVANT
en moyenne pour 60 bâtiments**

Type d'assainissement



$p=0.24$

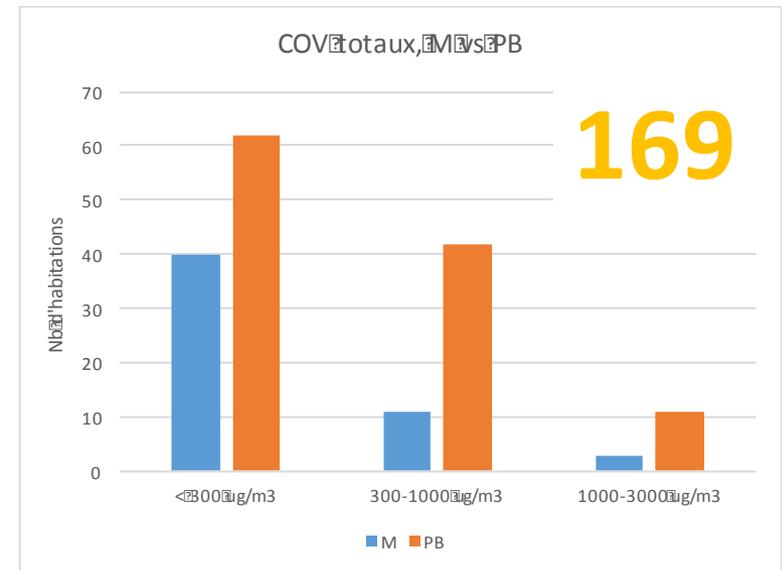
**[Rn] APRÈS ASS GLOBAL = 1.42 X [Rn] AVANT
(54 bâtiments)**

Etat sanitaire général au regard de la chimie



- COV totaux compris entre 25 et 2292 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 14 prélèvements (8%) dépassent la recommandation de l'OFSP (1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- 21 prélèvements (12%) dépassent le seuil fixé par Minergie Eco (750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

→ Globalement niveaux cumulés de COV sous contrôle dans la grande majorité des habitations évaluées durant la campagne

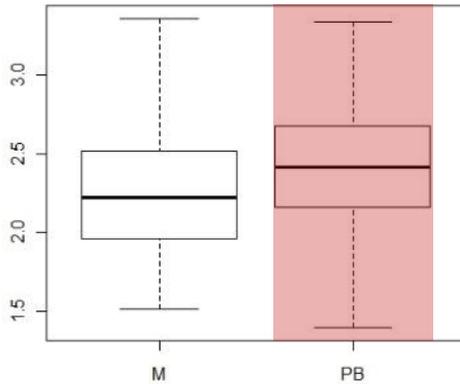


Selon seuils de l'agence fédérale allemande pour l'environnement

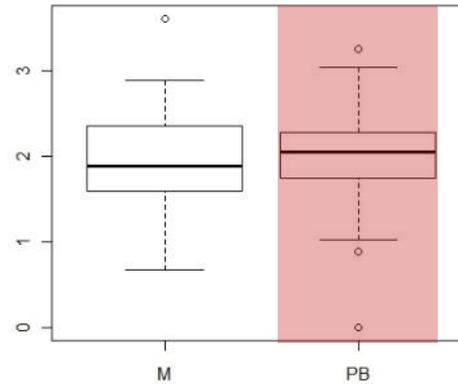
Quelle est l'influence du bâtiment?



