



Vers une meilleure prise en compte de la qualité de l'air intérieur et de la santé dans les logements individuels basse consommation :

Développement d'une approche performantielle de la ventilation

Gaëlle Guyot

Cerema Centre-Est – LOCIE

Directrices : Pr. Evelyne Gonze & Pr. Monika Woloszyn, Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, LOCIE

Enjeux : l'air que nous respirons

- 30 j sans manger – 3 j sans boire – 3 min sans respirer
- Temps passé > 90% à l'intérieur
- Un air intérieur plus pollué qu'à l'extérieur

⇒ FR : 20 000 décès et 19,5 Milliards d'€uros / an

⇒ Monde :

Accidents de la
route

(4 000 μ DALY.pers⁻¹.an⁻¹)

< Pollution de
l'air intérieur <

Maladies
cardiovasculaires

(11 000 μ DALY.pers⁻¹.an⁻¹)

* μ DALY : Disability-Adjusted Life Years, Nombre d'années en bonne santé

Définition : approche performantielle

■ Approches prescriptive vs. performantielle

“Turn left at the next traffic lights, then take the fourth street to the right, go right ahead at the first roundabout, turn to the right at the second roundabout and keep the left lane, then turn



Spekkink, D. 2005. Key note presentation on PeBBu, CIB Conference, Helsinki, 2005

“To the airport!”



Spekkink, D. 2005. Key note presentation on PeBBu, CIB Conference, Helsinki, 2005

Définition : approche performantielle

■ Approches prescriptive vs. performantielle

“Turn left at the next traffic lights, then take the fourth street to the right, go right ahead at the first roundabout, turn to the right at the second roundabout and keep the left lane, then turn



Spekkink, D. 2005. Key note presentation on PeBBu, CIB Conference, Helsinki, 2005

“To the airport!”



Spekkink, D. 2005. Key note presentation on PeBBu, CIB Conference, Helsinki, 2005.

Méthodes d'évaluation de la performance énergétique

- C_{ep} en $kW_{ep}/(m^2.an)$
- B_{bio}
- T_{ic} ($^{\circ}C$)

Définition : approche performantielle

■ Approches prescriptive vs. performantielle

“Turn left at the next traffic lights, then take the fourth street to the right, go right ahead at the first roundabout, turn to the right at the second roundabout and keep the left lane, then turn



Spekkink, D. 2005. Key note presentation on PeBBu, CIB Conference, Helsinki, 2005

Ventilation des logements

- Q extraits en pièce humide
- Entrées d'air dans les pièces de vie
- Taille du détalonnage des portes
 - Etc...

“To the airport!”



Spekkink, D. 2005. Key note presentation on PeBBu, CIB Conference, Helsinki, 2005.

Méthodes d'évaluation de la performance énergétique

- C_{ep} en $kW_{ep}/(m^2.an)$
- B_{bio}
- T_{ic} ($^{\circ}C$)

Définition : approche performantielle

■ Approches prescriptive vs. performantielle

“Turn left at the next traffic lights, then take the fourth street to the right, go right ahead at the first roundabout, turn to the right at the second roundabout and keep the left lane, then turn



Spekkink, D. 2005. Key note presentation on PeBBu, CIB Conference, Helsinki, 2005

“To the airport!”



Spekkink, D. 2005. Key note presentation on PeBBu, CIB Conference, Helsinki, 2005

Demain : Performance globale ?

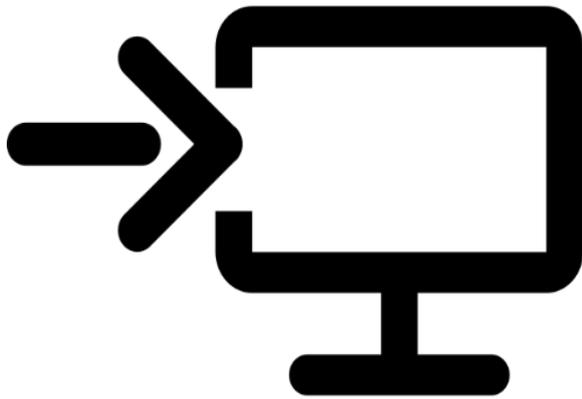
C_{ep}
 B_{bio}
 T_{ic}



Indicateurs de QAI
 (exposition,
 concentration, ...)

Vers une approche performantielle pour la ventilation ?

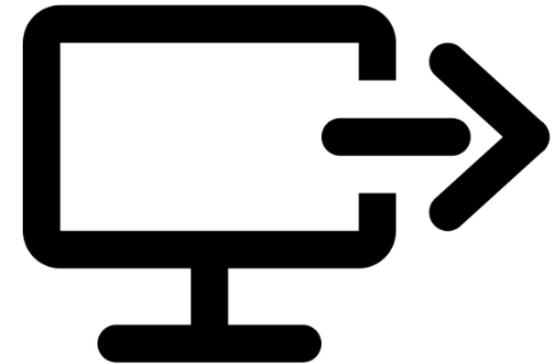
Une approche en 3 points ...



Entrées :
Scénarios



Modélisation

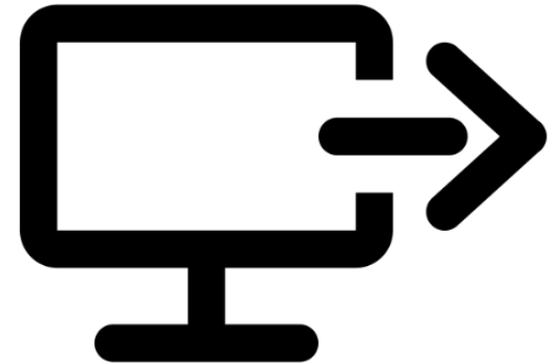


Sorties :
**Indicateurs
performance QAI**

Vers une approche performantielle pour la ventilation ?

... et autant de verrous scientifiques !

1

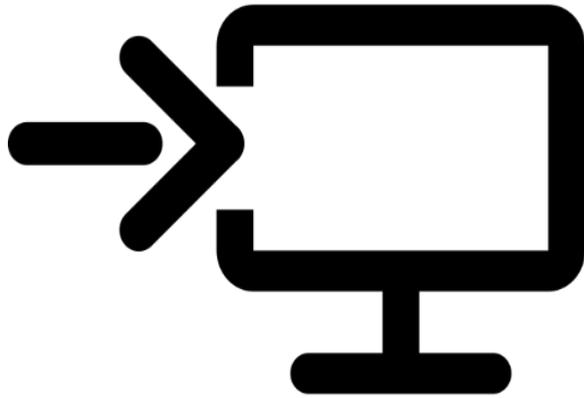


**Quel jeu limité
d'indicateurs de
performance ?**

Vers une approche performantielle pour la ventilation ?

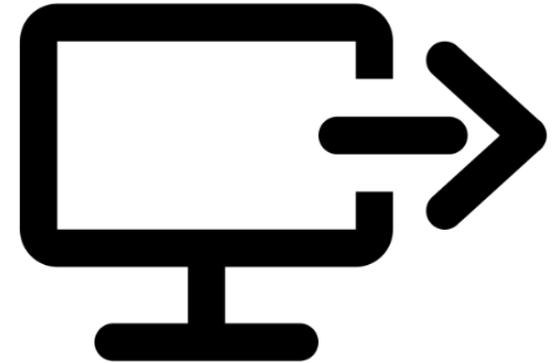
... et autant de verrous scientifiques !

2



Données d'entrée
Quels scénarios ?

1

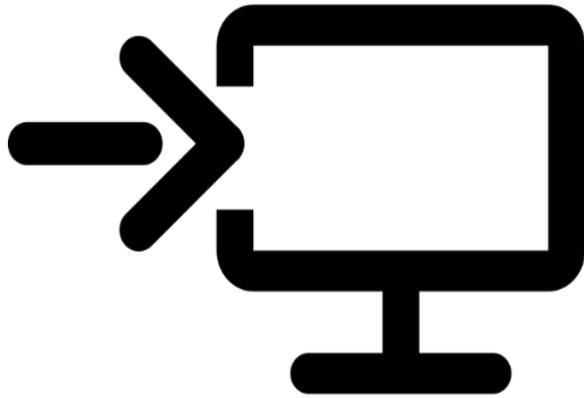


Quel jeu limité de
d'indicateurs de
performance ?

Vers une approche performantielle pour la ventilation ?

... et autant de verrous scientifiques !

2



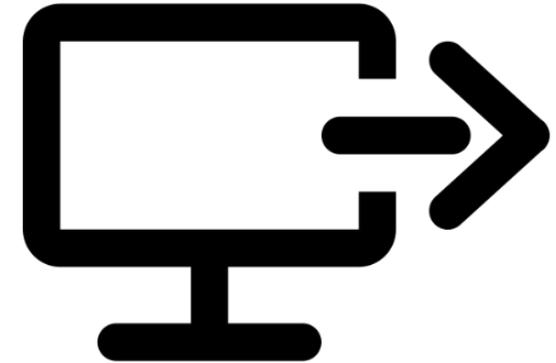
Données d'entrée
Quels scénarios ?

3



Modélisation
Niveau de détail ?

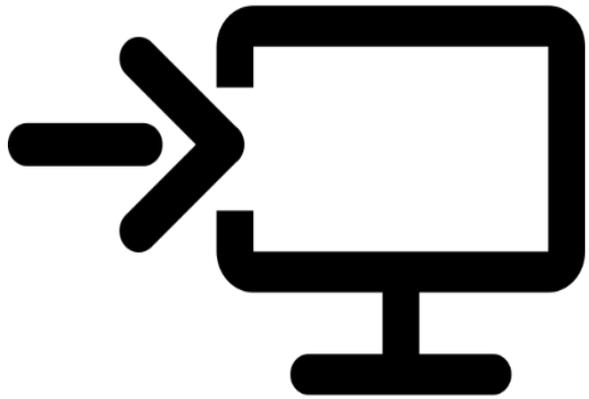
1



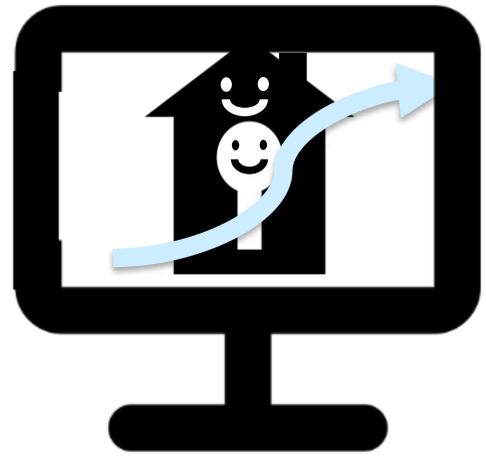
Quel jeu limité de
d'indicateurs de
performance ?



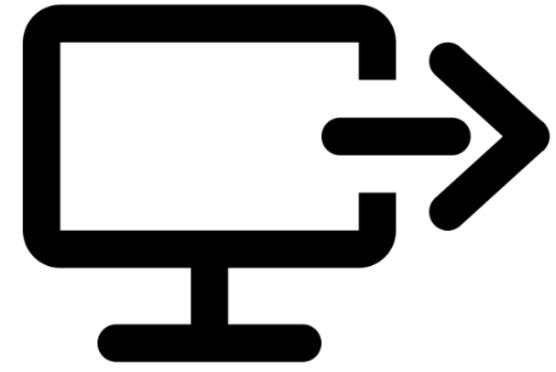
Bibliographie
Littérature + Normes + Réglementations



Données d'entrée
Quels scénarios ?



Modélisation
Niveau de détail ?



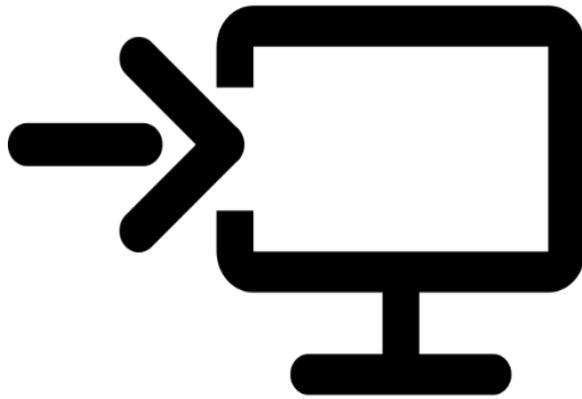
Quel jeu limité de
d'indicateurs de
performance ?

Guyot, G., Walker, I.S., Sherman, M.H., 2018. Performance based approaches in standards and regulations for smart ventilation in residential buildings: a summary review. International Journal of Ventilation 0, 1–17.

Guyot, G., Sherman, M.H., Walker, I.S., 2018. Smart ventilation energy and indoor air quality performance in residential buildings: A review. Energy and Buildings 165, 416–430.

Modèle multizone

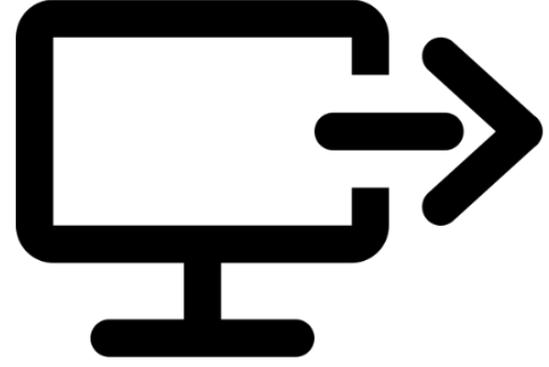
Etude exploratoire
Impact des distributions
de perméabilité à l'air



Données d'entrée
Quels scénarios ?

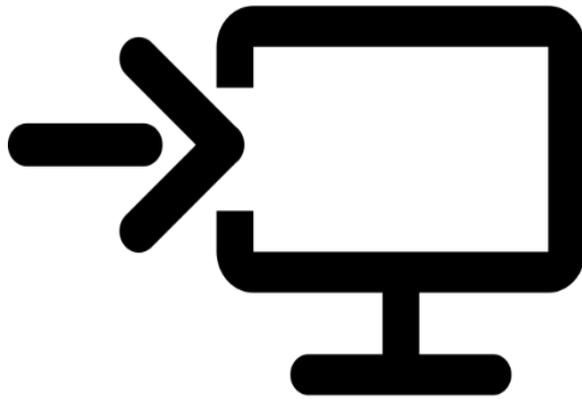


Modélisation
Niveau de détail ?



**Quel jeu limité de
d'indicateurs de
performance ?**

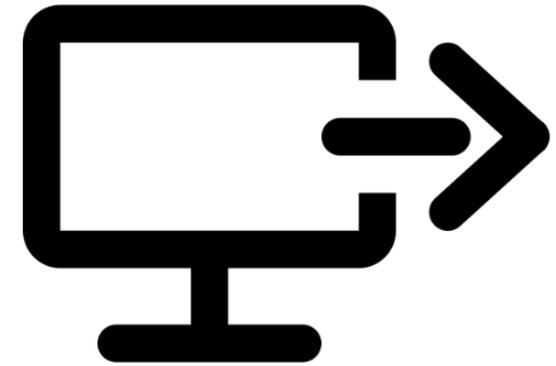
**Confrontation avec études de cas
(modélisation)**



**Données d'entrée
Quels scénarios ?**



**Modélisation
Niveau de détail ?**



**Quel jeu limité de
d'indicateurs de
performance ?**



Proposition d'une méthode

Deux questions clés

- 1.** Avec quel niveau de détail modéliser les distributions de perméabilité à l'air ?
- 2.** Est-il possible de développer une approche performantielle pour la ventilation des logements applicable à la conception ?



