



S'assurer de la qualité de l'air dans les bâtiments neufs  
ou rénovés économes en énergie

# Retour sur les principaux résultats du projet Mesqualair 2013-2016



Equipe de projet:

Joëlle Goyette Pernot, HEIA-FR, resp. du projet

Corinne Hager Jörin, HEIA-FR

Hélène Niculita Hirzel, IST

Vincent Perret, TOXpro SA

# Contexte

- Nous passons plus de 80% à l'intérieur or l'air y est 5 à 10 fois plus pollué qu'à l'extérieur!
- Niveaux de facteurs de risque souvent bien plus élevés à l'intérieur qu'à l'extérieur
- Risques de synergies entre polluants
- Durée d'exposition plus longue
- L'habitat économe en énergie est-il vraiment sans risque?



# Problématique

## OBJECTIFS À ATTEINDRE

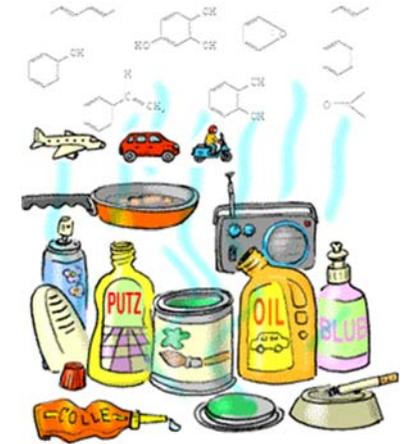
Emettre moins de CO<sub>2</sub>  
Economiser l'énergie  
Assurer le confort

Isolation  
Étanchéité à l'air  
Aération mécanique  
Installation de chauffage  
Matériaux  
Facteur humain

## MOYENS MIS EN OEUVRE



## CADRE RÉGLEMENTAIRE



Recommandations  
OMS, OFSP, KBOB



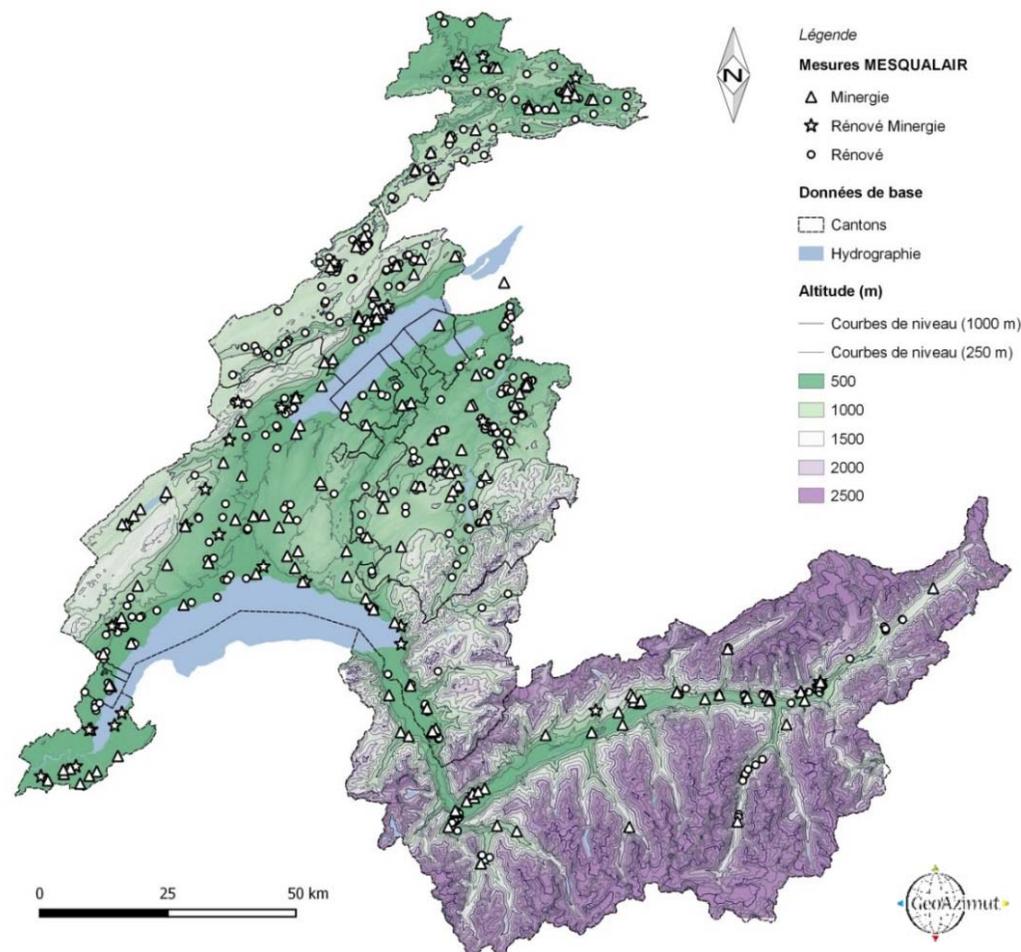
**QUELS RISQUES POUR LES OCCUPANTS?**

# Objectifs

- Réaliser une « radiographie » de l'état sanitaire du parc de logements individuels de Romandie, neufs ou rénovés et économes en énergie
- Identifier les situations les plus à risque pour la population concernée
- Déterminer les sources potentielles de cette pollution
- Élaborer des recommandations à l'intention des occupants de ces logements et des professionnels du bâtiment dans le but de les sensibiliser au problème et à quelques bonnes pratiques adaptées à ce type d'environnement bâti

# Un projet – 3 campagnes de mesures

Radon	Nombre de maisons	Fréquence relative (%)
Minergie	182	28
Rénovées M	35	5
Rénovées PB	433	67
<b>Total</b>	<b>650</b>	<b>100</b>



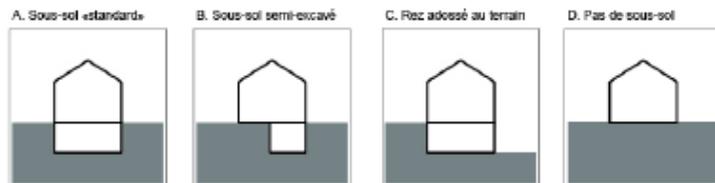
Autres mesures	COV	Moississure sédimentée /lingette	Moississure sédimentée /capteur	Moississure prélevée à la source
Minergie	45 (27%)	39 (25%)	43 (26%)	8 (13%)
Rénovées M	9 (5%)	8 (5%)	7 (4%)	4 (6%)
Rénovées PB	115 (68%)	110 (70%)	114 (70%)	52 (81%)
<b>Total</b>	<b>169</b>	<b>157</b>	<b>164</b>	<b>64</b>

# 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

4. Matériaux

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	<b>202 (100%)</b>	<b>414 (100%)</b>

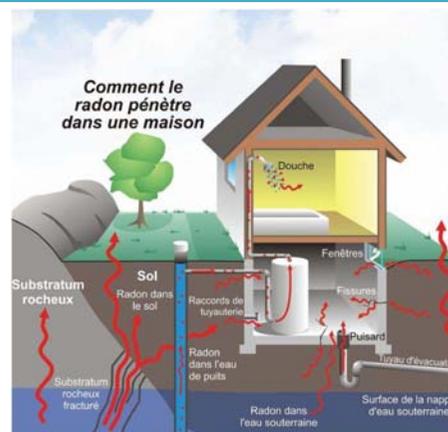
616

# Paramètres mesurés

Rn<sub>222</sub>



- Gaz radioactif naturel!
- Issu de la désintégration de l'U<sub>238</sub> présent dans la croûte terrestre
- Substance cancérigène d'origine naturelle la plus dangereuse à l'intérieur des bâtiments
- Deuxième cause de cancer des poumons chez les fumeurs et ex-fumeurs. Première cause chez les non fumeurs



Mesure passive, 3 mois

Composés organiques volatils COV



- Grand nombre de familles chimiques des hydrocarbures aromatiques (BTEX) aux alcools, aldéhydes, hydrocarbures chlorés, terpènes...
- Sources multiples (intérieur et extérieur)
- Dans l'air intérieur, normalement associés à des irritations des voies respiratoires

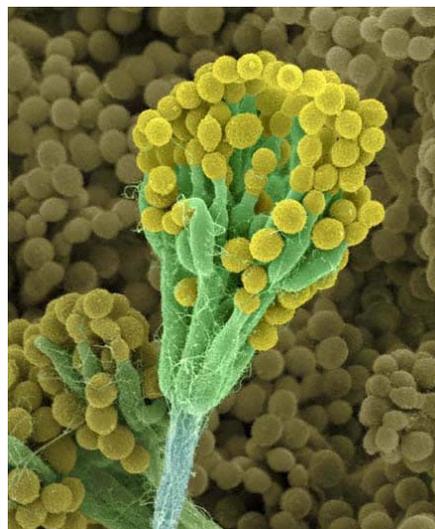


Mesures passives, 1 semaine

Moisissures



- Champignons microscopiques d'aspects filamenteux qui se développent dans le sol ou les plantes et se reproduisent en libérant des milliers de spores
- Développement possible sur les matériaux à l'intérieur si HR > 60% ou après dégât des eaux
- Si elles couvrent plus de 10 cm<sup>2</sup> peuvent être responsables du développement de l'asthme chez les enfants en bas âge et d'autres pathologies respiratoires
- Si elles couvrent plus de 1 m<sup>2</sup>, le bâti est profondément affecté