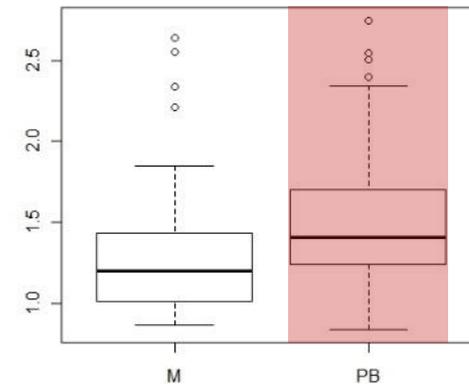
Total as toluol en log10



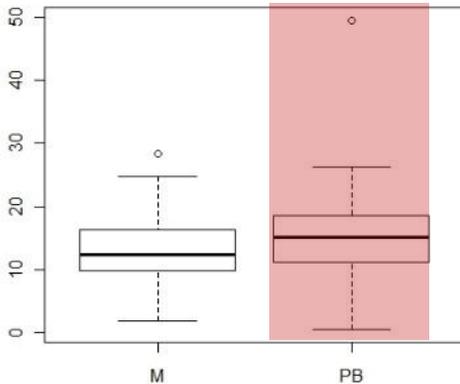
Ethanol en log10



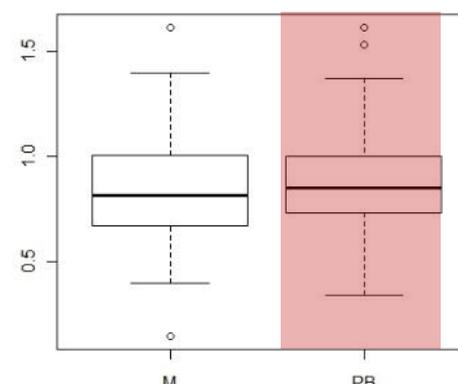
Toluène en log10



Formaldéhyde



Hexaldéhyde en log10



| | M | PB |
|---|-----|-----|
| n | 54 | 115 |
| Moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 319 | 415 |
| Médiane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 167 | 259 |
| écart type ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 452 | 448 |

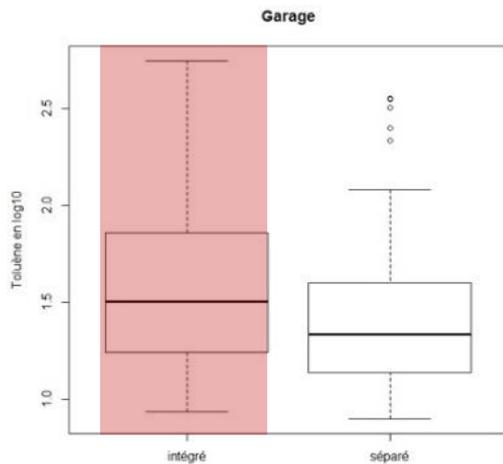
$p < 0.01$

→ Valeurs médianes de TVOC environ 1.5x supérieures dans les bâtiments PB comparées aux habitations Minergie

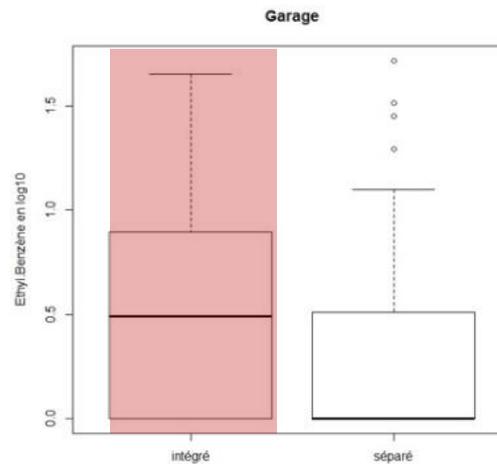
BTEX – hydrocarbures volatiles organiques



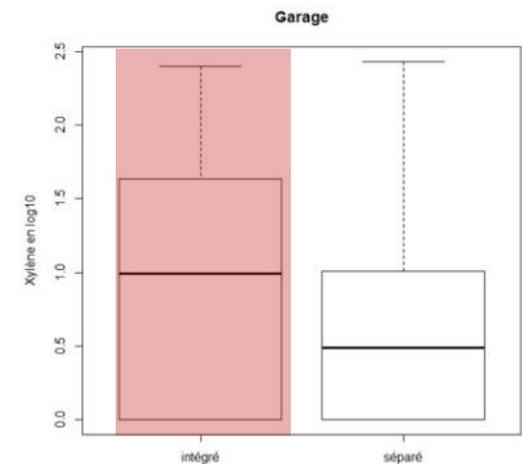
- Source principale extérieure : trafic routier
- Autres sources locales : encens, cigarette, solvants pour peinture...