Plan de soutenance

1. Impact des distributions de perméabilité à l'air

- Campagne de mesure
- Etude numérique

2. Approche performantielle pour la ventilation

- Méthode proposée
- Application de la méthode à un cas d'étude

3. Conclusions et perspectives

Plan de soutenance

1. Impact des distributions de perméabilité à l'air

- Campagne de mesure
- Etude numérique

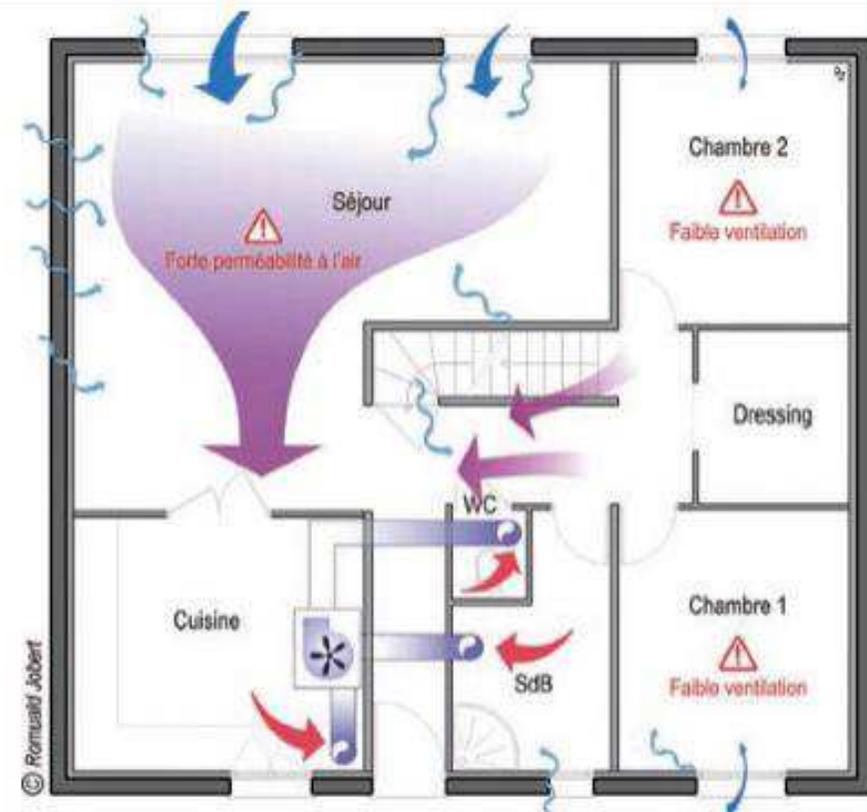
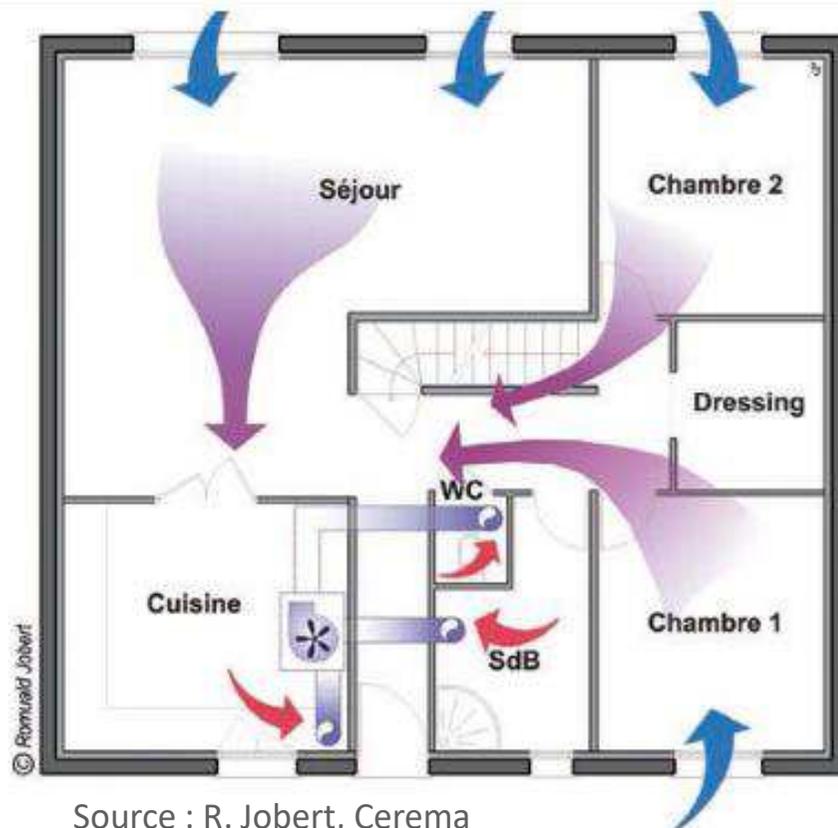
2. Approche performantielle pour la ventilation

- Méthode proposée
- Application de la méthode à un cas d'étude

3. Conclusions et perspectives

Introduction à la problématique

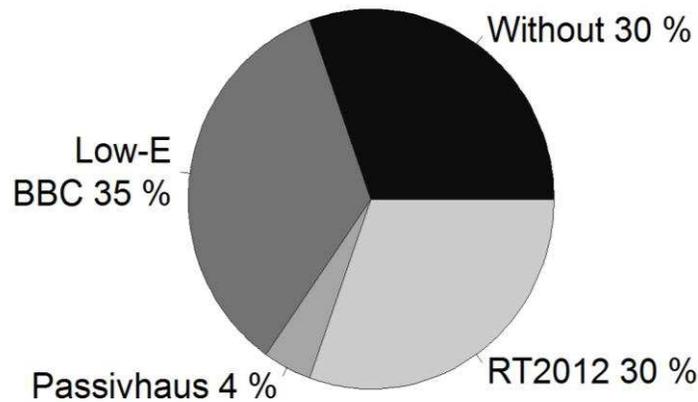
- **La perméabilité à l'air : une prise de conscience**
 - Un paramètre incontournable dans les réglementations
 - Prise en compte de distributions uniformes
- **Impact des distributions plus fines de perméabilité à l'air ?**



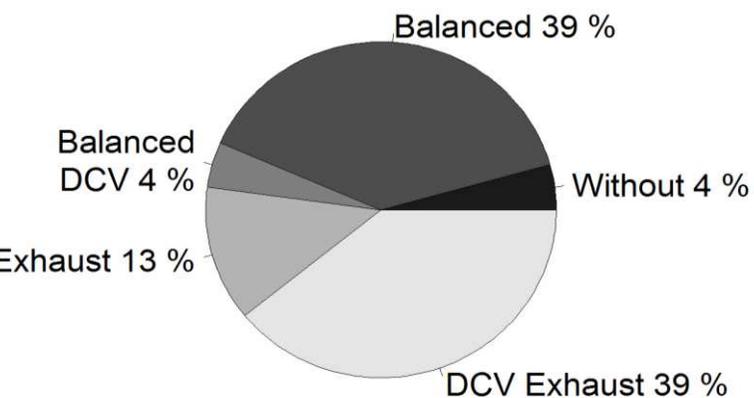
Campagne de mesure étés 2014 & 2015

■ Perméabilité à l'air des parois internes et externes de 23 maisons

Labels



Type de ventilation

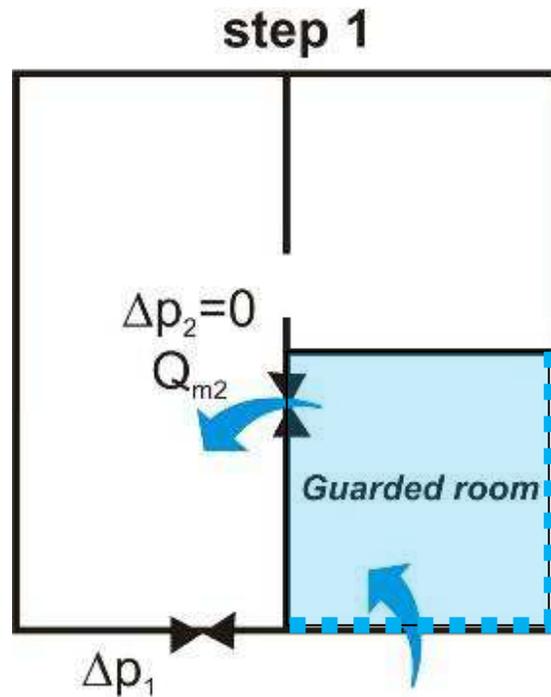


Type de structure



Protocole

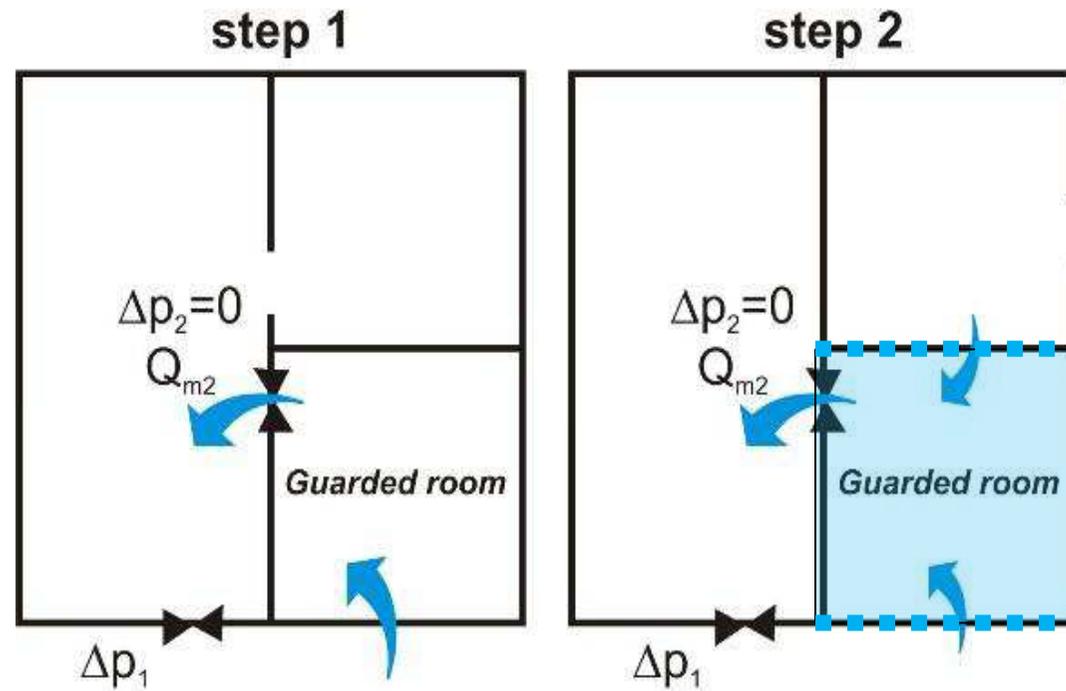
- Méthode de la zone gardée avec 2 portes soufflantes*



*Fürbringer et al. 1988 ; Reardon et al.,1987 ; Herrlin and Modera , 1988

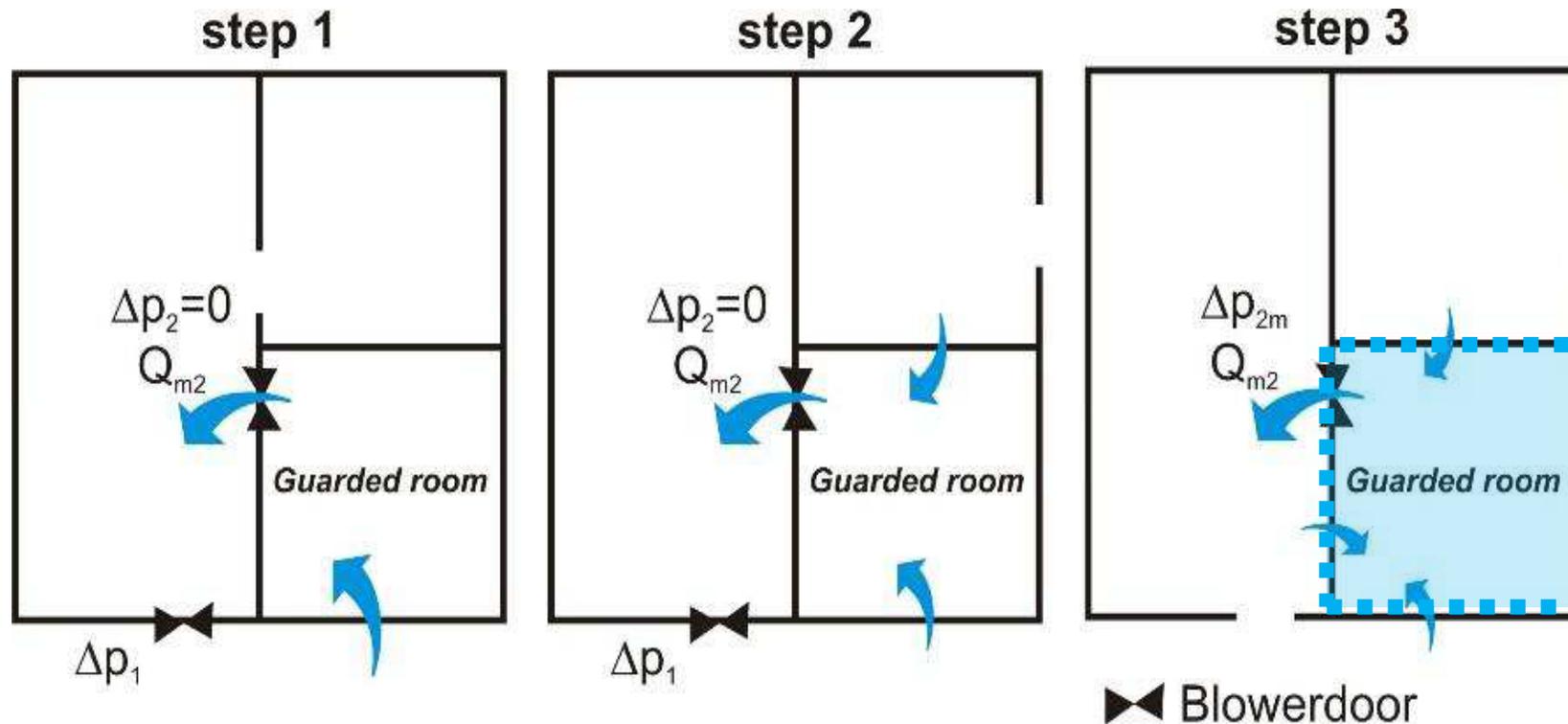
Protocole

- Méthode de la zone gardée avec 2 portes soufflantes



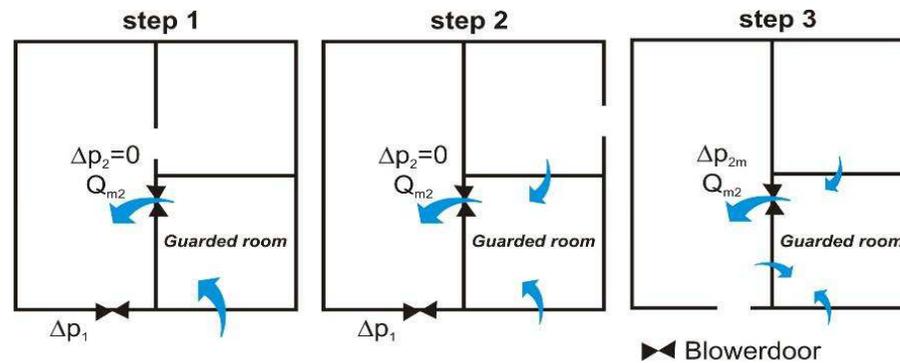
Protocole

- Méthode de la zone gardée avec 2 portes soufflantes



Protocole

■ Méthode de la zone gardée avec 2 portes soufflantes



■ A chaque étape

- 30s, 100 points à 8 paliers [$\Delta P = -10; -20; -30; -40; -50; -65; -80; -95$ Pa]
- Analyse des données selon ISO 9972
 - Corrections ΔP_0 , températures

⇒ **Calcul des paramètres C_L, n**

$$Q = C_L \Delta P^n$$

■ Mesure répétée pour toutes les pièces d'un logement

Précision des résultats

“Unfortunately, the more precise the blower door measurements are, the larger the extrapolation error becomes, making the most precise measurements the least accurate ones” (Walker et al., 2013)

- Erreurs de mesure limitées
 - Matériel adapté aux plages de débits et calibré
 - Respect de l'ISO 9972

- Erreurs de modélisation
 - Erreurs supplémentaires dues à la méthode de la zone gardée – peu documenté

=> Développement d'un indice de confiance

Développement d'un indice de confiance

$$I_R(\%) = \frac{1}{3} \sum_{1}^3 e_i$$

- e_1 : estimation de l'erreur de mesure sur le Q_{50}
 - annexe C de l'EN ISO 9972
- e_2 : estimation de la confiance en l'exposant n de la loi puissance
- e_3 : estimation de l'erreur sur le bilan massique dans chaque pièce
- Entre 0% (confiance nulle) et 100% (confiance très élevée)