Mesures passives  
1 à 10 semaines

# Qui habite les maisons du projet?



## TYPE DE MÉNAGES ET CARACTÉRISTIQUES DOMINANTES

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Maisons individuelles</li><li>• Familles avec enfants de moins de 25 ans</li><li>• Sensibilité à la qualité écologique des produits d'entretien</li><li>• Faire son compost et vider la poubelle à épluchures au moins une fois par semaine</li><li>• Non-fumeurs</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• 74% des cas</li><li>• 77% des villas M</li><br/><li>• 80 % des cas</li><br/><li>• 82% des PB et 66% des M</li><li>• 90% des cas et plus dans villas M</li></ul> |
|---|---|

## PERCEPTION DE L'ENVIRONNEMENT INTÉRIEUR

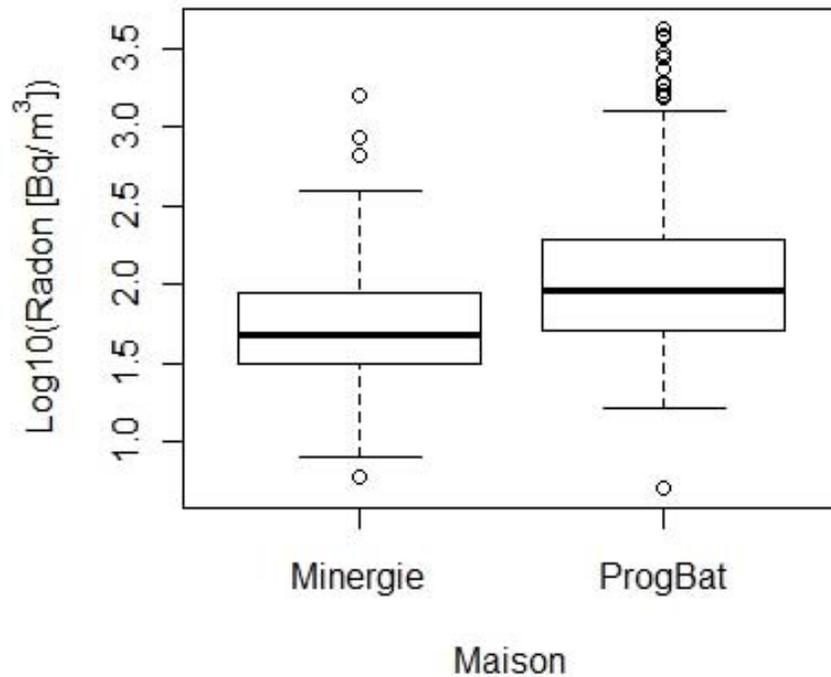
- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Gène ressentie vis-à-vis des courants d'air<ul style="list-style-type: none"><li>✓ en été</li><li>✓ en hiver</li></ul></li><li>• Qualité de l'air intérieur satisfaisante<ul style="list-style-type: none"><li>✓ en hiver</li></ul></li><li>• Air trop sec</li><li>• Niveau sonore</li><br/><li>• <b>Confort agréable en général</b></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Aucune</li><li>• Aucune pour M et 34% pour PB</li><br/><li>• 62% pour M et 57% pour PB</li><li>• 44% pour M et 37% pour PB</li><li>• Agréable dans tous les cas</li><br/><li>• <b>Plus de 65% des PB et 20% pour M</b></li></ul> |
|--|--|



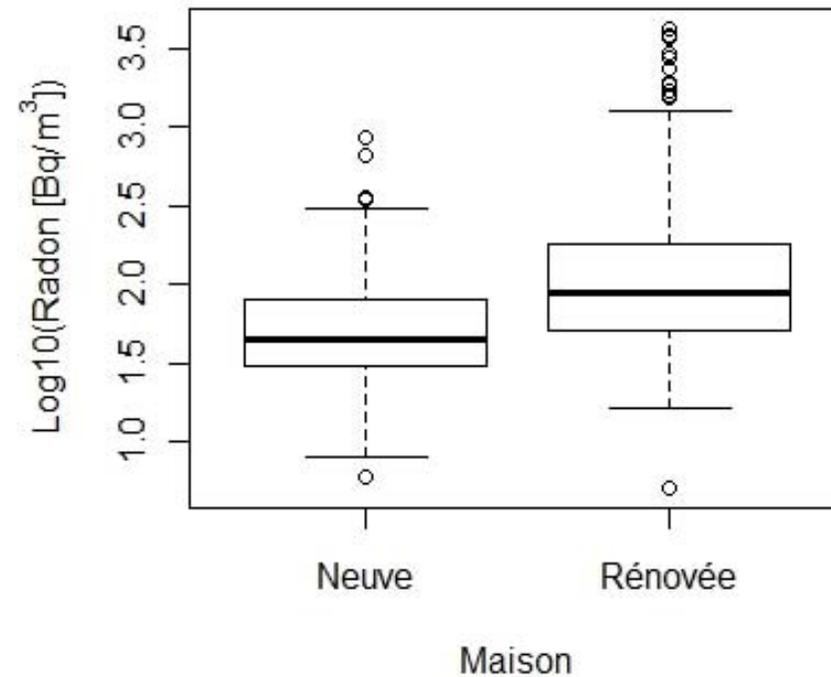
# Effet du type de bâtiment ?

Sur les 650 bâtiments

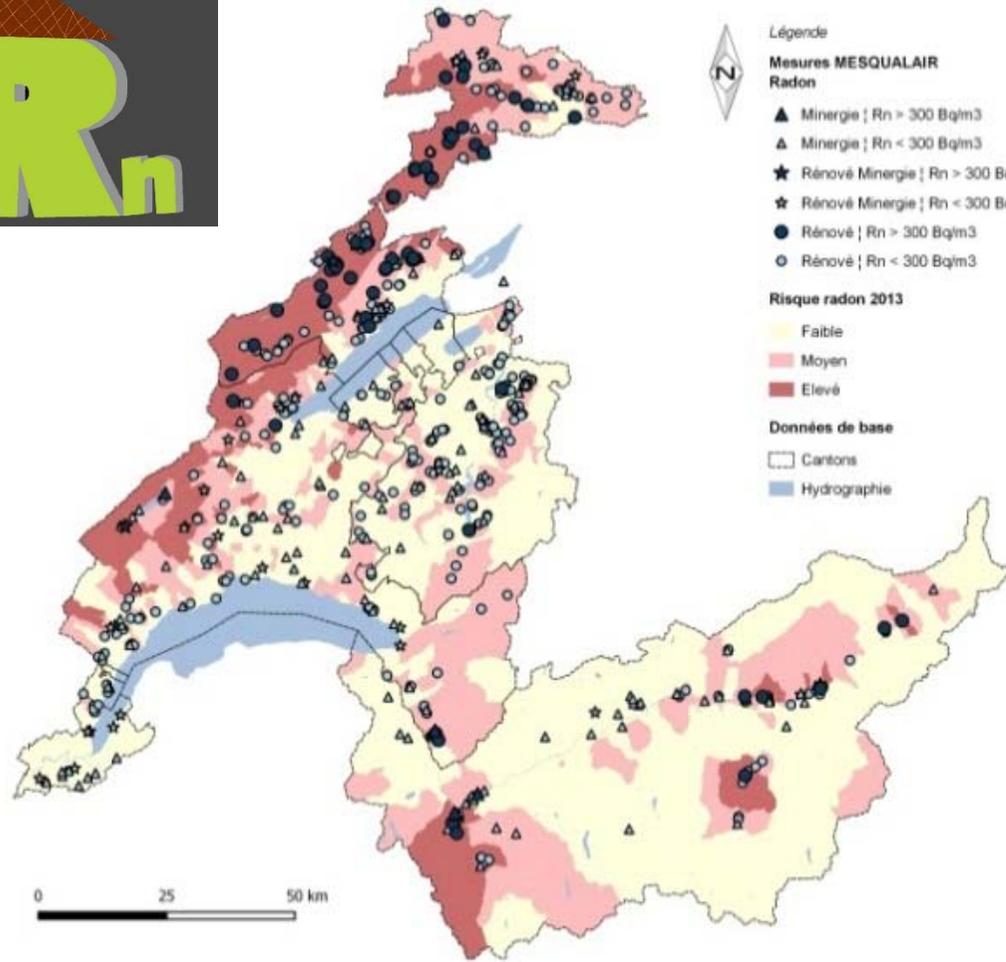
	Moyenne	Médiane	Valeur maximale
Concentration en Bq/m <sup>3</sup> d'air	184	72	4'284