$p=0.002$

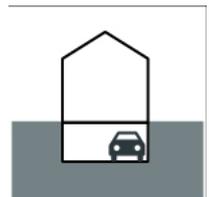


$p < 0.001$



$p < 0.001$

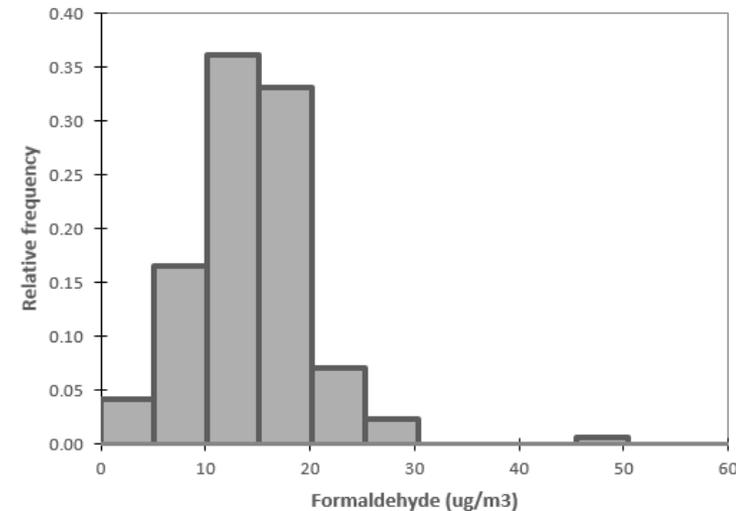
→ Concentrations moyennes en BTEX environ 2 à 3 fois supérieures dans les habitations avec un garage intérieur comparativement aux valeurs obtenues dans les habitations avec un garage séparé



Présence de de formaldéhyde?



- Polluant intérieur ubiquitaire susceptible de s'accumuler de sources multiples (résines, colles, produits ménagers, etc)
- Niveaux de formaldéhyde mesurés dans le cadre du projet Mesqualair compris entre 0.5 et 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Aucun prélèvement ne dépasse le seuil recommandé par l'OFSP (125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Concentration médiane de 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ très similaire à la valeur médiane de 19.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenue par l'Observatoire français de la qualité de l'air intérieure (OQAI) lors de sa campagne de mesure de 2007