Constitution d'une base de données

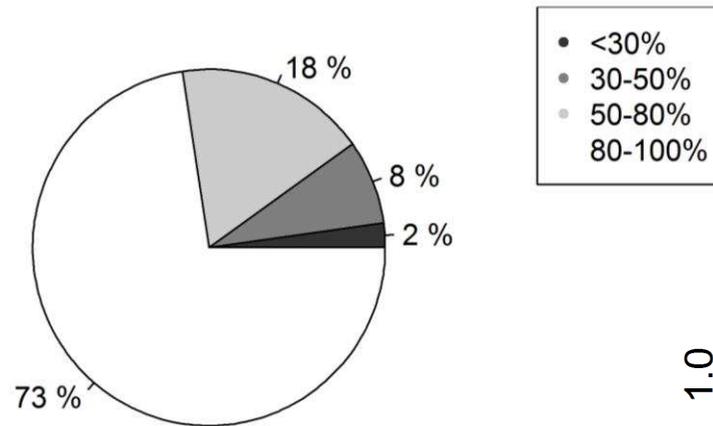
- 456 perméabilités à l'air de parois
- **Données générales sur le bâtiment** : région, année de réception, nombre d'étages
- **Caractéristiques techniques du bâtiment** : label ou certification, matériau principal, type de structure, système de ventilation, niveau de perméabilité à l'air (mesuré à réception), volume, surfaces ...
- **Caractéristiques de mesure** : vitesse de vent, exposition au vent, températures, instrument de mesure, ...
- **Caractéristiques de la paroi** : surface, type de mur (intérieur / extérieur), type de pièces (humide / chambre), ...
- **Résultats de mesure: C_L , n , q_{50} , ELA_4 , I_R**

$$Q = C_L \Delta P^n$$

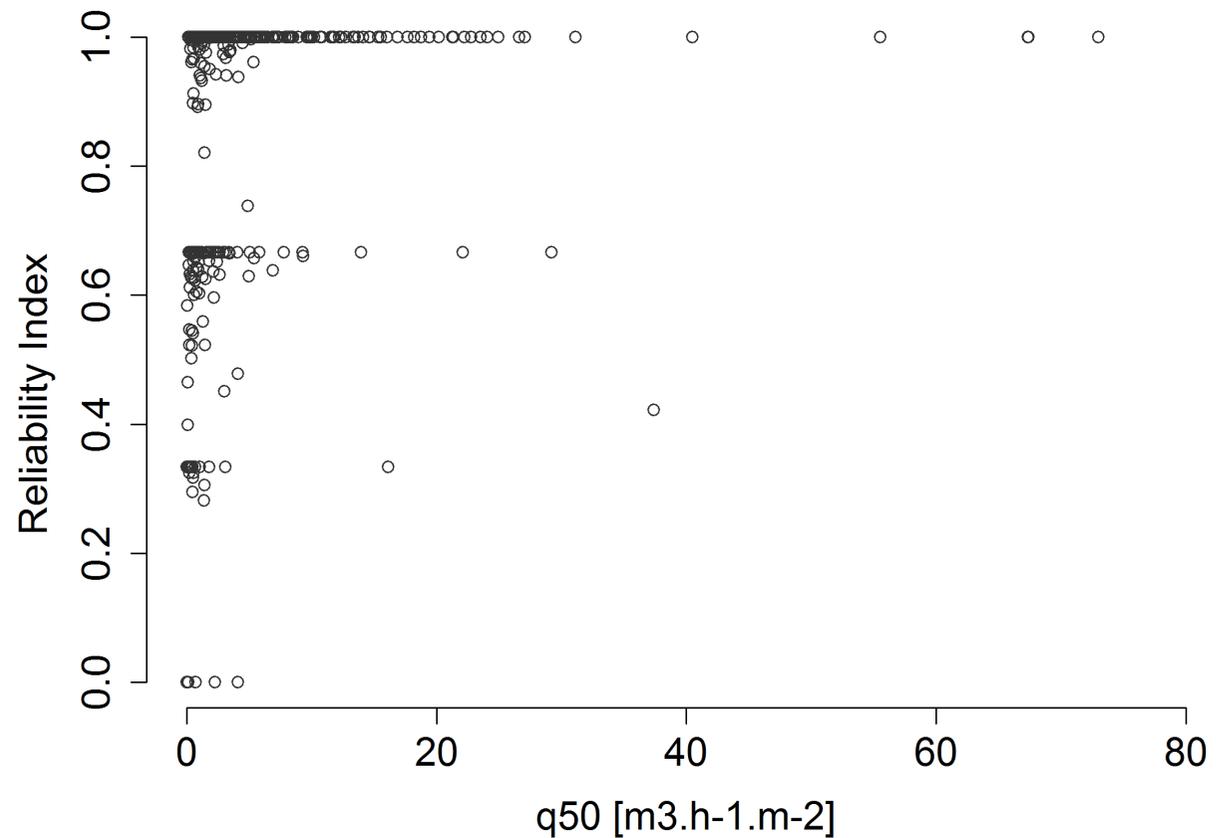
$$q_{50} = Q(50 \text{ Pa}) / A$$

$$ELA_4 = \frac{C_L}{C_D} * \sqrt{\frac{\rho_0}{2}} * \Delta P_r^{n-0.5} * \frac{1}{3.6}$$

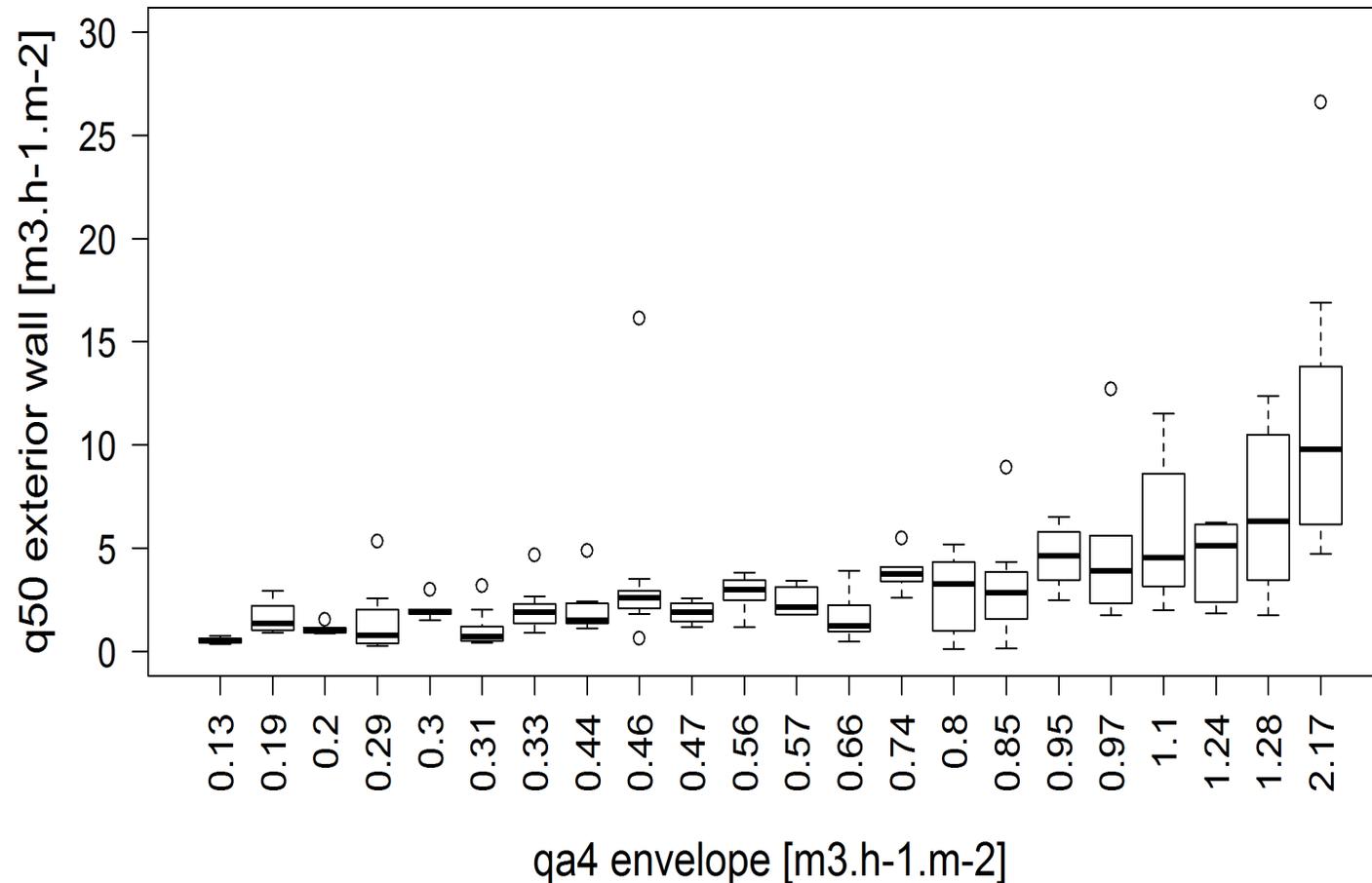
Fiabilité des mesures



- Satisfaisante avec 73% des mesures avec $I_R > 80\%$



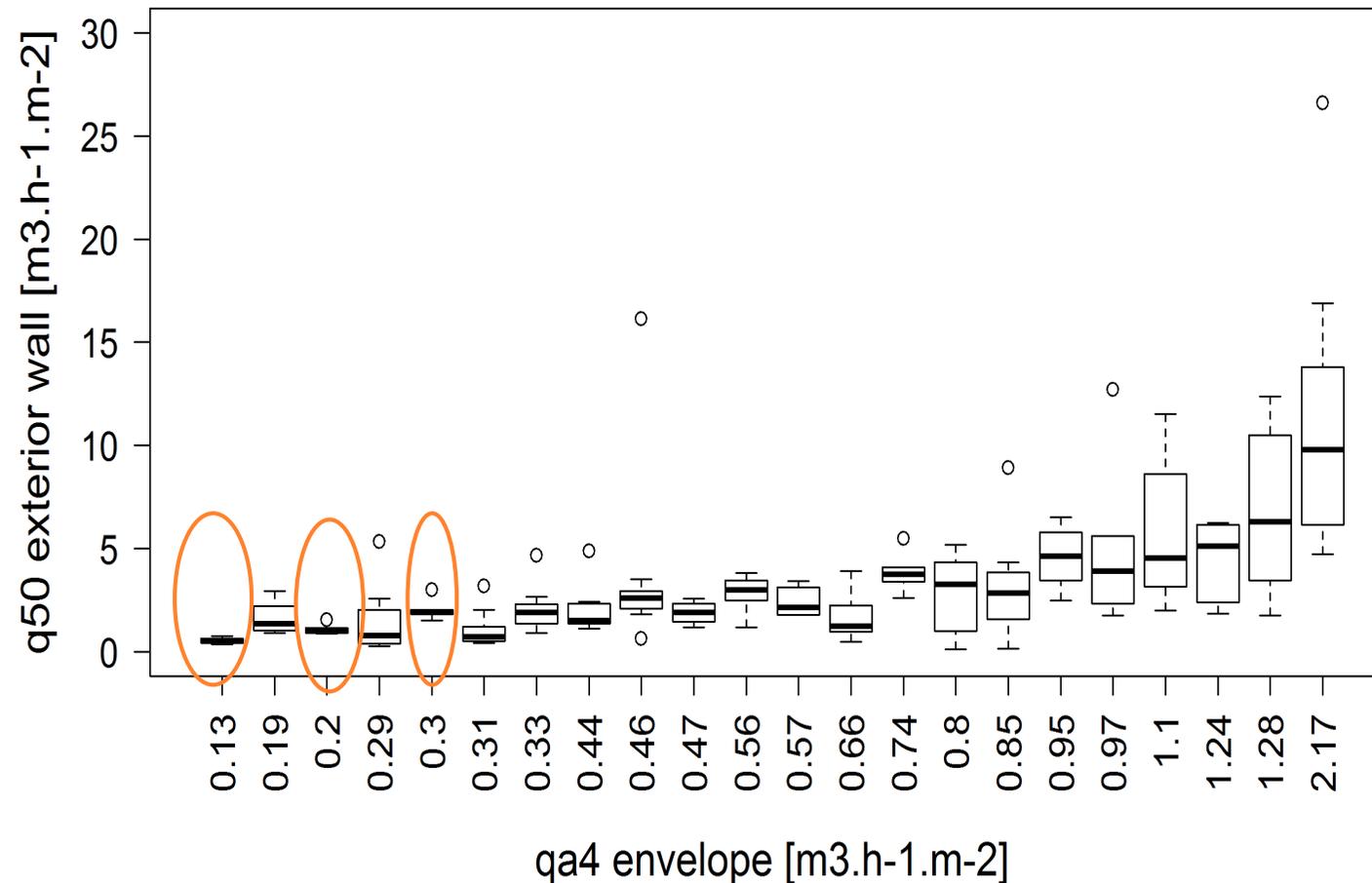
Analyse & résultats



$$q_{a4} = \frac{C_L * (4)^n}{A_{env}}$$

- Corrélation perméabilité à l'air des parois extérieures / perméabilité à l'air d'enveloppe