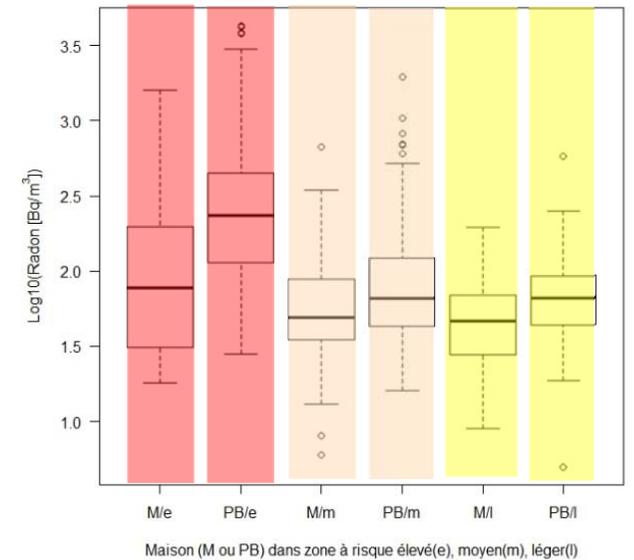
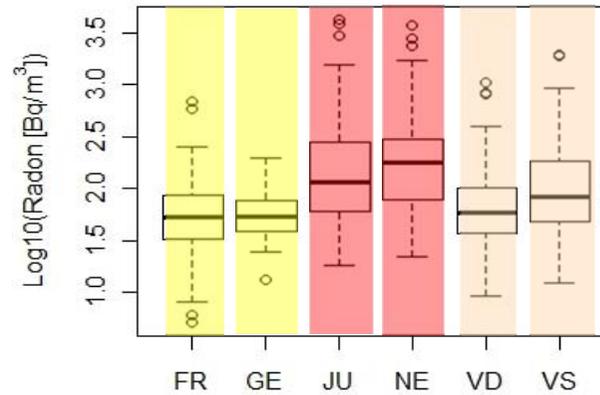
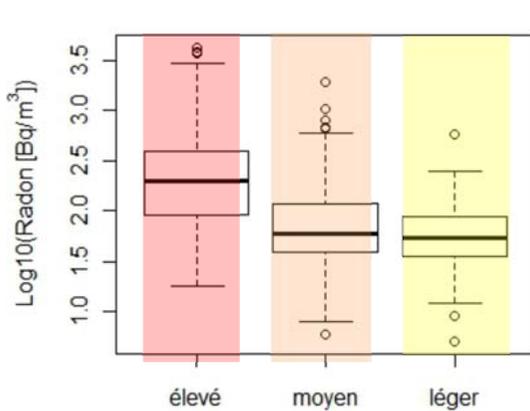
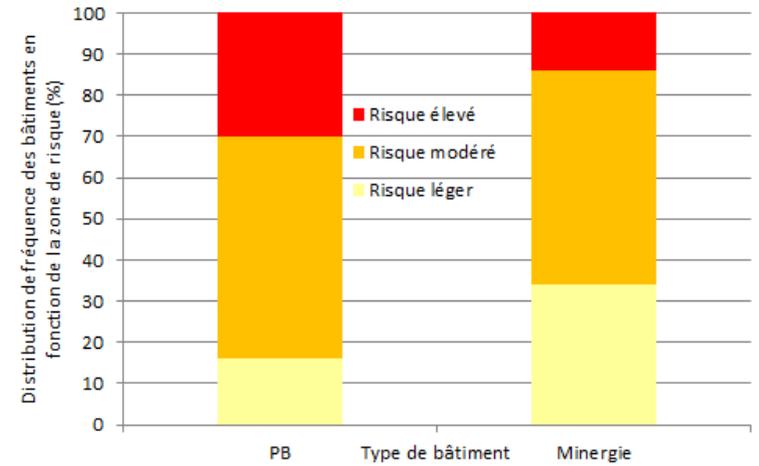
Effet significatif ( $p < 0.001$ )



Effet significatif ( $p < 0.001$ )



# Forte empreinte de la géologie

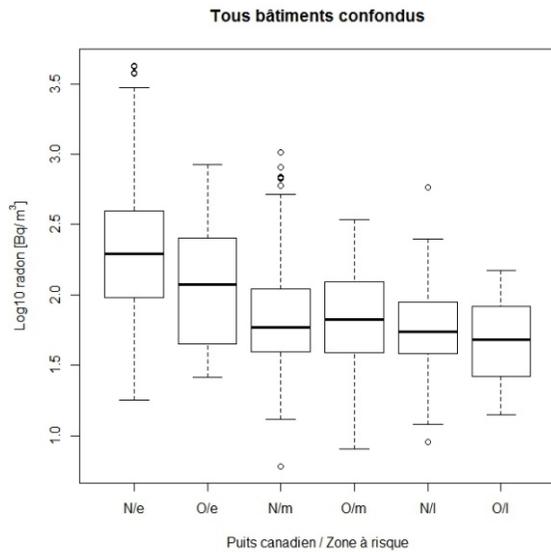
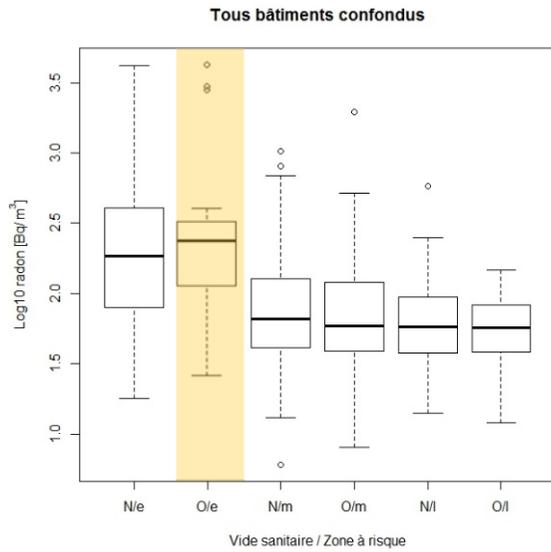


Effet significatif ( $p < 0.001$ ) Canton

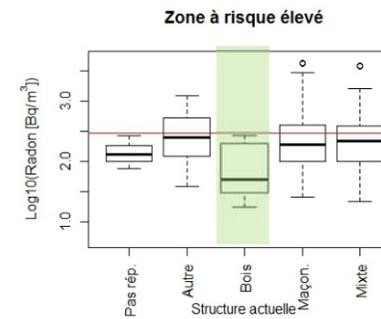
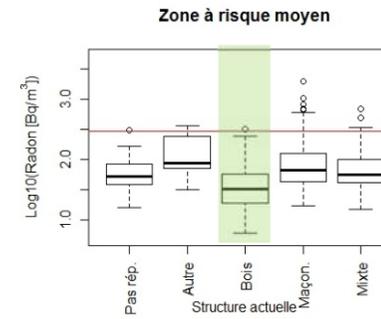
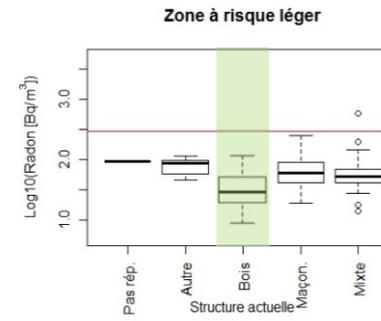
# Considérations de nature constructive



## Puits canadien et vide sanitaire



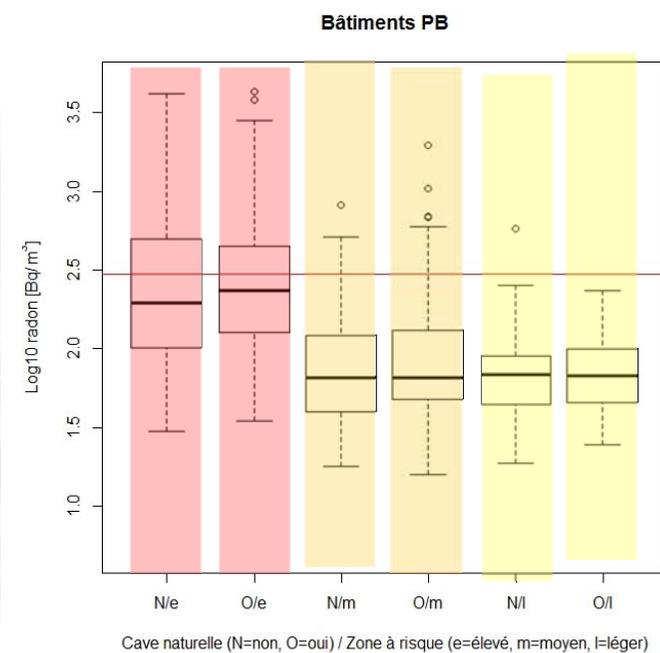
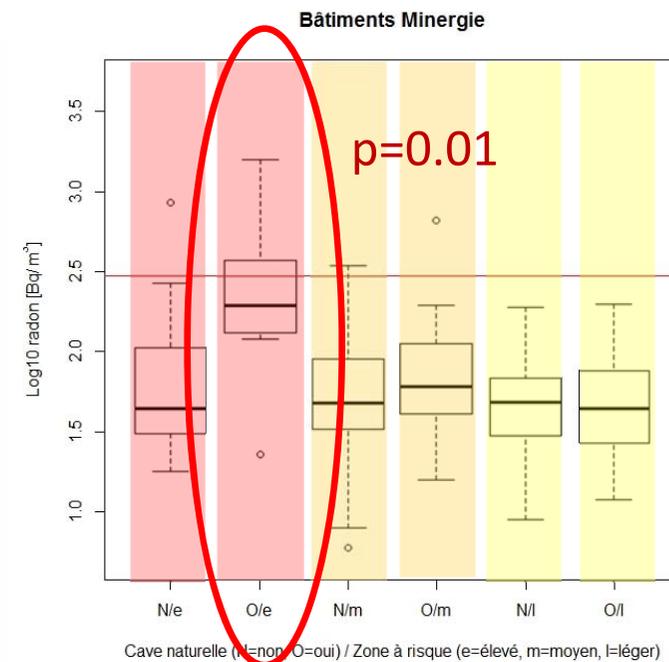
## Influence du type de structure selon la zone de risque radon