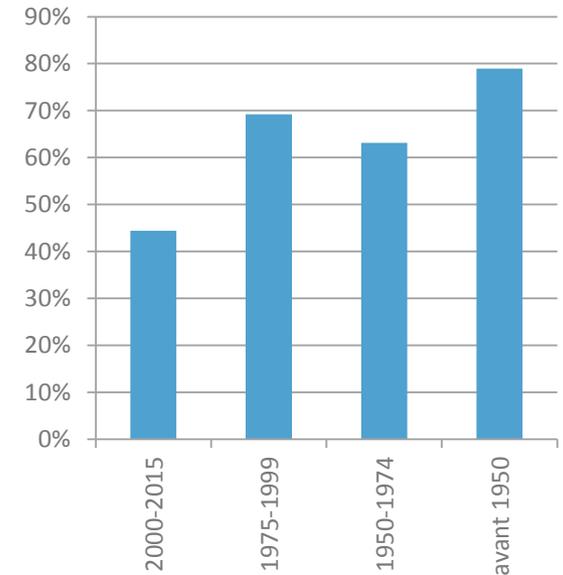


Contamination fongique

Prélèvement à la source



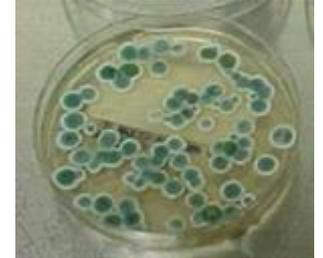
- Seuls 32% des prélèvements de surface effectués dans les bâtiments Minergie et 56% de ceux effectués dans les bâtiments rénovés (PB) se sont révélés positifs pour le développement de moisissures
- Difficulté des occupants à discriminer une moisissure du salpêtre ou encore de levures, en particulier pour les résidents des bâtiments Minergie
- Salle de bain et sous-sol peuvent être contaminés quelque soit le type de bâtiment indépendamment de l'âge du bâtiment
- Dans la chambre à coucher la fréquence de contamination augmente avec l'âge



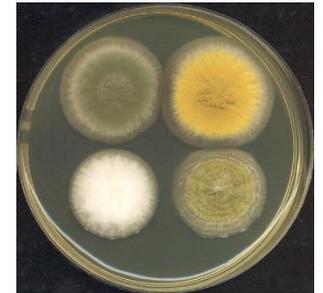
Quelles moisissures habitent nos maisons?



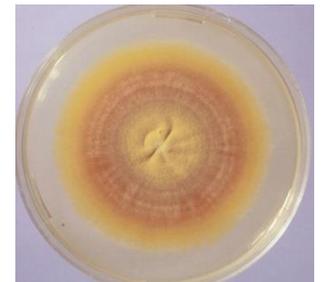
- Grande variété d'espèces
- Cladosporium (1) est la plus fréquente (résultats similaires en Europe) dans les dépendances et dans la salle de bain des bâtiments rénovés
- Aspergillus (2) et Trichothecium (3) les plus fréquentes sur les prélèvements des occupants dans l'espace de vie
- Potentiel important de développement sur différents types de supports d'où leur fréquence significative dans l'environnement intérieur