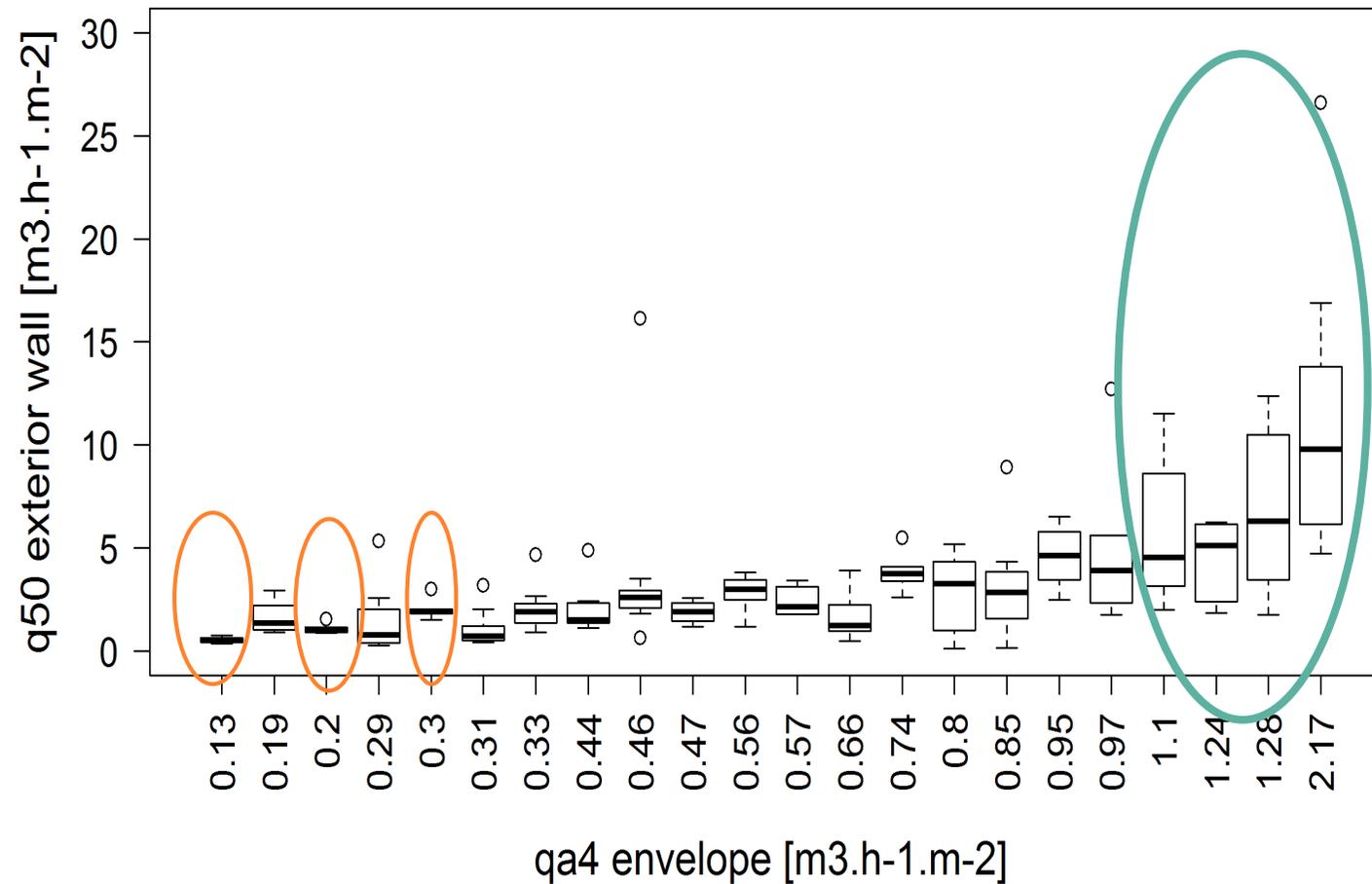
Analyse & résultats



$$q_{a4} = \frac{C_L * (4)^n}{A_{env}}$$

- Seules 3 maisons présentent des distributions uniformes sur l'enveloppe

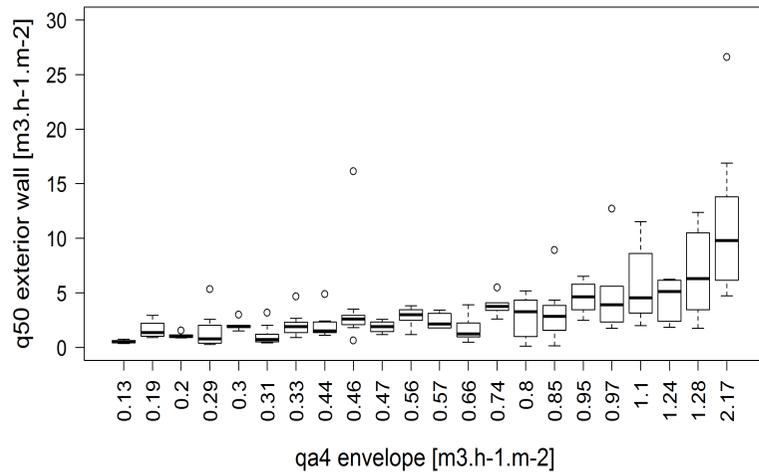
Analyse & résultats



$$q_{a4} = \frac{C_L * (4)^n}{A_{env}}$$

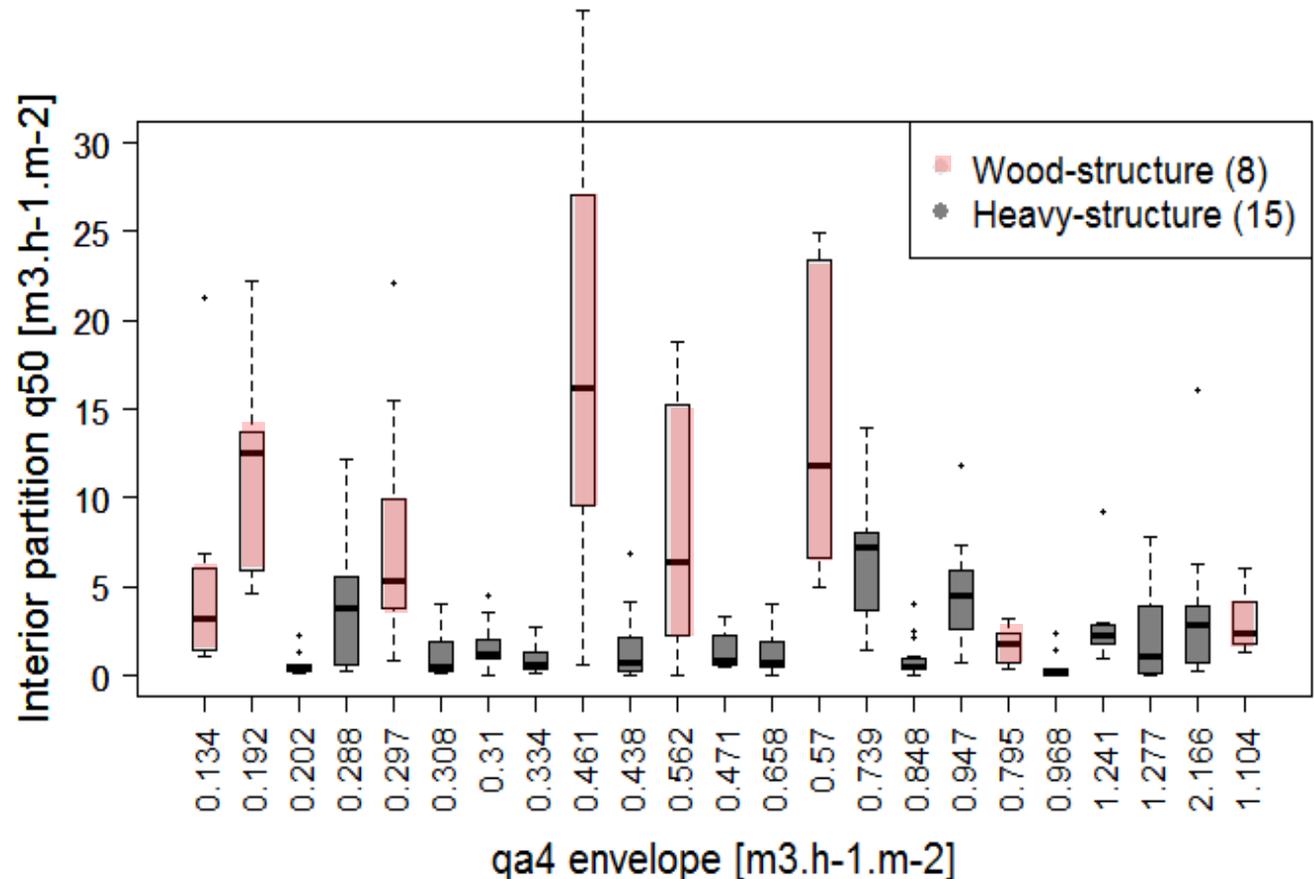
- Rapports atteignant un facteur 5

Analyse & résultats



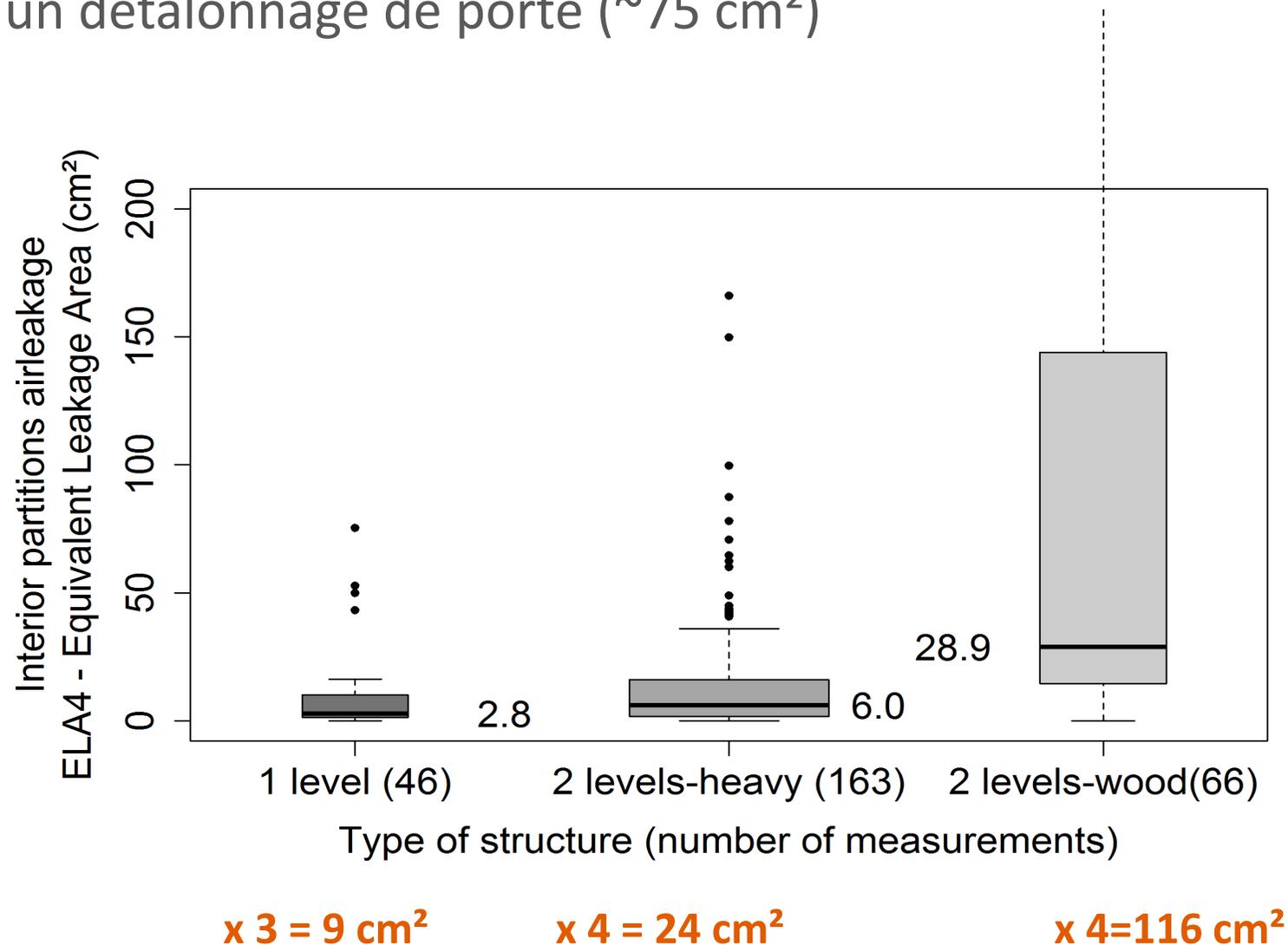
- Impact du type de structure

- Pas de corrélation perméabilité à l'air des parois intérieures / perméabilité à l'air d'enveloppe



Analyse & résultats

- La perméabilité à l'air des parois intérieures n'est pas négligeable face à un détalonnage de porte ($\sim 75 \text{ cm}^2$)



Proposition de données d'entrée pour les modèles de QAI – maisons individuelles

	Parois intérieures - Valeur de référence	Parois intérieures - Facteur de dispersion	Parois extérieures - Facteur de dispersion
Structure lourde	$q_{50}=1.2 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ou $q_{50}/q_{a4} = 2$	IQR(q_{50})*= $3 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ou IQR (q_{50}/q_{a4})= 4	IQR = 150% de la perméabilité à l'air d'enveloppe (q_{50})
Structure bois	$q_{50}=6 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ou $q_{50}/q_{a4} = 17.5$	IQR(q_{50})= $12 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ou IQR (q_{50}/q_{a4})= 38.5	IQR = 75% de la perméabilité à l'air d'enveloppe (q_{50})

* IQR : Ecart interquartile

Guyot, G., Ferlay, J., Gonze, E., Woloszyn, M., Planet, P., Bello, T., 2016. Multizone air leakage measurements and interactions with ventilation flows in low-energy homes. Building and Environment 107, 52–63.

Plan de soutenance

1. Impact des distributions de perméabilité à l'air

- Campagne de mesure
- Etude numérique

2. Approche performantielle pour la ventilation

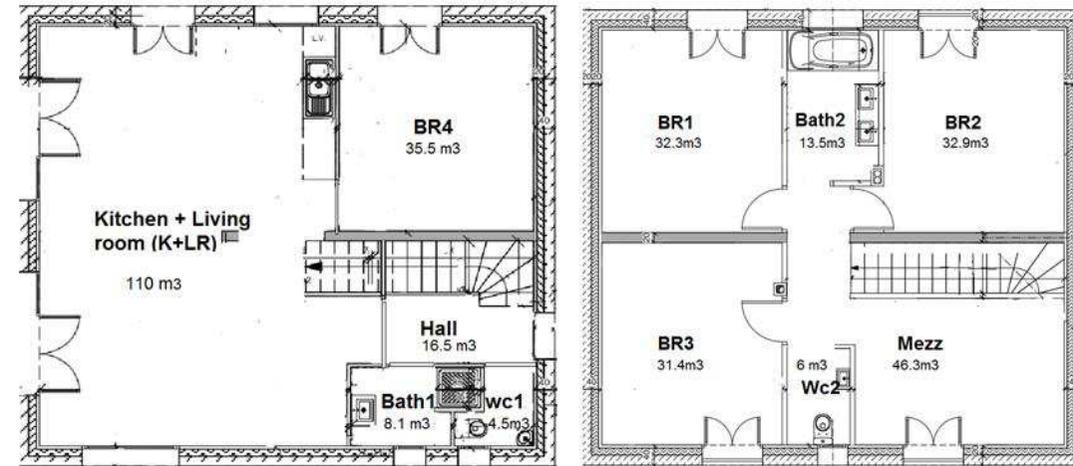
- Méthode proposée
- Application de la méthode à un cas d'étude

3. Conclusions et perspectives

Méthode

■ Cas d'étude

- Maison BBC : 50 kWep/(m².an)
 - 2 étages, 4 chambres, ...
 - 337 m³ and 135 m²
 - Perméabilité à l'air:
 - Enveloppe: $n_{50} = 1.5 \text{ h}^{-1}$
 - Parois intérieures, médiane:
 $q_{50} = 0.8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$



- Modélisation multizone
CONTAM + R

- $\Delta t = 10$ minutes
- Période de chauffe (15/10 au 14/04)



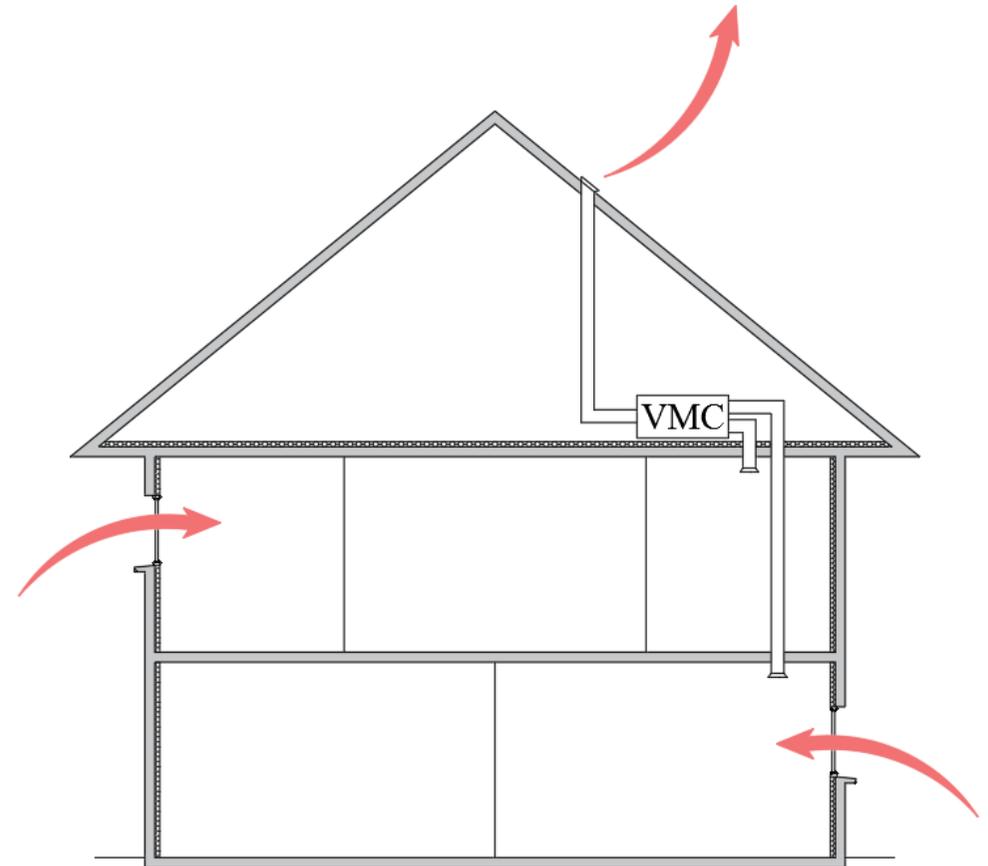
Méthode

■ Deux types de ventilation

- Double-Flux (DF)
- Simple-Flux (SF)
- $Q=135 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ (ACR=0.4 h⁻¹)

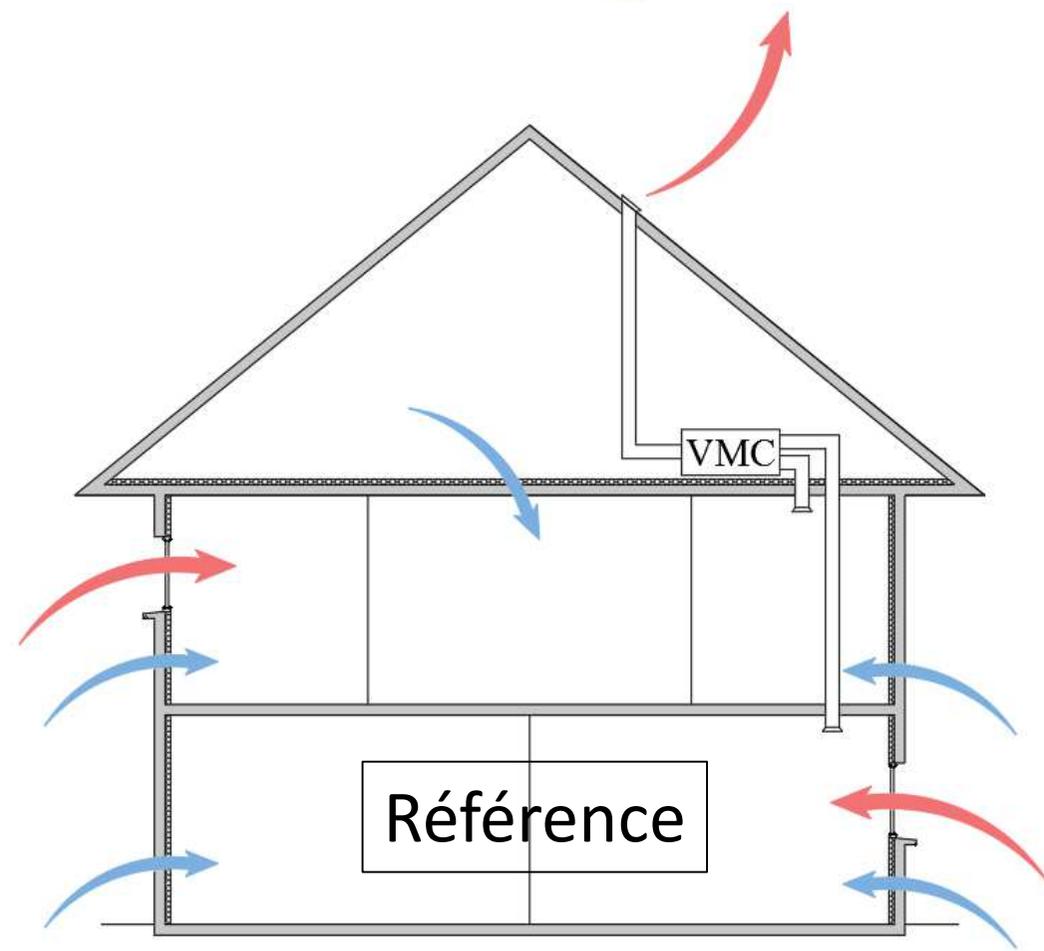
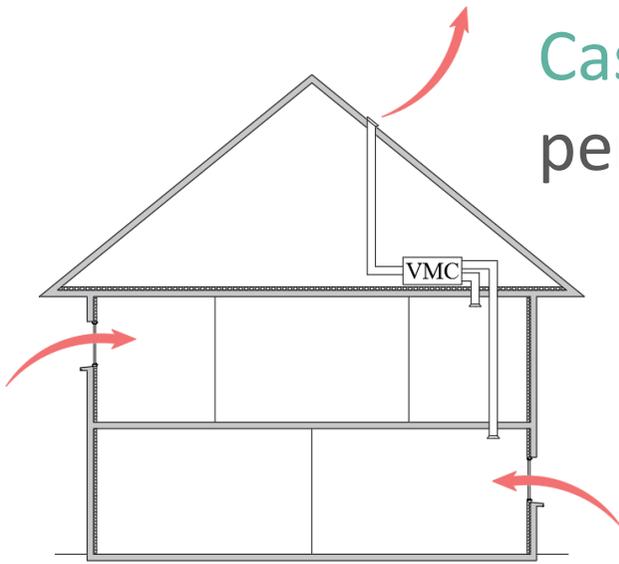
■ Sept cas de distributions de perméabilité à l'air