p<0.001

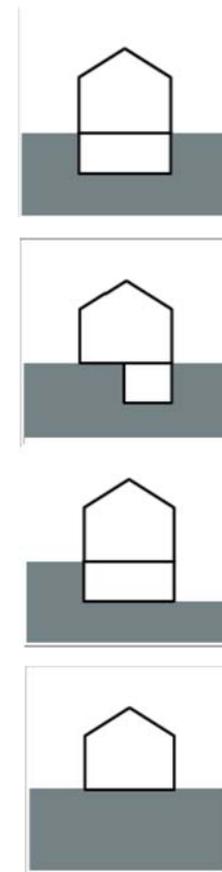
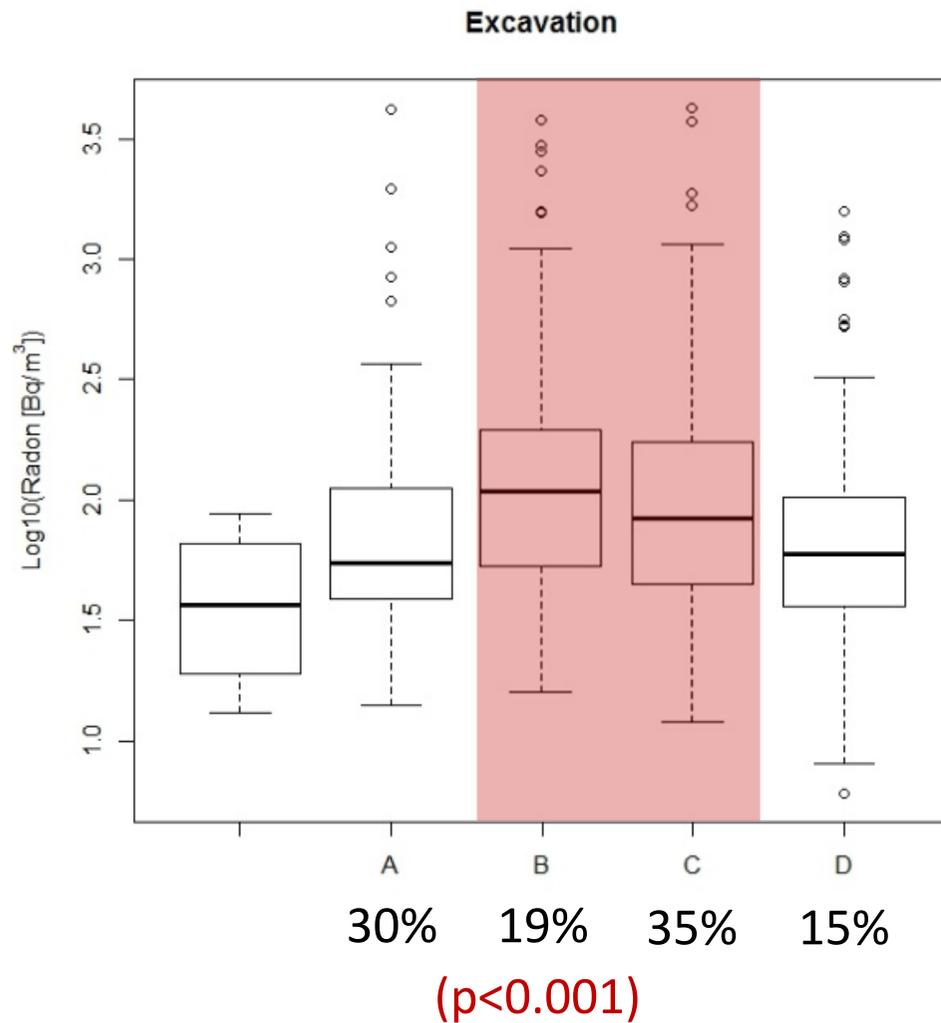


©felix



**Effet de la cave en terrain naturel juste pas significatif (p=0.053):**  
différence surtout dans la zone à risque élevé pour bâtiments Minergie

# Configuration du sous-sol



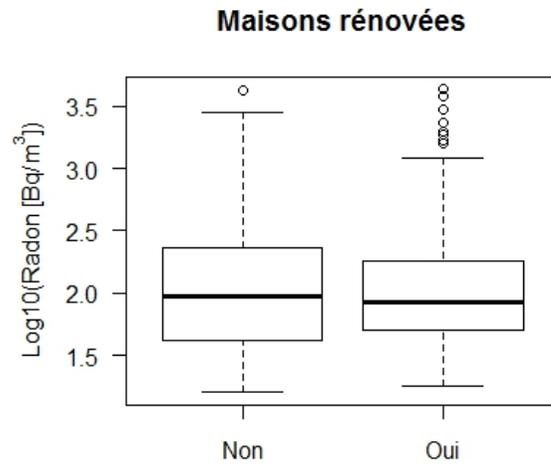
A. Sous sol standard

B. Sous sol semi excavé

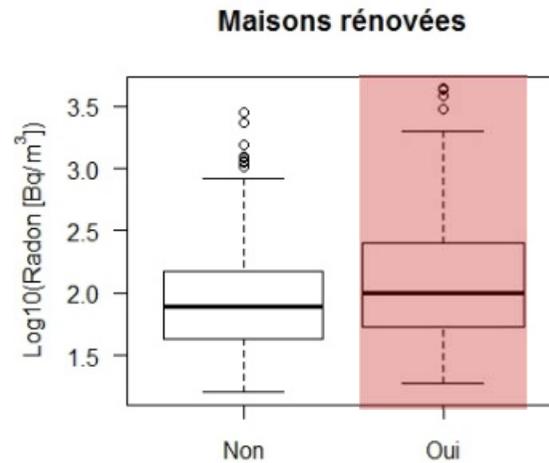
C. Rez adossé au terrain

D. Pas de sous sol

# Impact de l'assainissement énergétique



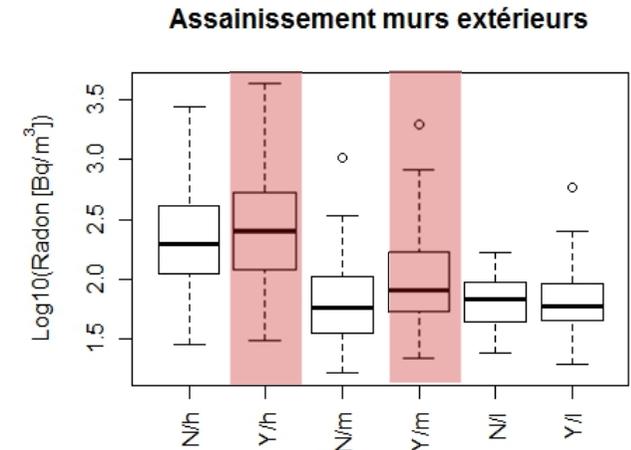
Assainissement des fenêtres



Assainissement des murs et sols extérieurs

**p<0.001**

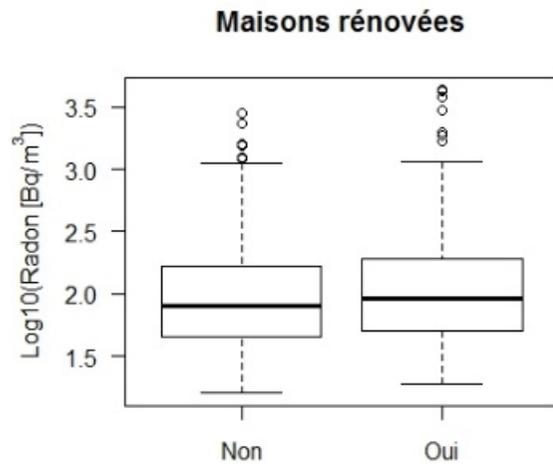
**Maisons rénovées**



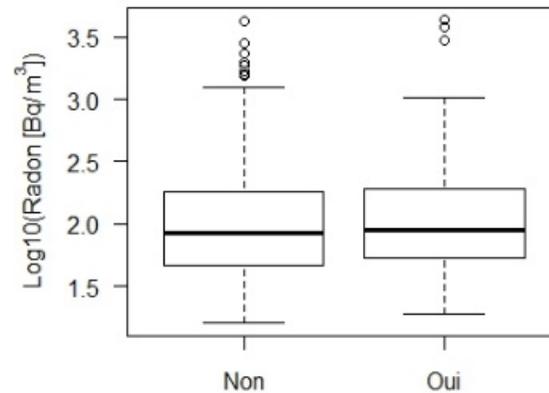
Assainissement / Zone à risque

**p<0.001**

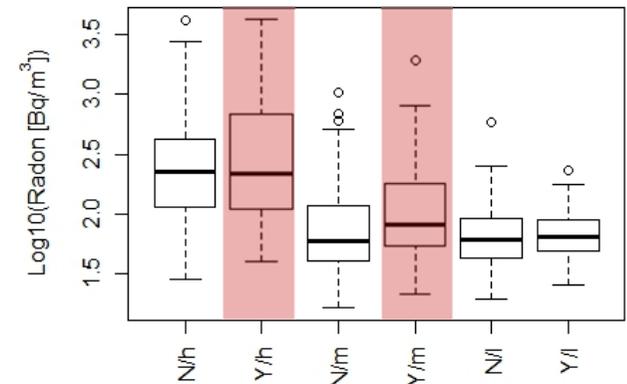
**Assain. global de l'enveloppe ext.**



Assainissement de la toiture



Assainissement des parois/plafonds à l'intérieur



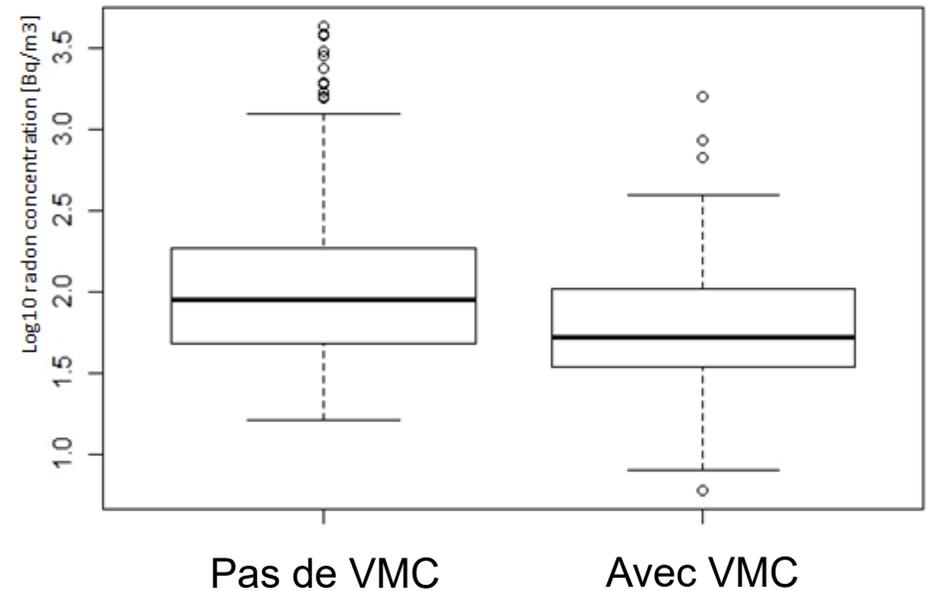
Assainissement / Zone à risque

**p=0.007**



# Avec ou sans VMC?

Type de bat	<300 Bq/m <sup>3</sup>	≥300 Bq/m <sup>3</sup>	Proportion ≥300 Bq/m <sup>3</sup> 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%