1

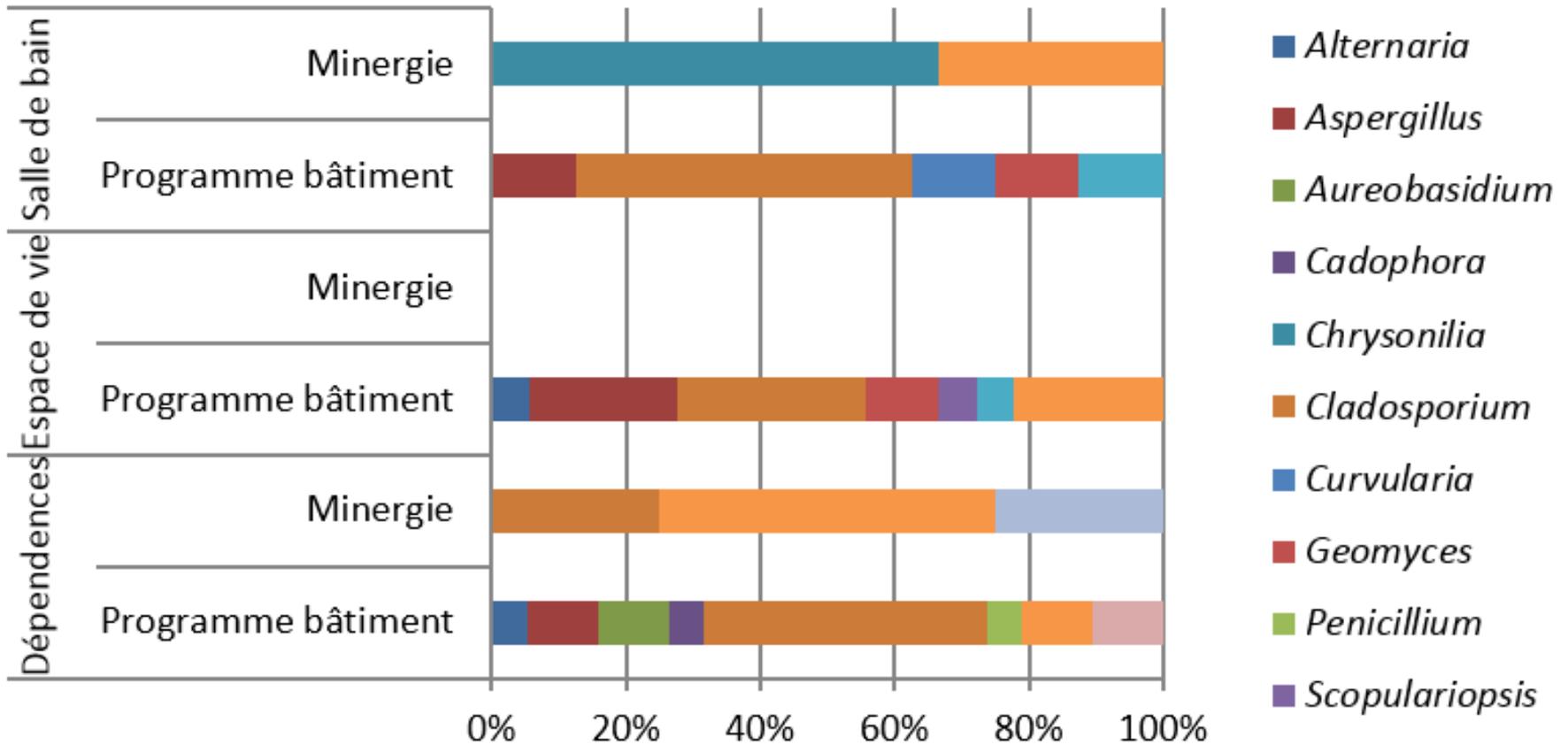


2

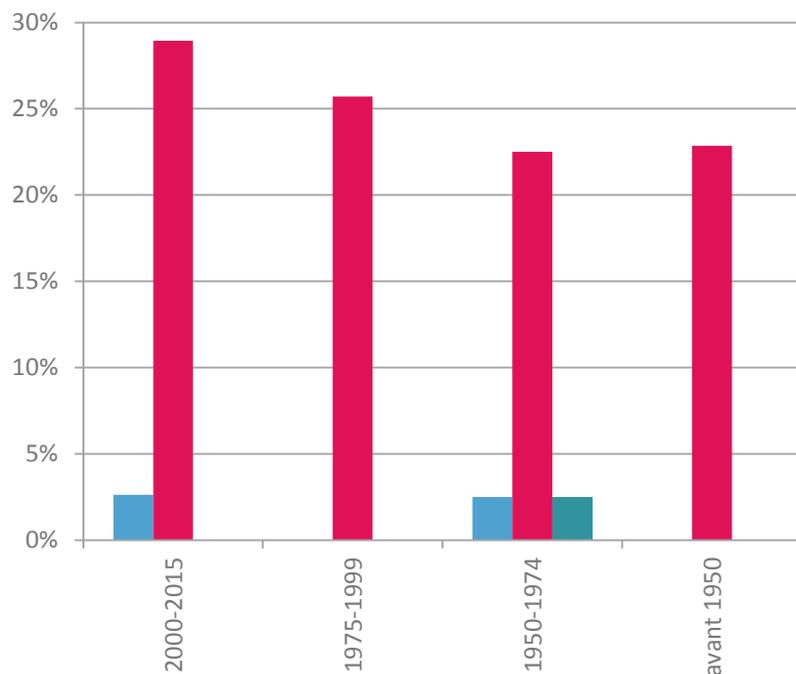


3

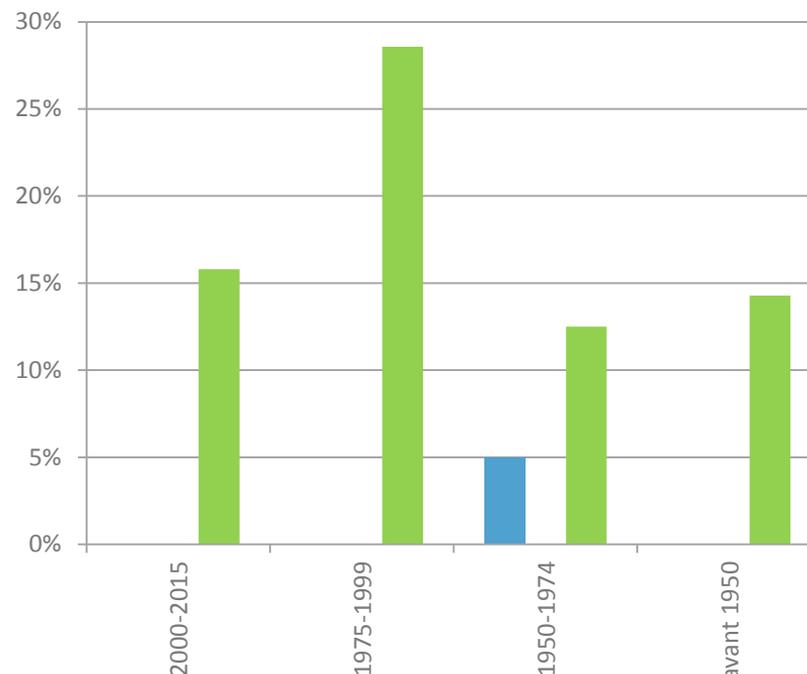
Minergie vs bâtiment rénové?



Que recèle la poussière?



Résultats des prélèvements d'été



Résultats des prélèvements automne



- *Aspergillus*
- *Cladosporium*
- *Penicillium*



Analyses croisées



- Coefficient de corrélation égal à 0.20 entre COV totaux et concentration en radon ($p=0.01$) → Si l'on a accumulation de radon, on peut aussi avoir accumulation de COV!
- Corrélation négative entre le nombre de CFU *Cladosporium* et le nombre de COV. → Plus on a de *Cladosporium* moins on a de diversité de COV ($r=-0.33$, $p<0.001$) car plus on aère plus on a de *Cladosporium* qui rentrent et plus on a des COV qui sortent
- Corrélation négative entre radon et CFU *Cladosporium* laissant présumer de la source extérieure de la moisissure
- Corrélation positive de CFU *Cladosporium* et concentration de propionaldehyde ($r=0.30$, $p<0.001$). Le *Cladosporium* libérerait ce COV dans l'environnement lorsqu'il est présent → marqueur possible

Remarques conclusives



- L'assainissement énergétique qui ne prend pas en compte le renouvellement de l'air est une source majeure de détérioration sanitaire de l'environnement intérieur voire de dégradation du bâti à moyen et long termes
- Enjeu d'avenir. La révision du cadre légal en Suisse et l'abaissement des valeurs tolérées vont contraindre à une meilleure prise en compte du radon dans le bâtiment
- Améliorer les conditions sanitaires en lien avec le radon en améliorant le renouvellement de l'air c'est aussi contribuer à une meilleure QAI
- Nécessité de sensibiliser et former les professionnels de la construction mais la gestion de ce risque au quotidien doit aussi passer par un public plus averti





Partenaires et sponsors



• Partenaires académiques et institutionnels



FRISAM

Fribourg Statistiques et Applications des Mathématiques
Freiburg Statistik und Angewandte Mathematik
Fribourg Statistics and Applied Mathematics



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Scuola universitaria professionale
della Svizzera italiana

SUPSI



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'intérieur DFI
Office fédéral de la santé publique OFSP



IST

• Partenaires économiques et sponsors



MINERGIE®

Meilleure qualité de vie, faible consommation d'énergie
Mehr Lebensqualität, tiefer Energieverbrauch



bovet jeker architectes

bovet jeker architectes sàrl | reichen 2 | 1700 fribourg
t 026.322.27.70 | f 026.322.28.80 | info@bovetjeker.ch