- De très simple: cas a = sans
- A très détaillé: cas d, d2, d3, d4

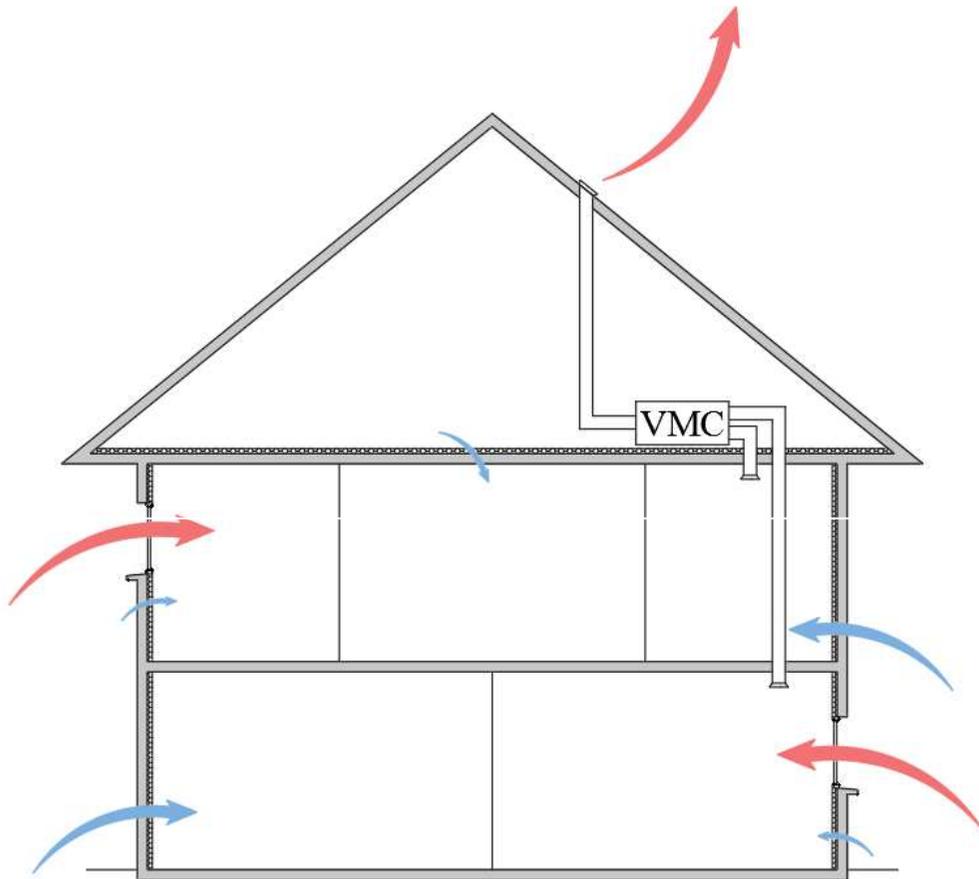


Cas a – Pas de perméabilité à l'air

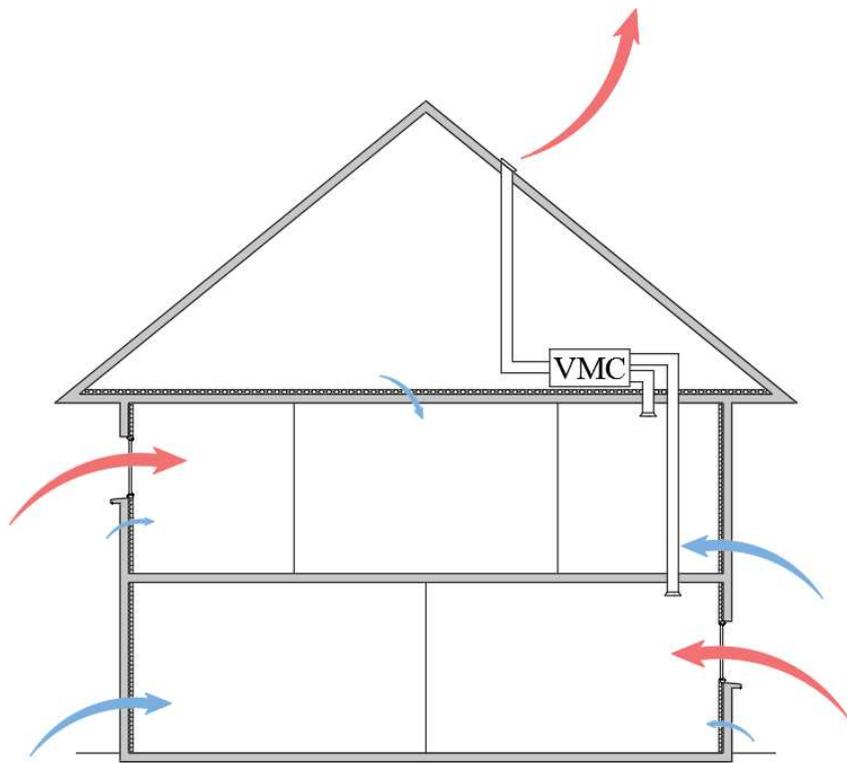
Cas a – Pas de perméabilité à l'air



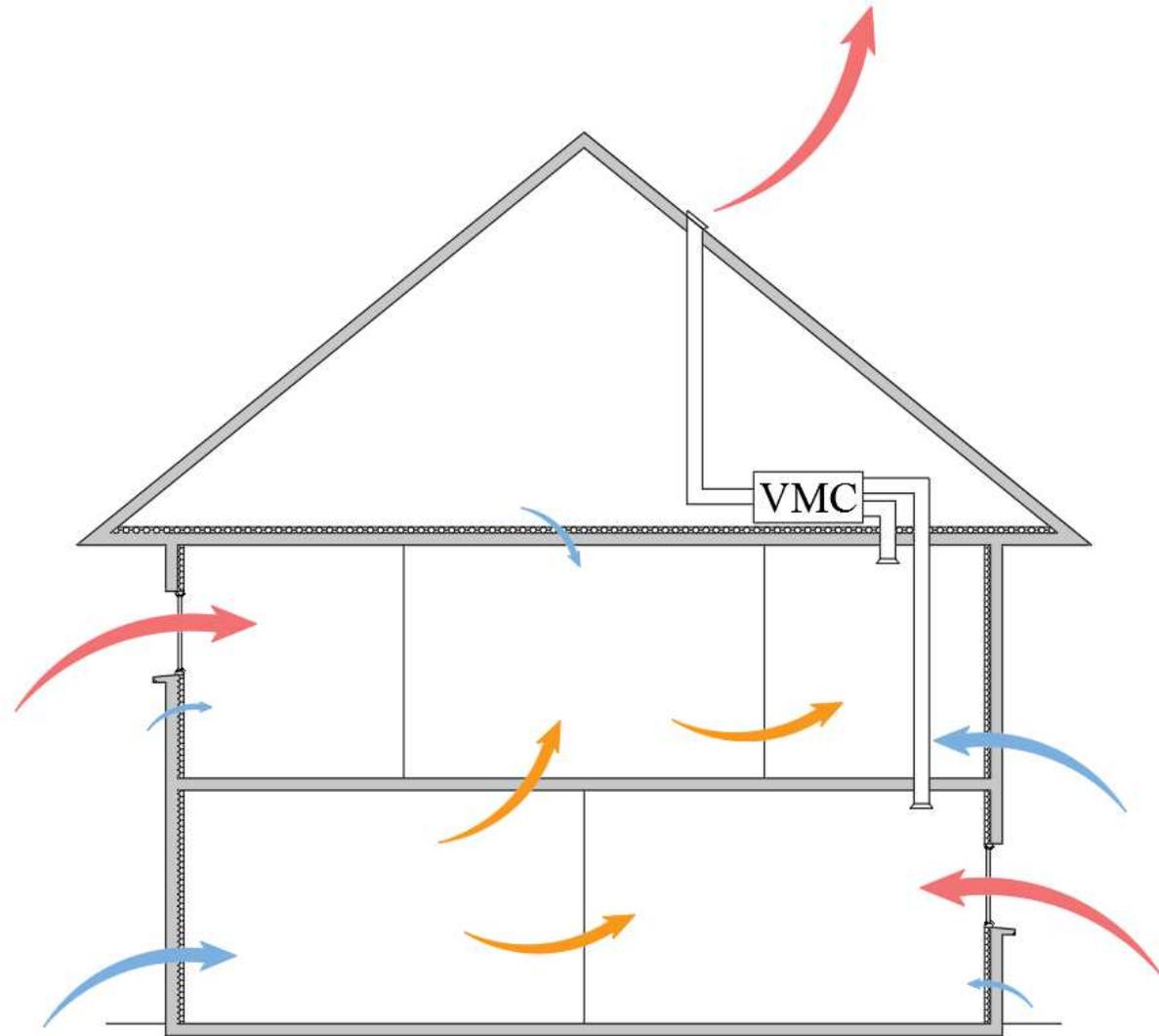
Cas b – Perméabilité à l'air d'enveloppe – Uniforme



Cas c – Perméabilité à l'air d'enveloppe – Non-uniforme



Cas c – Perméabilité à l'air d'enveloppe – Non-uniforme



Cas d, d2 / d3, d4
 + Parois intérieures - Non-uniforme
 Structure lourde / Structure bois
 Mesurées / Calculées à partir du tableau

Description du modèle et hypothèses

■ Modèle de bâtiment

- Multizone
- Température intérieure: 20°C (période de chauffe)
- Portes fermées : détalonnage
- Tampon hygrosopique

■ Conditions aux limites

- Données météo d'une année typique à Lyon, France (ASHRAE IWEC Weather file, 2001)
 - Vent au niveau du bâtiment: loi puissance avec facteur modificatif de 0.3287, environnement périurbain, hauteur de bâtiment de 8.5 m
 - Coefficients de pression de l'EN 15242 (CEN 2007), i.e +0.5 (face au vent) and -0.7 (sous le vent)
- Concentration extérieure constante en formaldéhyde de 3 $\mu\text{g.m}^{-3}$

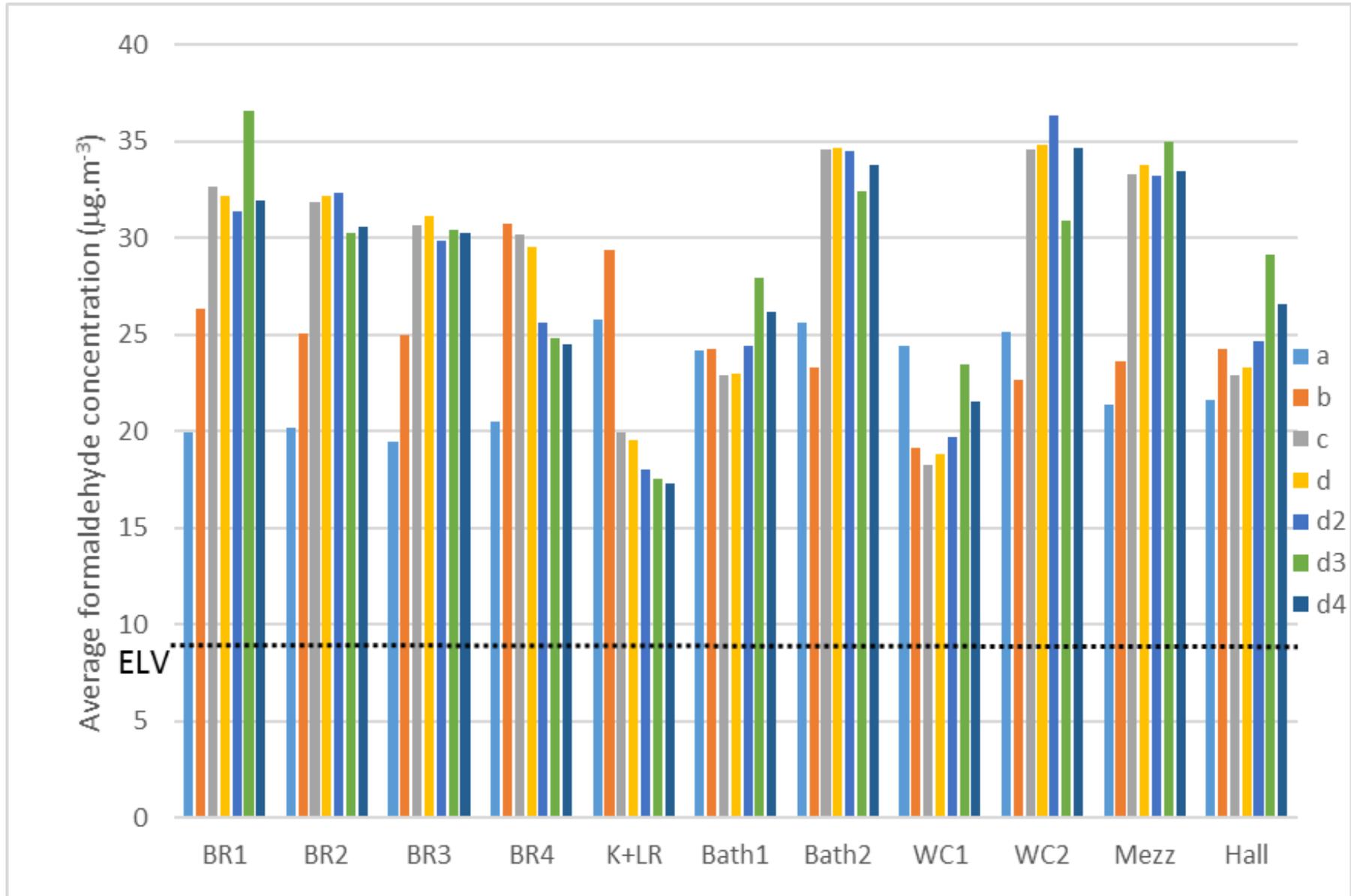
■ Utilisation de 3 classes d'émission en formaldéhyde

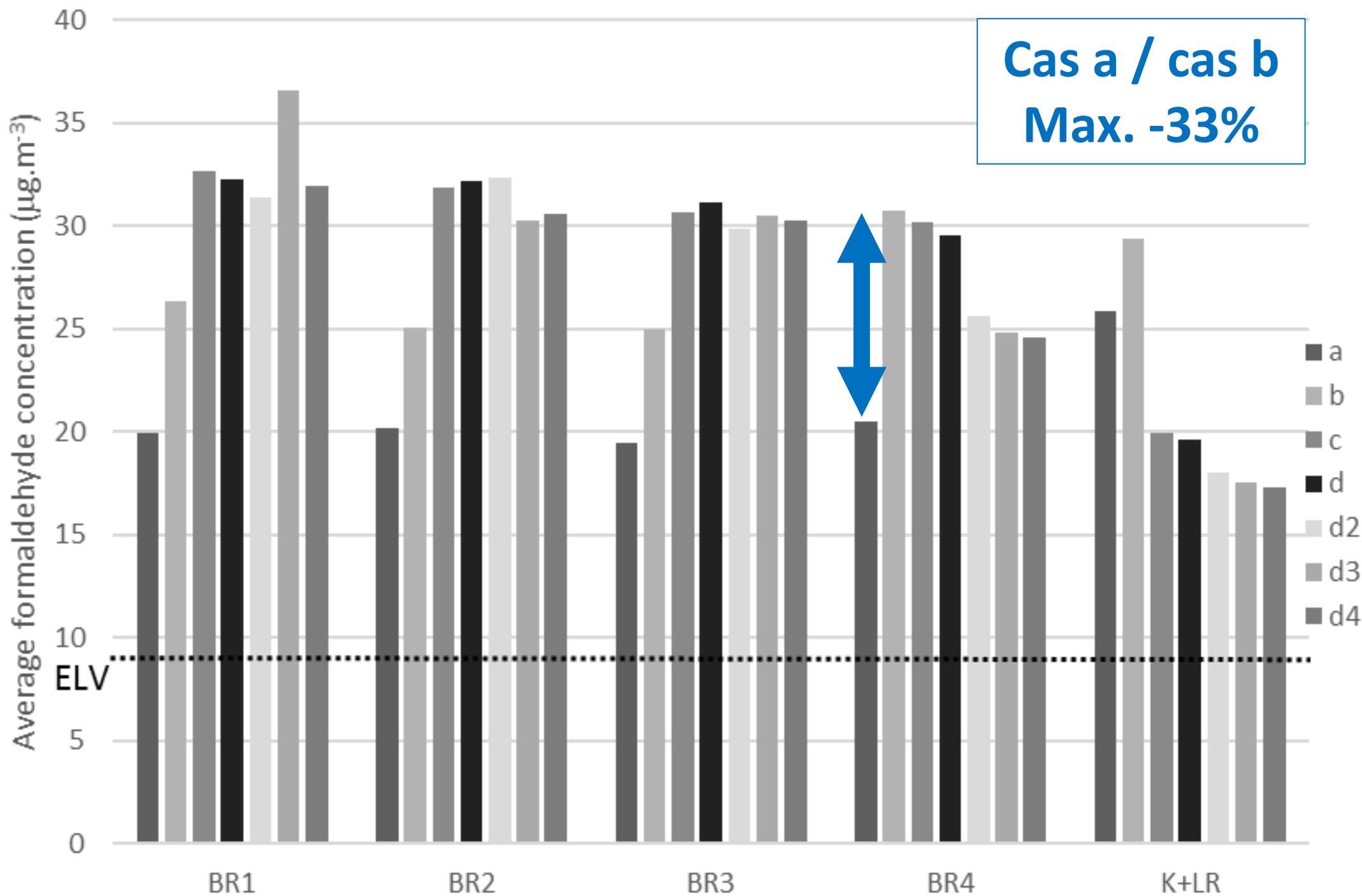
- Faible: 4.5 $\mu\text{g.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$
- Moyenne : 12.0 $\mu\text{g.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$
- Elevée: 23.6 $\mu\text{g.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$