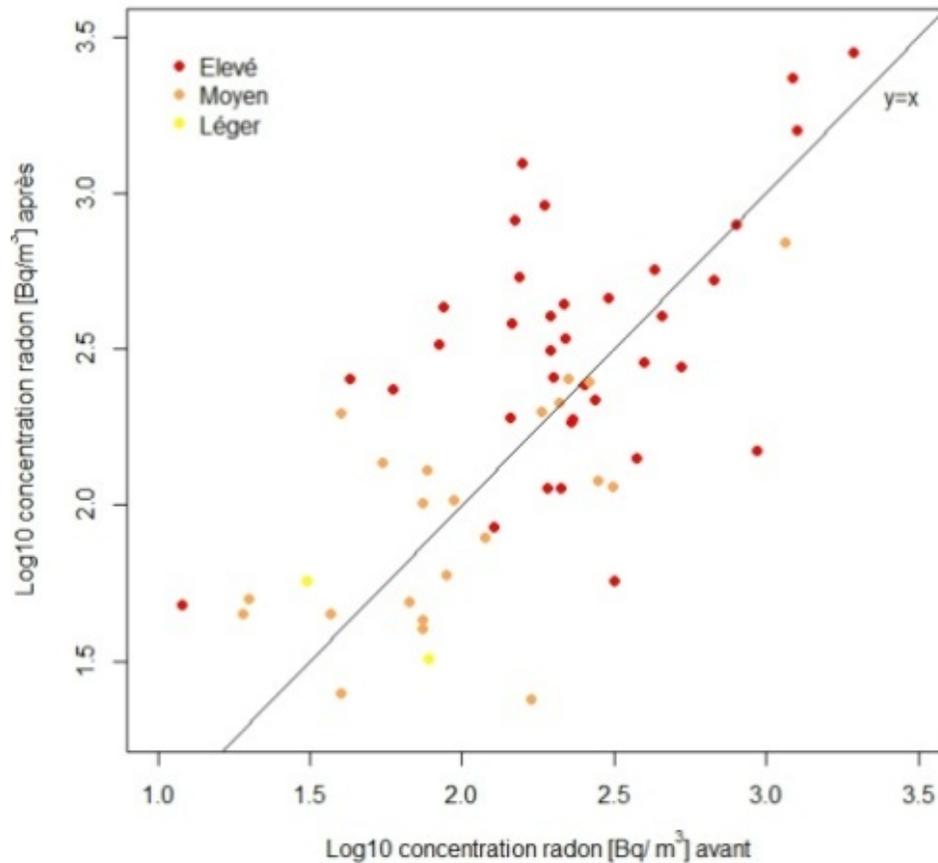


- A priori pas d'effet significatif de la VMC → Même proportion de bâtiments ≥ 300 Bq/m<sup>3</sup> d'air avec ou sans VMC
- **Mais** absence de VMC dans tous les bâtiments ≥ 1000 Bq/m<sup>3</sup> d'air → 18 cas avec une concentration moyenne de 2'031 Bq/m<sup>3</sup> d'air (médiane à 1'636 Bq/m<sup>3</sup> d'air)
- Le seul bâtiment équipé d'une VMC qui ne l'emploie que rarement présente une concentration de radon égale à 1'594 Bq/m<sup>3</sup> d'air



# Après assainissement?

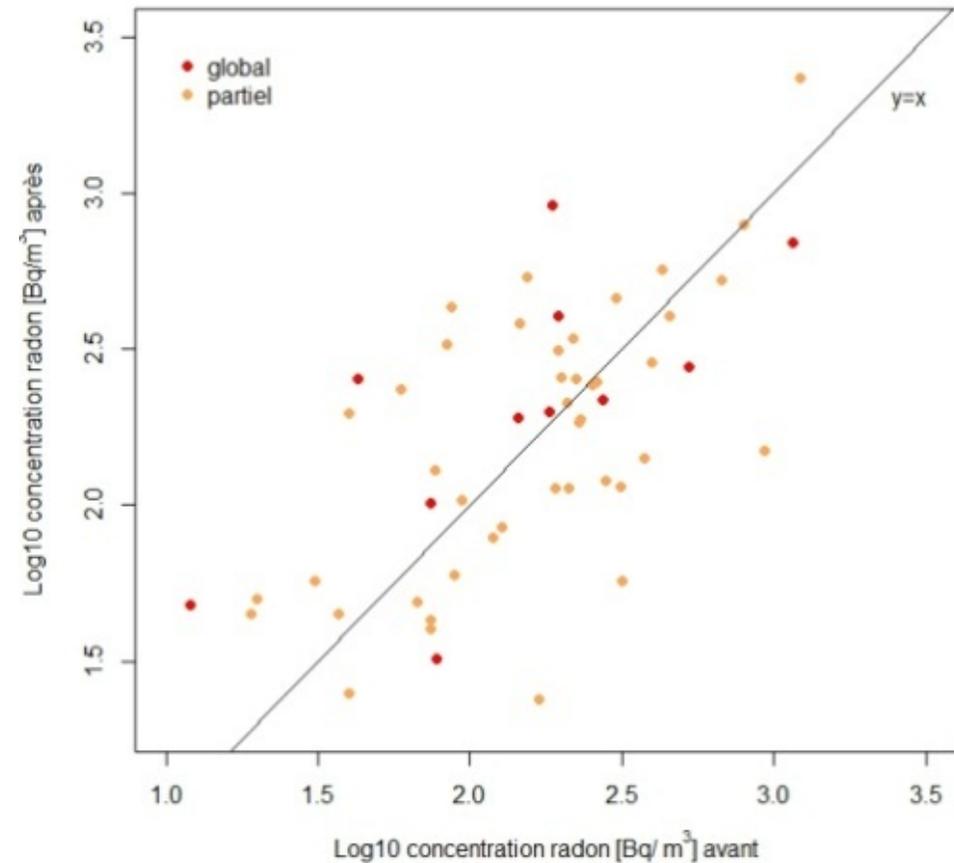
Zone à risque



$p=0.23$

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

Type d'assainissement



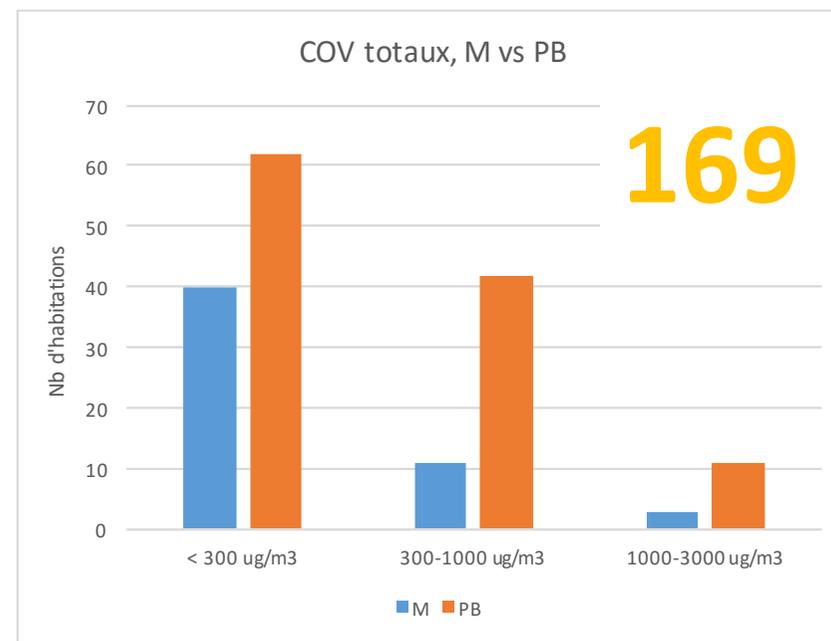
$p=0.24$

**[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 2'292  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 14 prélèvements (8%) dépassent la recommandation de l'OFSP (1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
  - 5.6% Minergie
  - 9.6% Programme bâtiment
- 21 prélèvements (12%) dépassent le seuil fixé par Minergie Eco (750  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