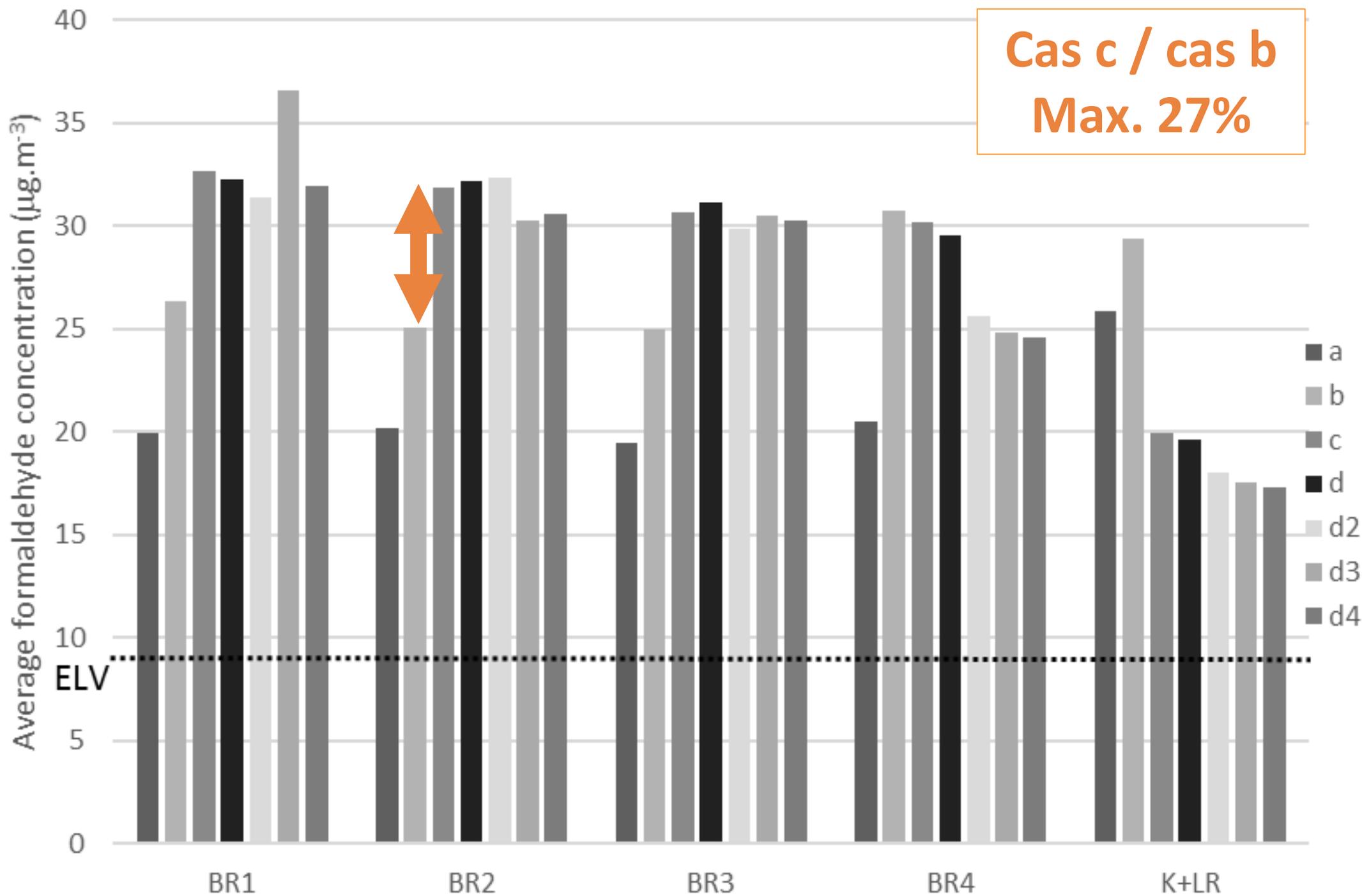
Résultats

Concentrations moyennes en formaldéhyde

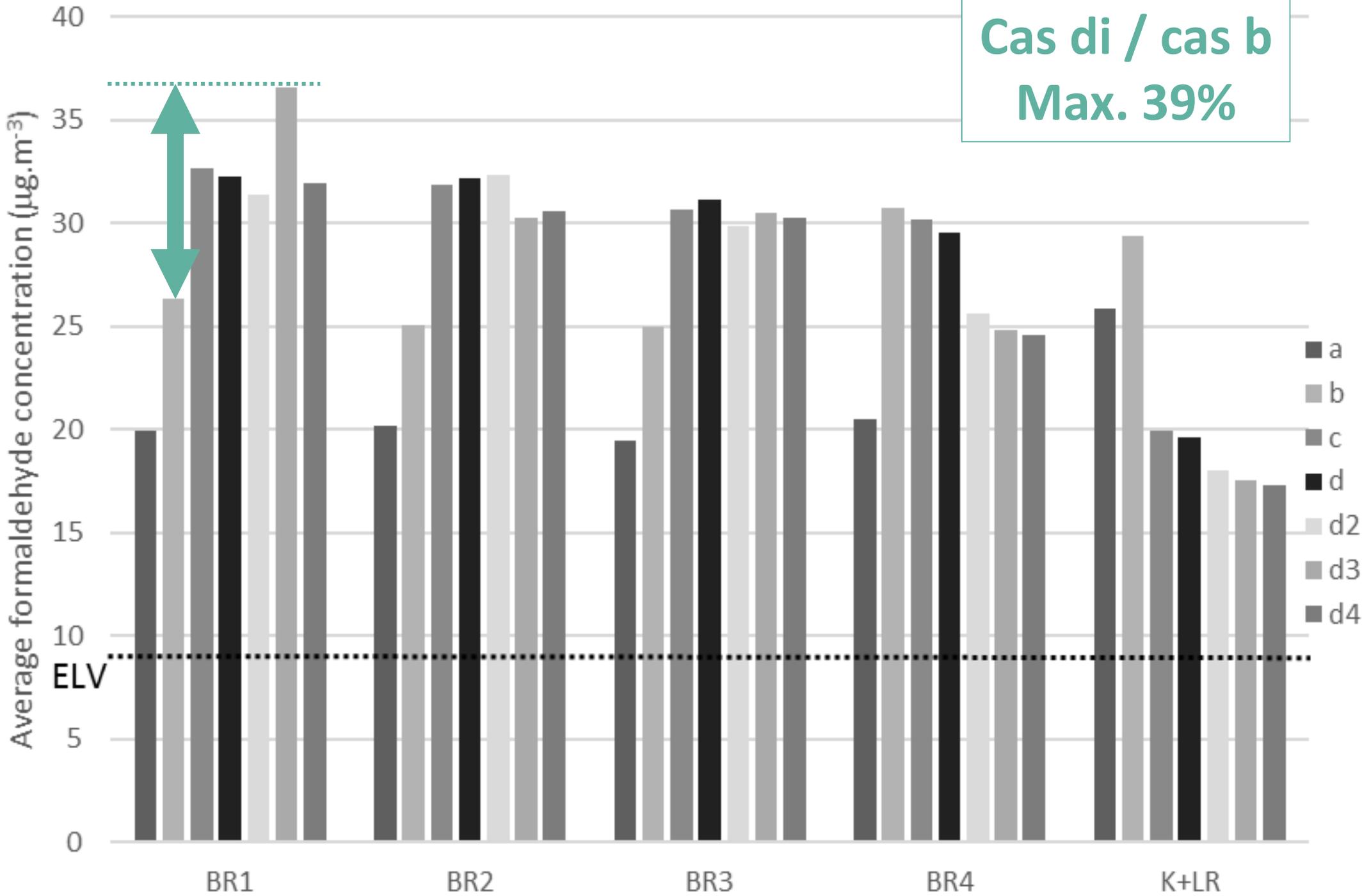
Classe haute d'émission, système de ventilation simple-flux







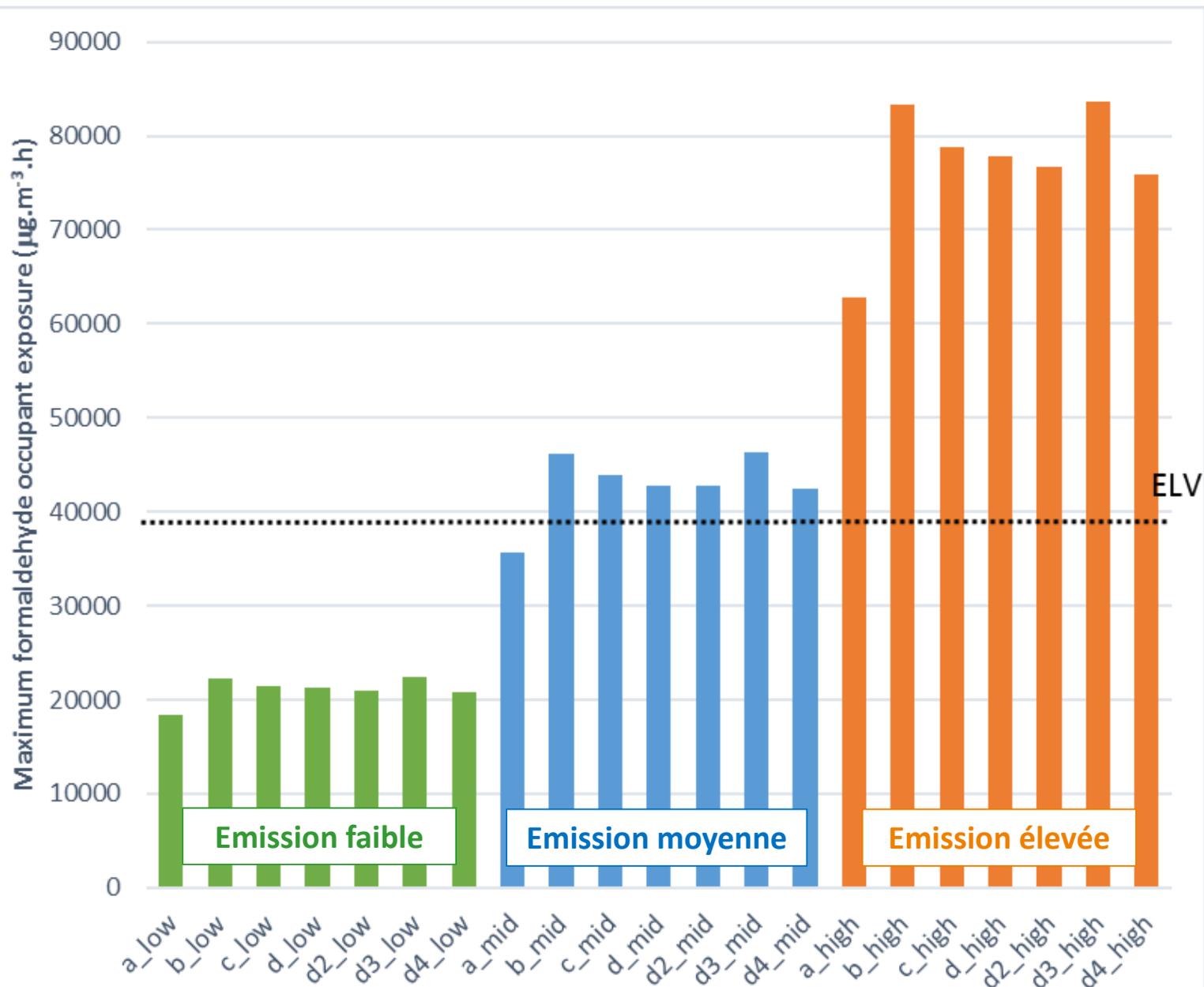
Cas di / cas b
Max. 39%



Résultats

Dose maximale reçue en formaldéhyde

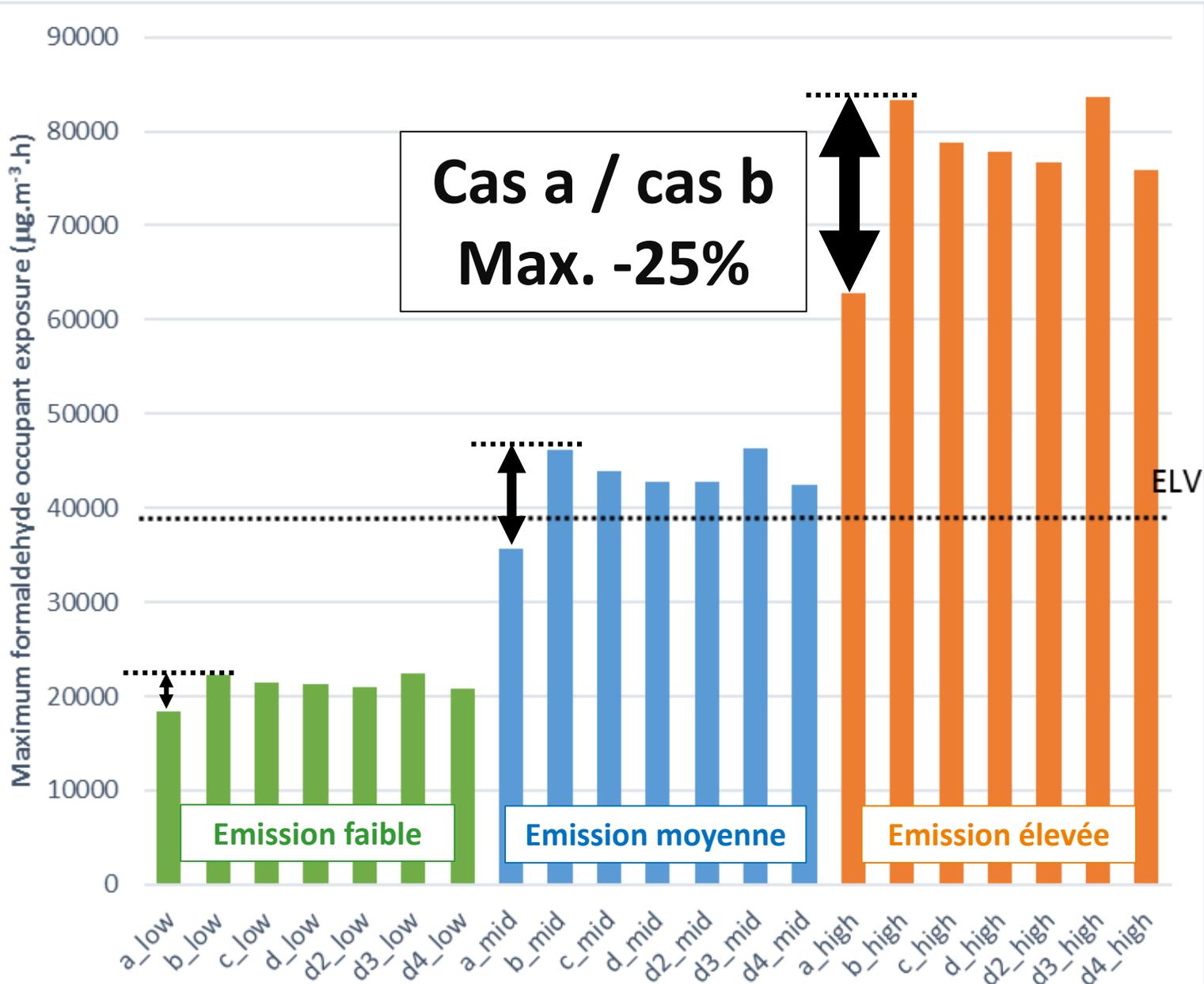
Trois classes d'émission, système de ventilation simple-flux



Résultats

Dose maximale reçue en formaldéhyde

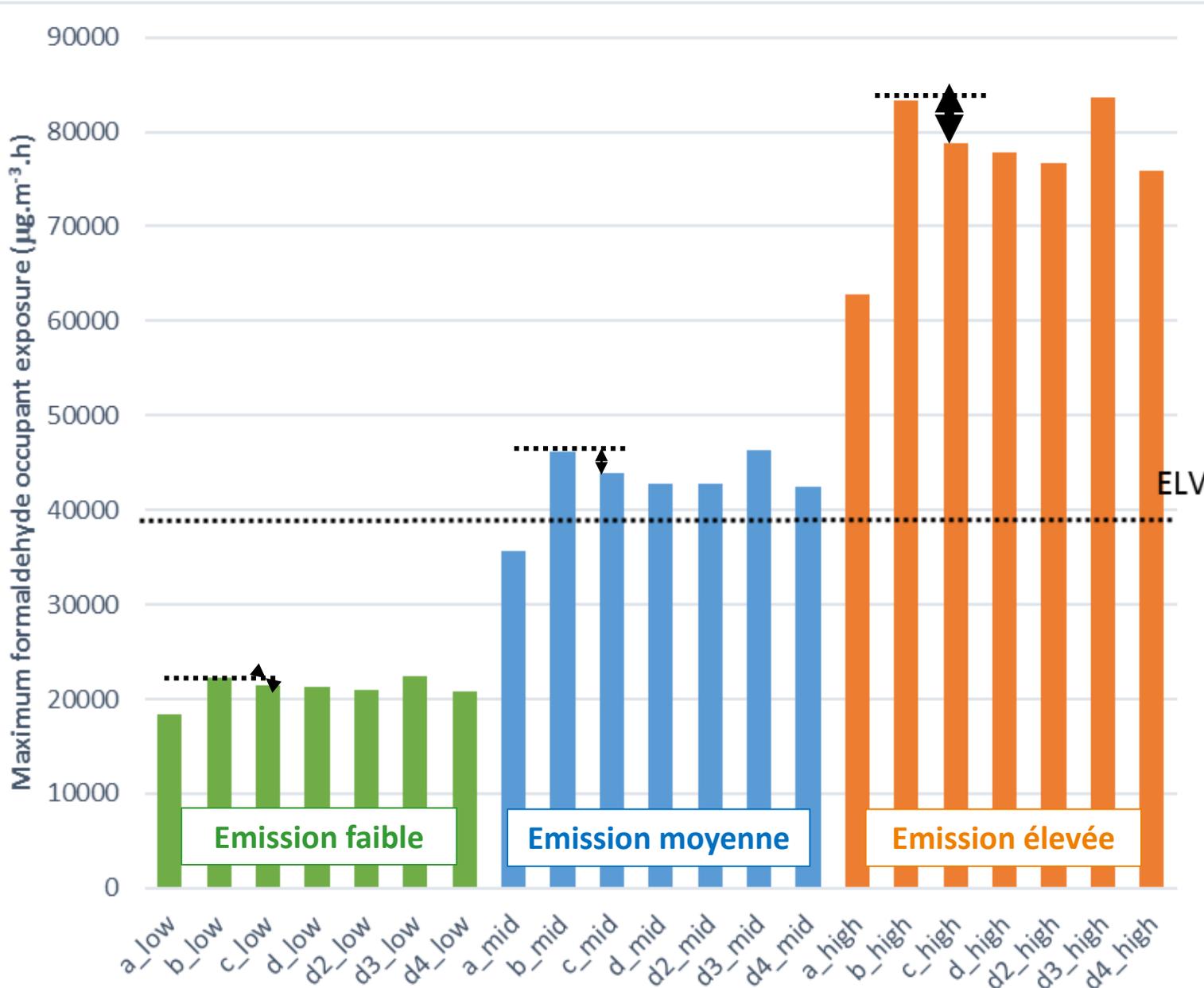
Trois classes d'émission, système de ventilation simple-flux



Résultats

Dose maximale reçue en formaldéhyde

Trois classes d'émission, système de ventilation simple-flux

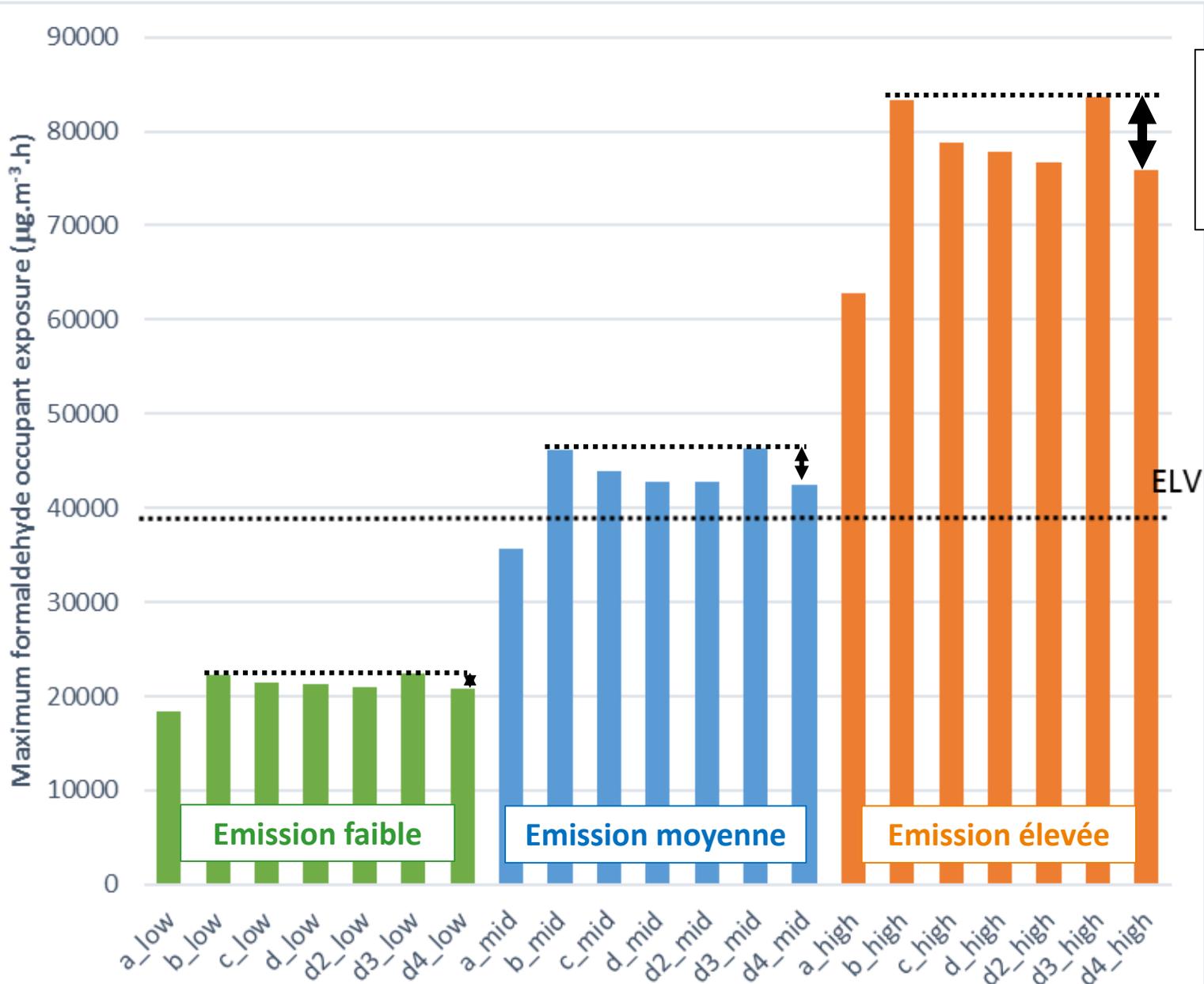


Cas c / cas b
Max. -5%

Résultats

Dose maximale reçue en formaldéhyde

Trois classes d'émission, système de ventilation simple-flux



Cas b / cas di
Max. -9%

Résultats : Impacts de la perméabilité à l'air des parois intérieures

- Ecart cas di/cas b (référence)
 - Pour des débits extraits identiques

	Ventilation simple-flux	Ventilation double-flux
ACR chambres	28 %	28%
C_{moy} (HCHO)	39%	-2%
Dose (HCHO)	-9%	2%

- Impact important sur le taux de renouvellement d'air des chambres
 - Pas toujours répercutés sur les indicateurs de QAI

Conclusion intermédiaire

- **Pertinence d'utiliser des distributions détaillées de perméabilité à l'air**
 - Sur l'enveloppe du bâtiment
 - Sur les parois intérieures
 - Particulièrement avec ossature bois + ventilation SF
- **Impacts plus importants selon les indicateurs**
 - Pour des débits extraits identiques
- **Pas de lien **direct** entre niveaux de renouvellement d'air et niveaux de concentration**
 - Les concentrations des pièces résultent de cheminements complexes à travers le réseau de défauts de perméabilité à l'air

=> Interrogation sur les réglementations prescriptives



Plan de soutenance

1. Impact des distributions de perméabilité à l'air

- Campagne de mesure
- Etude numérique

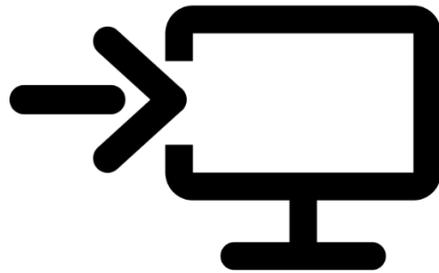
2. Approche performantielle pour la ventilation

- Méthode proposée
- Application de la méthode à un cas d'étude

3. Conclusions et perspectives

Verrous scientifiques

2



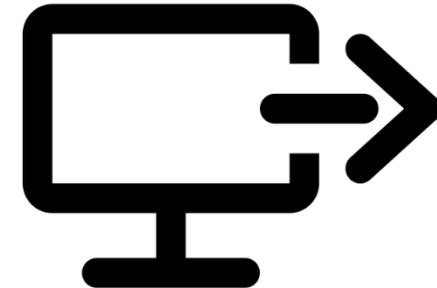
**Données d'entrée
Scénarios**

3



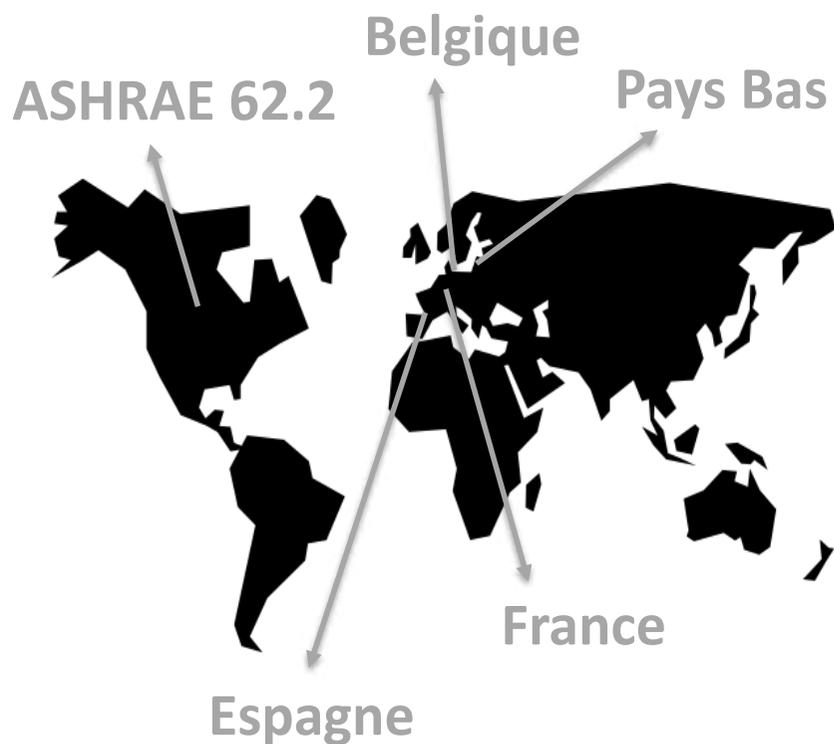
**Niveau de détail
modélisation**

1



**Un jeu limité
d'indicateurs
de performance**

Point de départ : Bilan des réglementations sur la ventilation intelligente



Created by Erin Standley
from Noun Project

■ Multizone

■ Indicateurs

- Risque de condensation
- Concentration moyenne ou exposition cumulée au-delà d'un seuil au CO₂

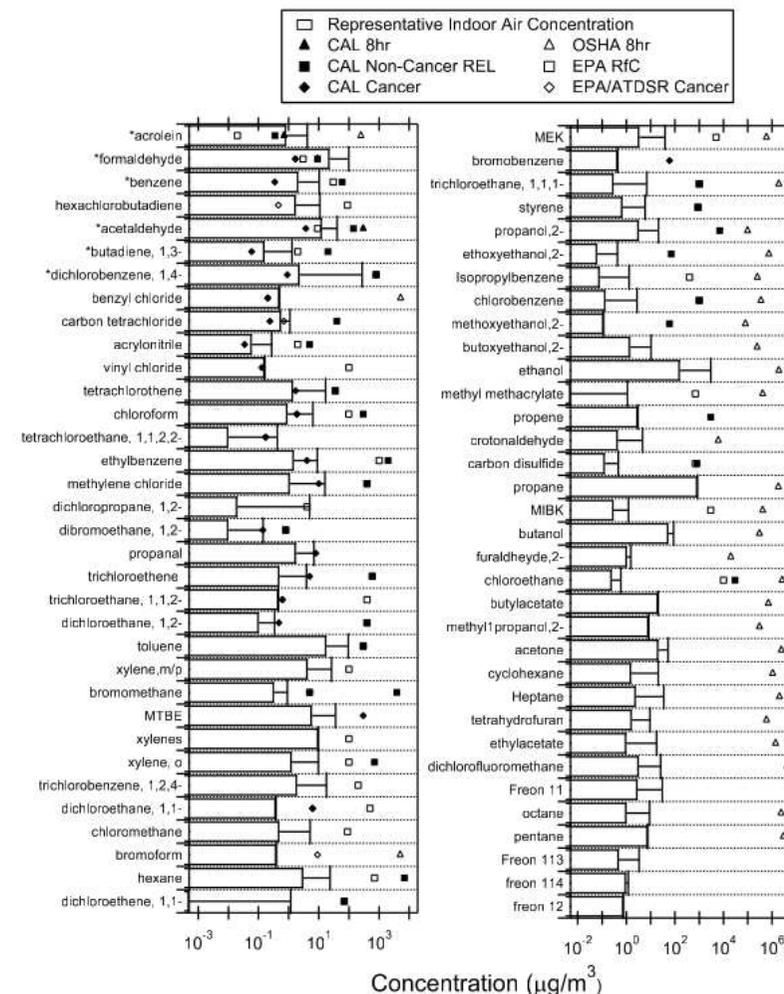
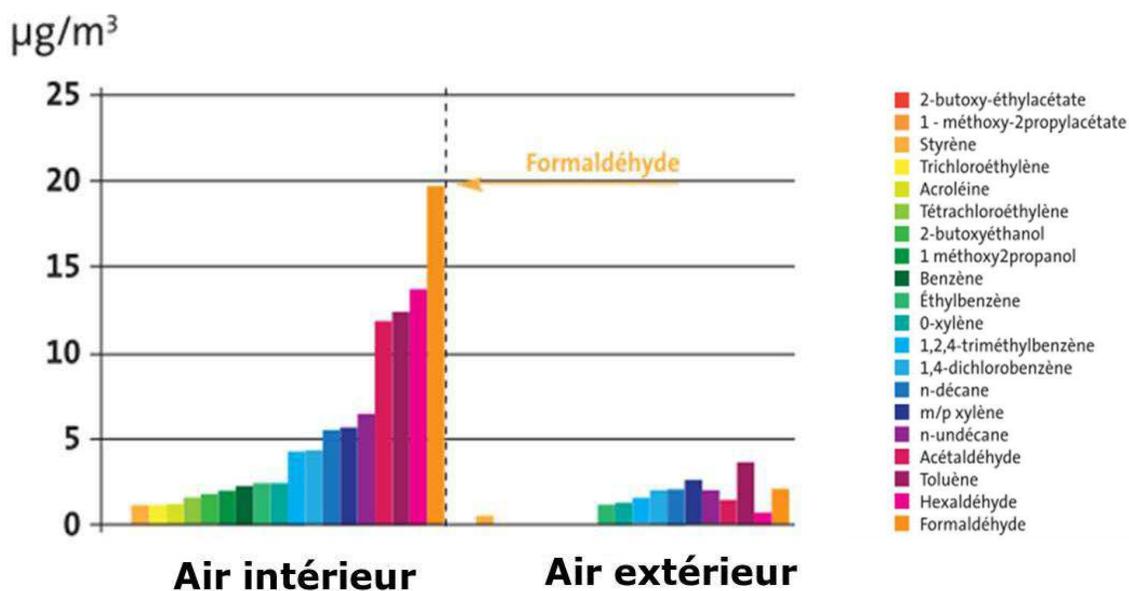
■ Scénarios

- Occupation, humidité, CO₂



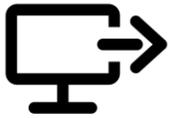
⇒ Quid des autres polluants identifiés dans les campagnes de mesure ?

- ⇒ Identifier les plus pertinents
- ⇒ Identifier les indicateurs liés
- ⇒ Identifier la disponibilité des scénarios d'émission pour les calculer



68 polluants dans review de Logue, et al. 2011.