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

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

# Résultats globaux



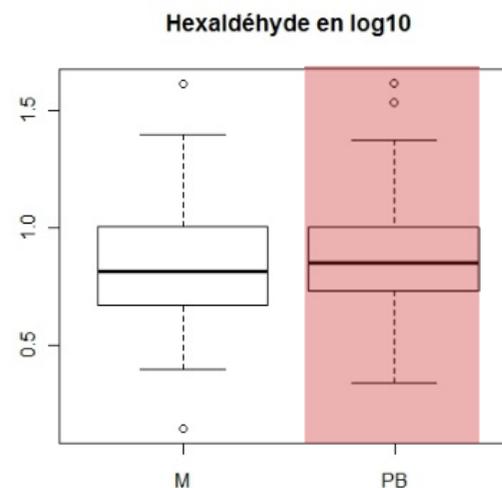
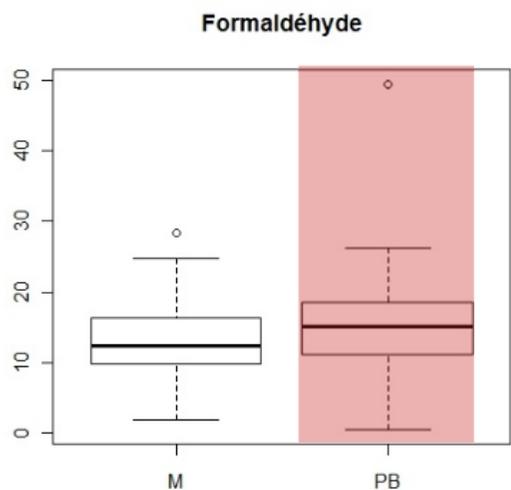
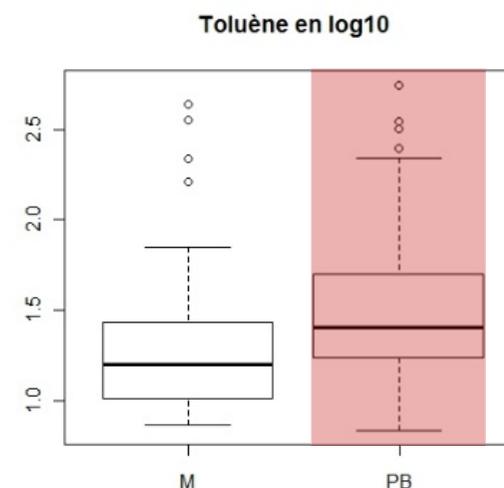
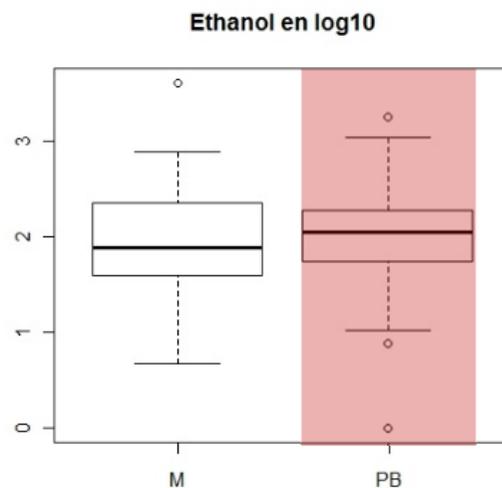
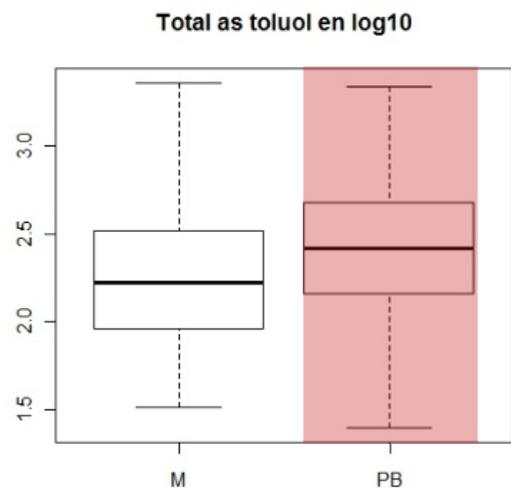
©felix

**74** substances identifiées

Toluène, Formaldéhyde,  
Hexaldéhyde trouvés dans 100%  
des prélèvements

Des terpènes (D-Limonene, alpha-  
pinene, linanol, geraniol,  
eucalyptol) ont été identifiés dans  
75% des habitations

# Quelle est l'influence du bâtiment?



	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

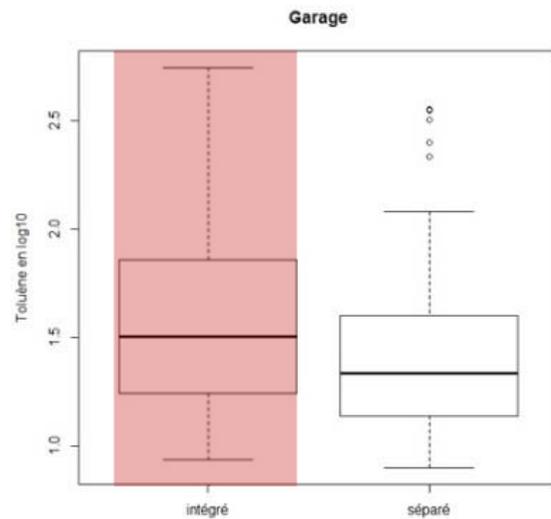
$p < 0.01$

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

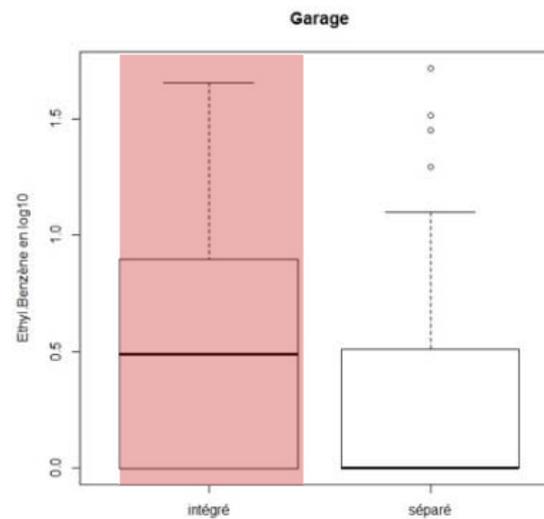


# BTEX – hydrocarbures volatiles organiques

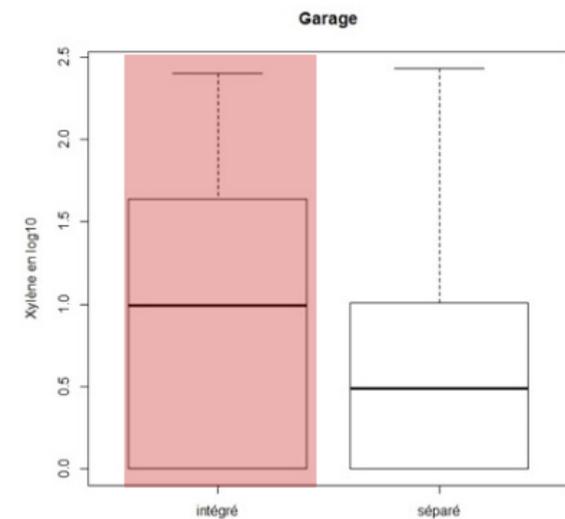
- Source principale extérieure : trafic routier
- Autres sources locales : encens, cigarette, solvants pour peinture...



$p=0.002$

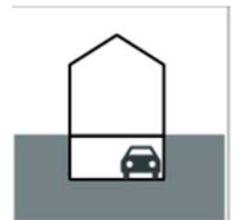


$p < 0.001$



$p < 0.001$

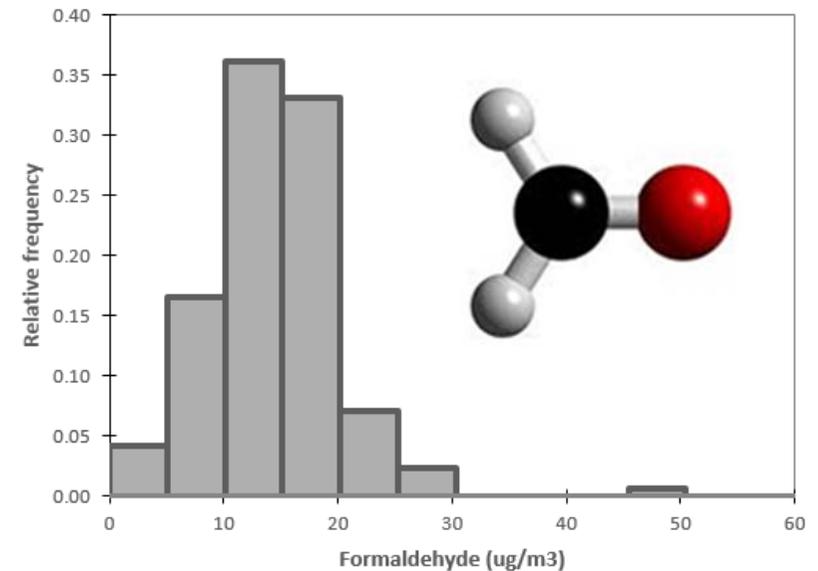
→ Concentrations moyennes en BTEX environ 2 à 3 fois supérieures dans les habitations avec un garage intérieur comparativement aux valeurs obtenues dans les habitations avec un garage séparé



# 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 logements de 2007



# Sources possibles de moisissures dans les bâtiments



## Nutriments:

- revêtement sols et murs
- déchets végétaux
- poussières de maison
- plantes

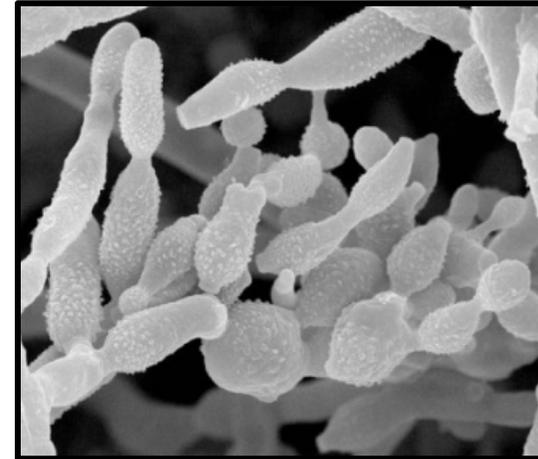


**Humidité**

# Types de moisissures rencontrées dans les bâtiments



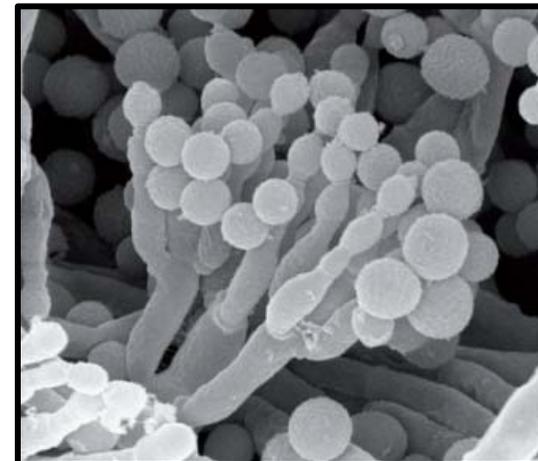
Champignons microscopiques (1 à 100  $\mu\text{m}$ )



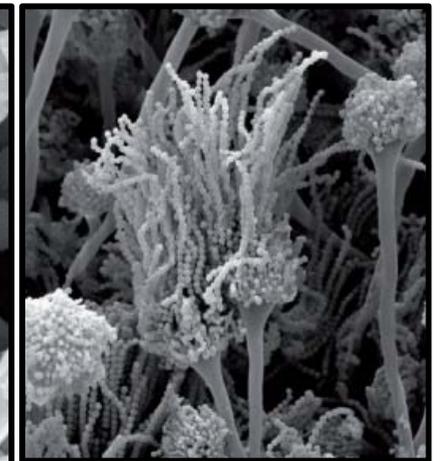
*Cladosporium*



*Alternaria*



*Penicillium*



*Aspergillus*

# Moisissures et risques

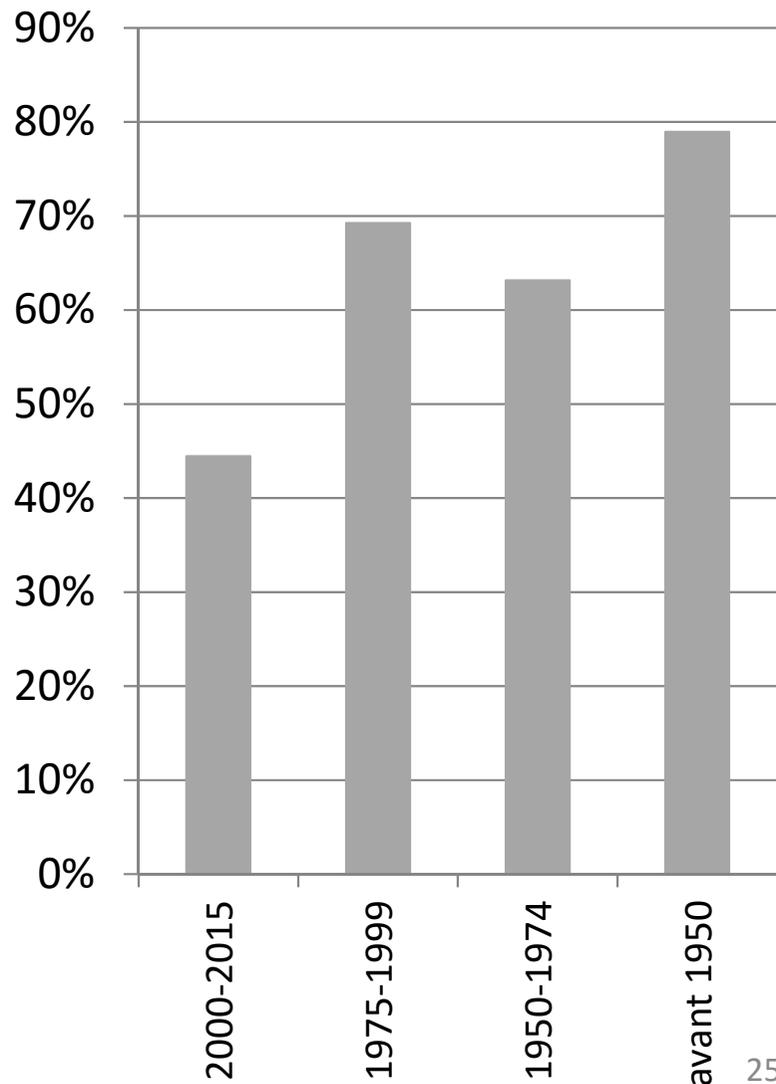


Catégorie	Description	Risque sanitaire	Risque de dommage au bâtiment
0	Surface allant jusqu'à 100 cm <sup>2</sup> (10 × 10 cm) avec traces de moisissures, à un seul endroit, dans une seule pièce	NON	NON
1	Surface allant jusqu'à 500 cm <sup>2</sup> (soit 70 × 70 cm) avec des moisissures isolées ou jusqu'à 100 cm <sup>2</sup> (10 × 10 cm) avec moisissures denses, à un seul endroit, dans une seule pièce	Inacceptable	Faible, mais peut se dégrader
2	Surface supérieure à 500 cm <sup>2</sup> (soit 70 × 70 cm) avec des moisissures isolées ou à 100 cm <sup>2</sup> (10 × 10 cm) avec moisissures denses, à un seul endroit, dans une seule pièce <b>OU</b> Nette odeur de moisi sans moisissure apparente	Inacceptable	Situation problématique, elle peut encore se détériorer

# Résultats des sources visibles



Proportion de bâtiments avérés contaminés par les moisissures en fonction de la classe de leur classe d'âge

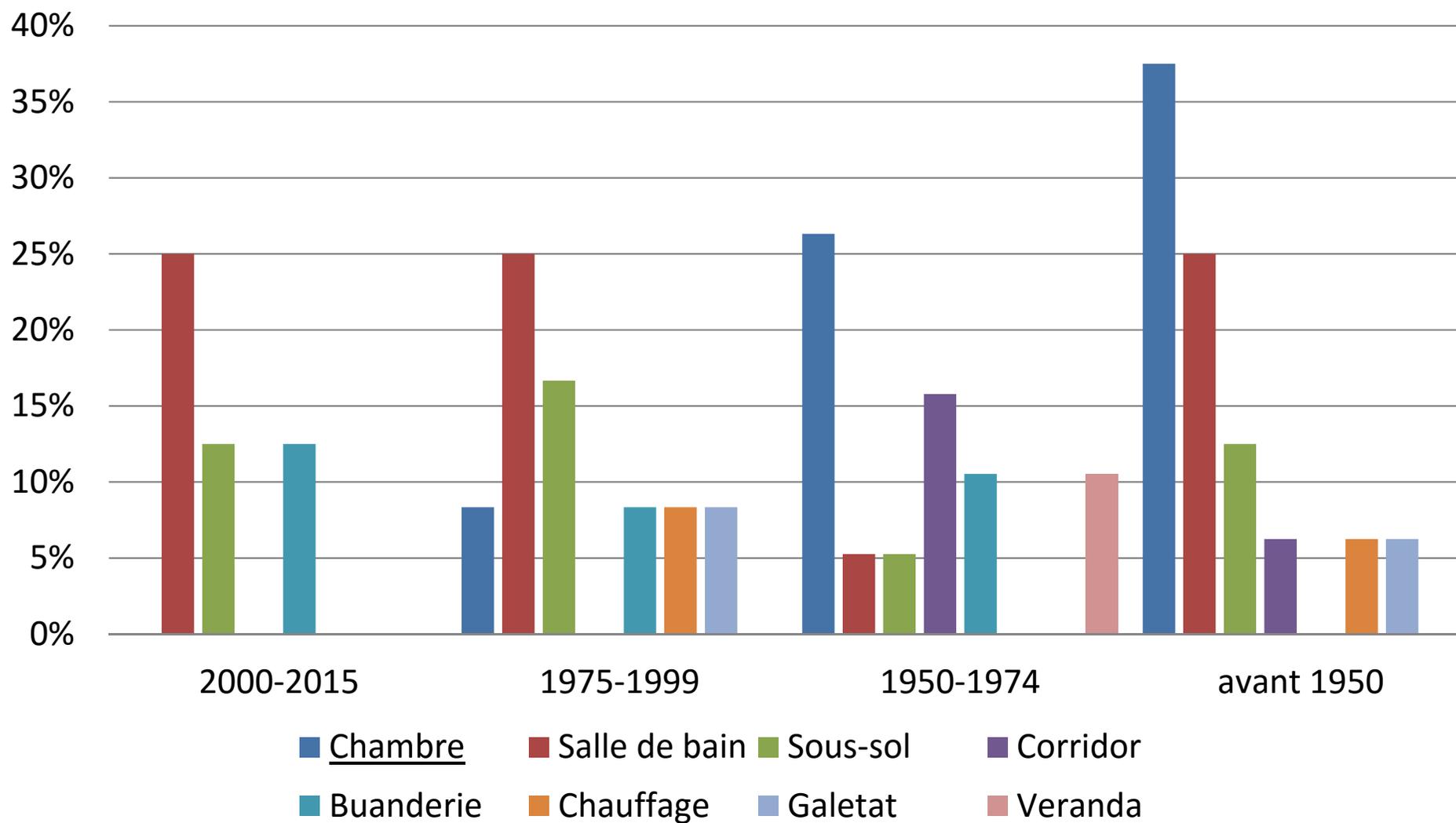


Seuls 32% des prélèvements de surface effectués dans les bâtiments Minergie et 56% de ceux effectués dans les bâtiments rénovés (PB) se sont révélés positifs pour le développement de moisissures

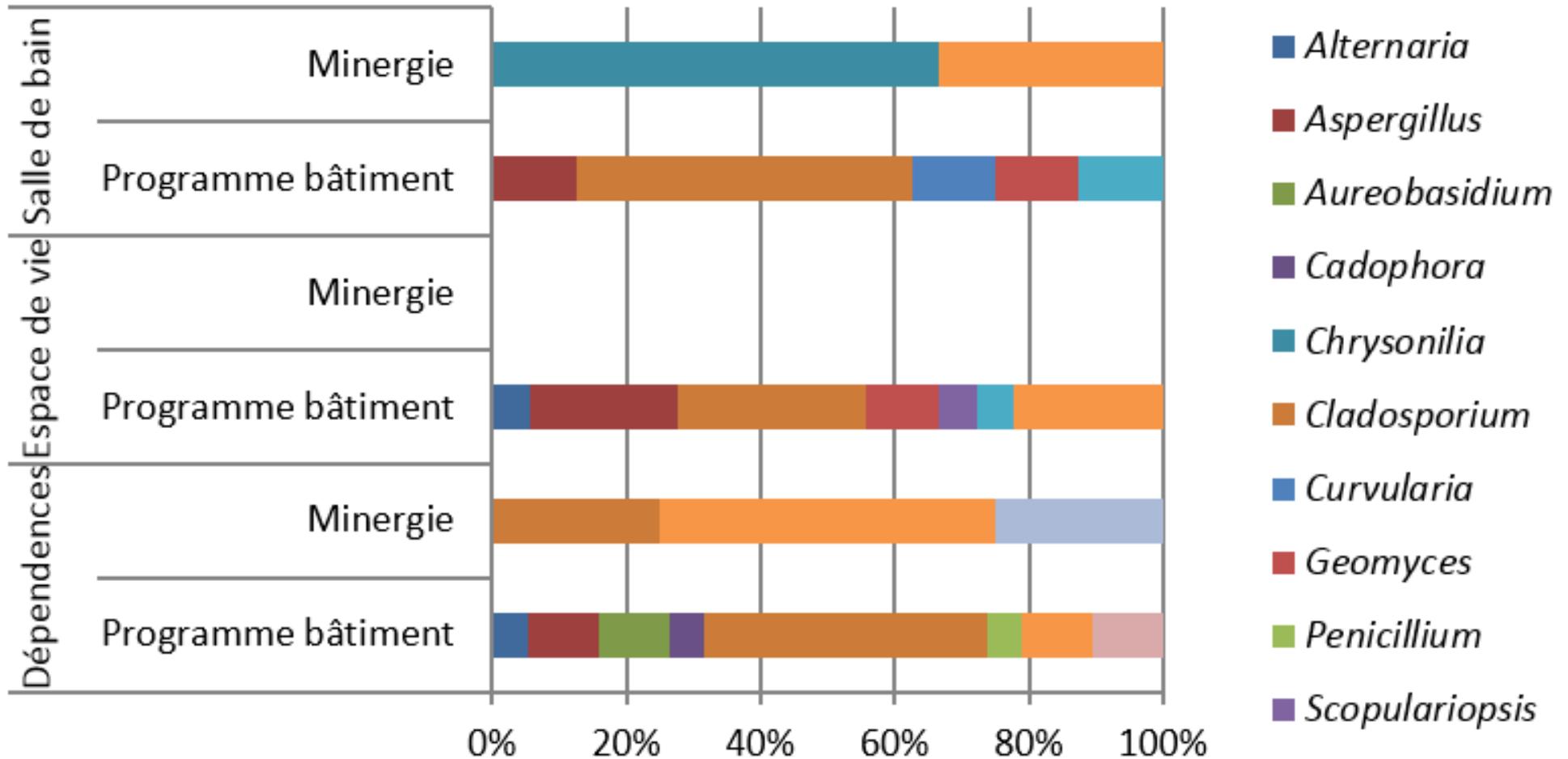
Difficulté des occupants à discriminer une moisissure du salpêtre ou encore de levures, en particulier pour les résidents des bâtiments Minergie

**Les propriétaires de bâtiments Minergie surestiment la présence de moisissures!**

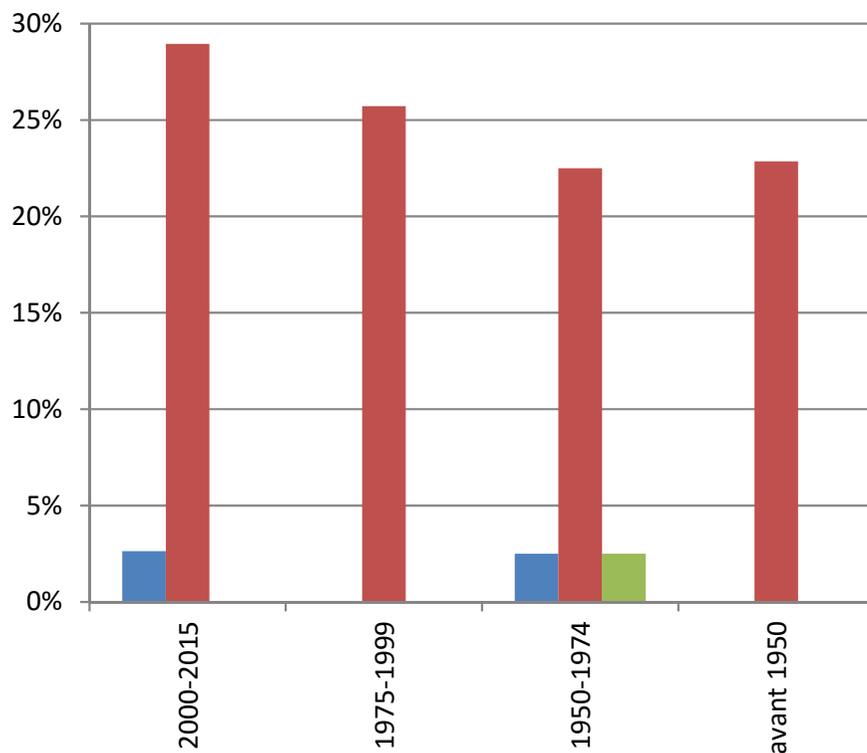
# Résultats des sources visibles – diversité et emplacements



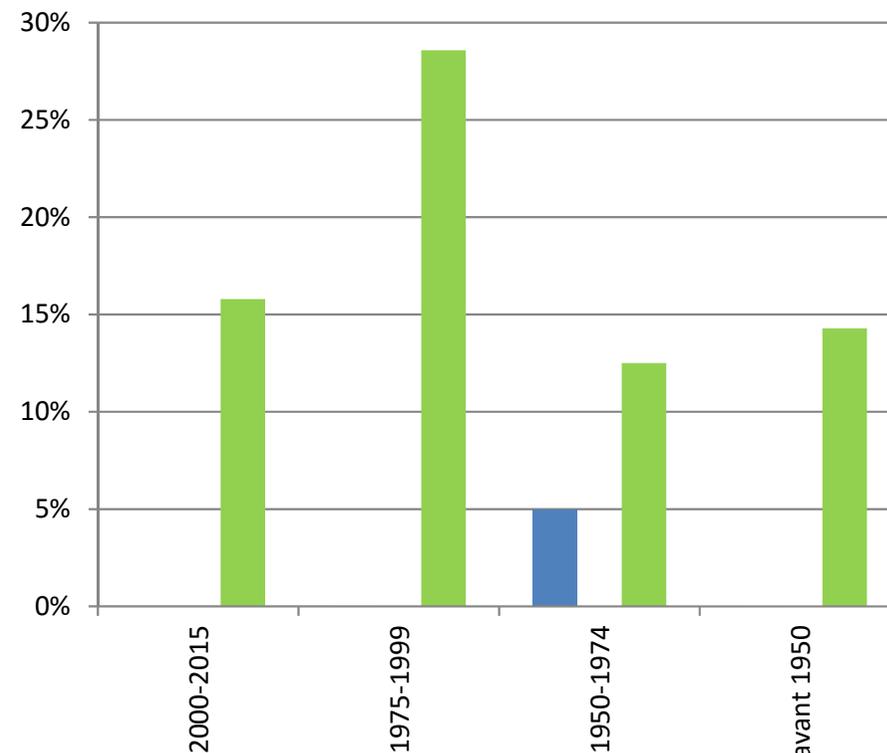
# Minergie vs bâtiment rénové?



# 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



- Globalement la situation dans les habitations individuelles en Suisse romande n'est pas catastrophique mais nécessite une grande vigilance
- La population qui a pris part au projet était certainement plus sensibilisée que celle vivant dans des logements collectifs
- Assurer un bon renouvellement de l'air, c'est contribuer à une meilleure QAI et à une amélioration globale de la qualité sanitaire du cadre bâti
- Sensibiliser et former les professionnels est un réel enjeu mais la gestion de ce risque au quotidien doit aussi passer par un public averti
- Des économies d'énergie, oui! mais «le mieux ne doit pas être l'ennemi du bien»!

# Je vous remercie pour votre attention



© felix

Pour en savoir plus:



Dr Joëlle Goyette Pernot

HEIA-FR

Bd de Pérolles 80

CH-1700 Fribourg

[joelle.goyette@hefr.ch](mailto:joelle.goyette@hefr.ch)



# Partenaires et sponsors



- Partenaires académiques et institutionnels



ÉCOLE POLYTECHNIQUE  
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Scuola universitaria professionale  
della Svizzera italiana

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

**FRISAM**

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

**SUPSI**



**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 | reichlen 2 | 1700 fribourg  
t. 026.322.27.70 | f. 026.322.28.80 | info@bovetjeker.ch