Source : OQAI, 2010



Pertinence des polluants émis en intérieur

1. HR : pathologie mais aussi santé

2. CO₂ : marqueurs des bioeffluents*

3. Particules fines (PM_{2,5})

- Emises en extérieur et intérieur
- Impact sanitaire : 1^{ère} place**

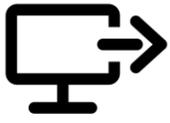
4. Formaldéhyde (HCHO)

- Mesuré dans 100% des logements français
- Impact sanitaire : 2^e place**

• Zhang, X., Wargocki, P., Lian, Z., 2016. Physiological Responses during Exposure to Carbon Dioxide and Bioeffluents at Levels Typically Occurring Indoors. Indoor Air

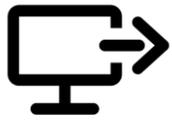
• ** Borsboom, W., De Gids, W., Logue, J., Sherman, M., Wargocki, P., 2016. TN 68: Residential Ventilation and Health, AIVC Technical Note 68.

** Logue, J.M., McKone, T.E., Sherman, M.H., Singer, B.C., 2011a. Hazard assessment of chemical air contaminants measured in residences. Indoor Air 21, 92–109

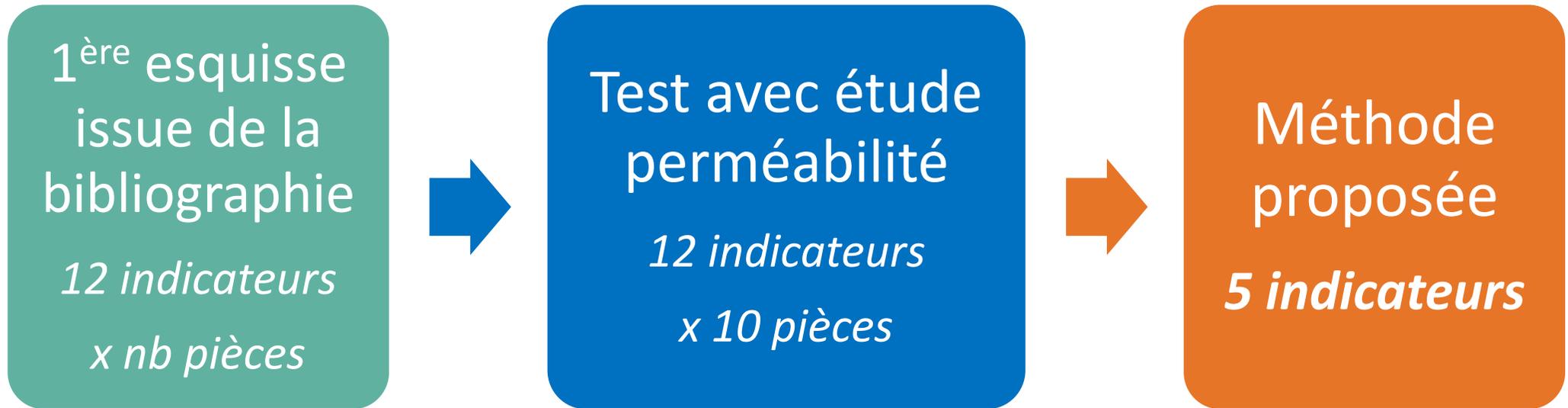


Indicateurs basés sur ces polluants

- Une longue liste possible ...
- Concentration moyenne
- Concentration moyenne excédante
- Exposition cumulée au-delà d'un seuil
- Dose totale reçue
- Pourcentage de temps passé dans des plages ou au-delà d'un seuil
- ...
- Par personne ou par pièce ou par logement ...
- Sur l'année, la période de chauffe, les périodes d'occupation ...



Méthodologie de sélection des indicateurs

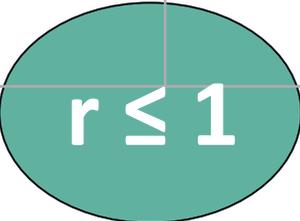




Choix de 5 indicateurs pertinents

Calculés sur la période de chauffe (France)

Indicateurs de performance de la QAI	Valeurs limites	Références utilisées
Exposition excédante cumulée en CO ₂ maximale dans les chambres E ₁₀₀₀ (ppm.h)	1000 X (ppm.h)	(Zhang et al., 2016) 1000 ppm avec bioeffluents (Zeghnoun, Dor, et Grégoire 2010) 9h20 passées dans les chambres (Cony Renaud Salis et al., 2017)
Dose maximale reçue par les occupants en formaldéhyde HCHO E _{max} (µg.m ⁻³ .h)	9 X (µg.m ⁻³ .h)	9 µg.m⁻³ proposé comme valeur limite (ELV) pour le formaldéhyde (Cony Renaud Salis et al., 2017)
Dose maximale reçue par les occupants en PM _{2,5} PM _{2,5} E _{max} (µg.m ⁻³ .h)	10 X (µg.m ⁻³ .h)	10 µg.m⁻³ proposé comme valeur limite (ELV) pour les PM _{2,5} (CCFAT, 2015)
% temps passé maximum avec HR>70% parmi toutes les pièces (%)	1000/X (%)	Approche conservatrice. 1000h est la limite donnée pour HR>75% dans les sdb.
% temps passé maximum dans les chambres avec HR en dehors de la plage 30-70% (%)	800/X (%)	(Mansson, 2001) Approche conservatrice. 900 h est la limite donnée pour HR<30 %.



$$r \leq 1$$

X = durée de la simulation (h)

2. Approche performantielle proposée



Choix de 5 indicateurs pertinents

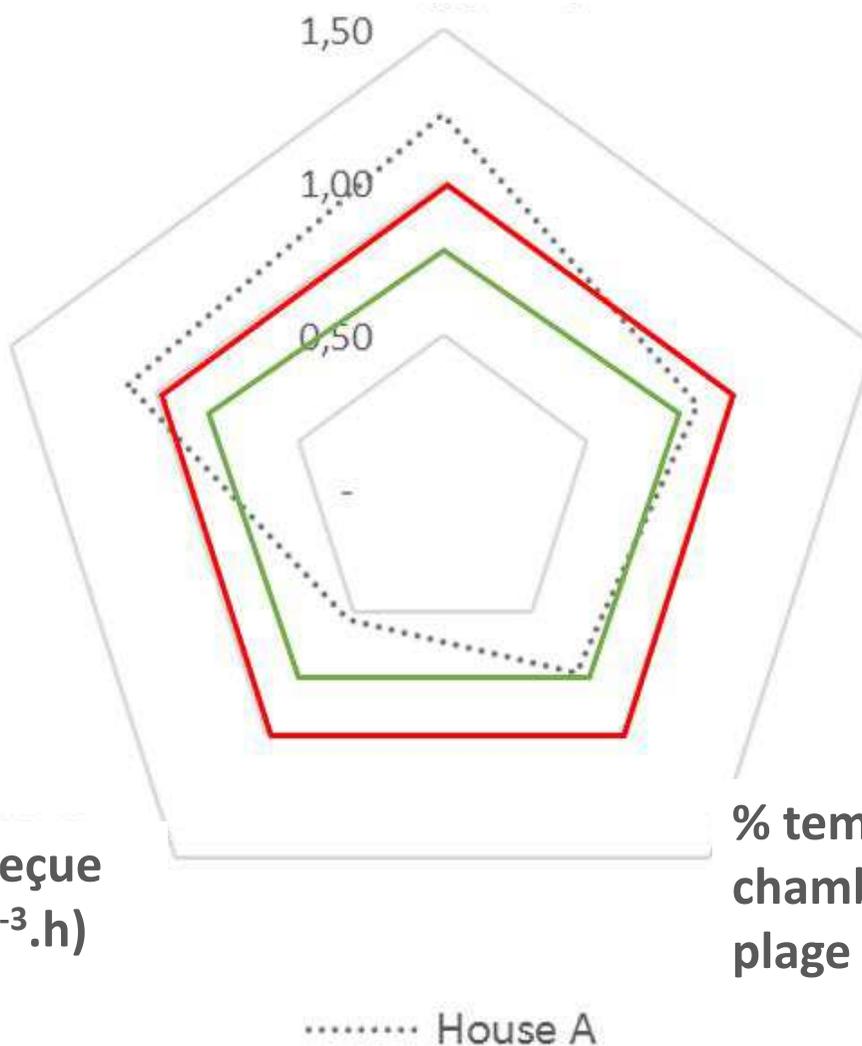
Exposition CO₂ excédante cumulée maximale dans les chambres E₁₀₀₀ (ppm.h)

Dose maximale reçue PM_{2,5} E_{max} (µg.m⁻³.h)

Dose maximale reçue HCHO E_{max} (µg.m⁻³.h)

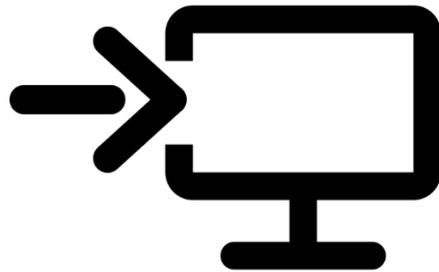
% temps passé maximum avec HR>70% (%)

% temps passé maximum dans les chambres avec HR en dehors de la plage 30-70% (%)



Verrous scientifiques

2



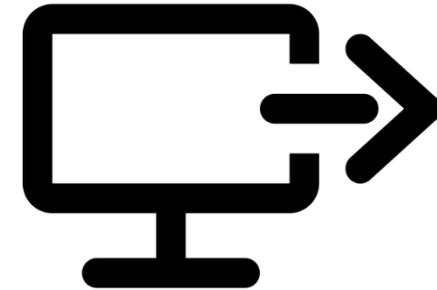
Données d'entrée
Scénarios

3



Niveau de détail
modélisation

1



Un jeu limité
d'indicateurs de
performance

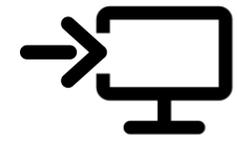


Scénarios d'occupation et d'émissions

- **Données proposées issues d'un travail de sélection parmi les données disponibles (littérature, normes, réglementations ...)**
 - Occupation (nombre d'occupants dans chaque pièce à chaque instant)*
 - Émissions d'humidité (métabolisme + activités)
 - Emissions de CO₂
 - Pas de différence entre enfants et adultes**
- **Verrou identifié : le manque de données d'émission en polluants (HCHO, PM_{2.5}, ...) à l'échelle d'un logement**

*Zeghnoun, Abdelkrim, Frédéric Dor, et A. Grégoire. 2010. « Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement »

**Bienfait, D., Fitzner, K., Lindvall, T., Seppanen, O., Woulliscroft, M., Fanger, P.O., Jantunen, M., Skaret, E., Schwer, J., 1992. Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings (No. Report n°11-EUR 14449 EN), European Collaborative Action on Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure Reports.

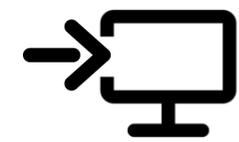


Disponibilité des données d'émission en polluants dans la littérature

- Emissions dues à des activités spécifiques, des produits et des matériaux du bâtiment, obtenues en conditions standardisées (COV : ISO 16000-9)
 - Beaucoup de données, HCHO > PM_{2.5}
- Problèmes :
 1. Difficile extrapolation conditions standardisées -> in situ. Phénomènes physiques complexes (effets combinés, re-suspension, etc...).
 2. Difficile de construire un scénario robuste à l'échelle du bâti à partir des matériaux, produits et activités*

=> **Méthode de calcul simplifiée des taux d'émission à l'échelle d'un logement**

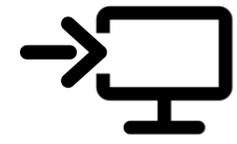
*Boulanger, X., Mouradian, L., Pele, C., Pamart, P.Y., Bernard, A.-M., 2012. Lessons learned on ventilation systems from the IAQ calculations on tight energy performant buildings, in: AIVC-Tightvent Conference Proceedings. Copenhagen, pp. 40–43.



Méthode simplifiée proposée

- Bilan massique en polluant avec hypothèse d'émission constante
- Appliqué sur données non publiées mesurées sur 10 maisons BBC
 - Guyot, G., et al., 2017. Ventilation performance and indoor air pollutants diagnosis in 21 French low energy homes. *International Journal of Ventilation* 0, 1–9. (Projet VIA Qualité, ADEME CORTEA 2012)

Maison	Surface au sol [m ²]	Volume [m ³]	Q [m ³ .h ⁻¹]	C [μg.m ⁻³]	Taux d'émission g [μg.h ⁻¹ .m ⁻²]
1	174	452	110.3	22.9	12.7
2	121	302	73.7	31.1	17.2
3	168	437	308.4	9.0	11.3
4	161	419	209.8	10.3	9.7
5	176	456	286.0	17.4	23.6
6	67	174	40.6	17.9	9.1
7	150	375	60.7	24.1	8.6
8	151	378	79.8	35.9	17.4
9	112	314	40.1	15.4	4.5
10	80	209	150.0	11.9	16.8



Prise en compte à la conception

■ Proposition de 3 niveaux d'émission

- Faible: $4.5 \mu\text{g.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$
- Moyenne : $12.0 \mu\text{g.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$
- Elevée: $23.6 \mu\text{g.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$

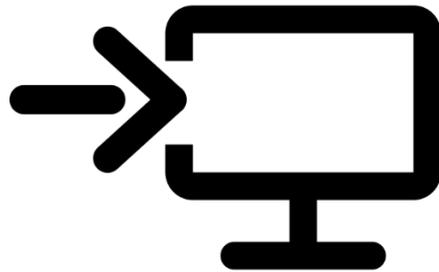
■ Dans le calcul de performance à la conception d'un bâtiment

- Par défaut => **classe élevée**
- Utilisation de matériaux de classe A+ (étiquetage QAI) + sensibilisation des occupants = > **classe faible**
- Autres (ex: utilisation de matériaux de classe A+ (étiquetage QAI) OU sensibilisation des occupants) = > **classe moyenne**

■ *Pas de données sur les émissions de $PM_{2,5}$ - échelle logement*

Verrous scientifiques

2



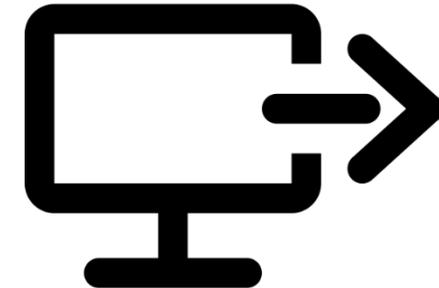
**Données d'entrée
Scénarios**

3



**Niveau de détail
modélisation**

1



**Un jeu limité
d'indicateurs
de performance**

Modèle : éléments à décrire dans une telle réglementation



■ Modèles physiques

- De type multizone (CONTAM, COMIS, ...)
- Prise en compte du tirage thermique
- Modèle de vent au droit du bâtiment et choix des coefficients de pression
- Modèle de tampon hygroscopique
- Période de calcul adaptée au climat et habitudes du pays / région,
- Pas de temps de calcul ≤ 10 minutes

■ Modélisation du bâtiment

- Portes fermées /détalonnage,
- Distributions non uniformes de la perméabilité à l'air (enveloppe + parois intérieures)
- Modèles utilisés pour le calcul des débits d'air aux terminaux de ventilation (bouches, entrées d'air)

Plan de soutenance

1. Impact des distributions de perméabilité à l'air

- Campagne de mesure
- Etude numérique

2. Approche performantielle pour la ventilation

- Méthode proposée
- Application de la méthode à un cas d'étude

3. Conclusions et perspectives

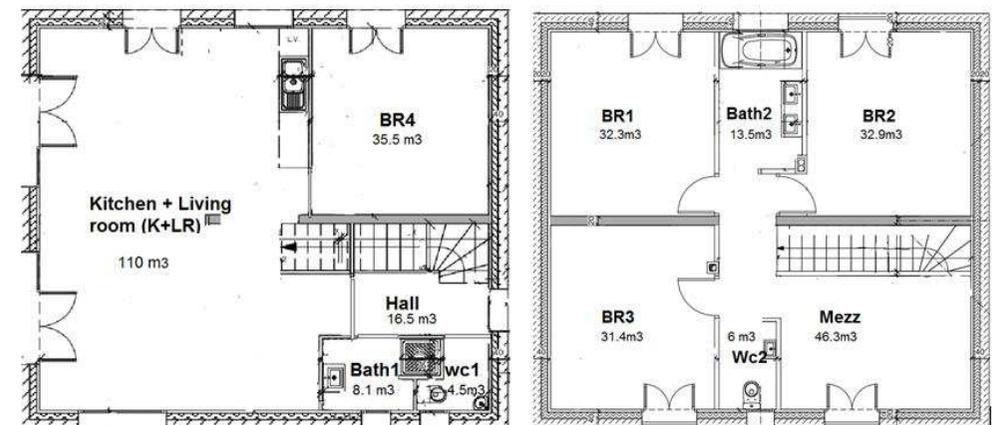
Méthode

- Objectif : être à la conception d'une maison soumise à notre réglementation performantielle QAI
- Même cas d'étude – étude d'impact des distributions de perméabilité à l'air
- Même hypothèses de modélisation



CONTAM

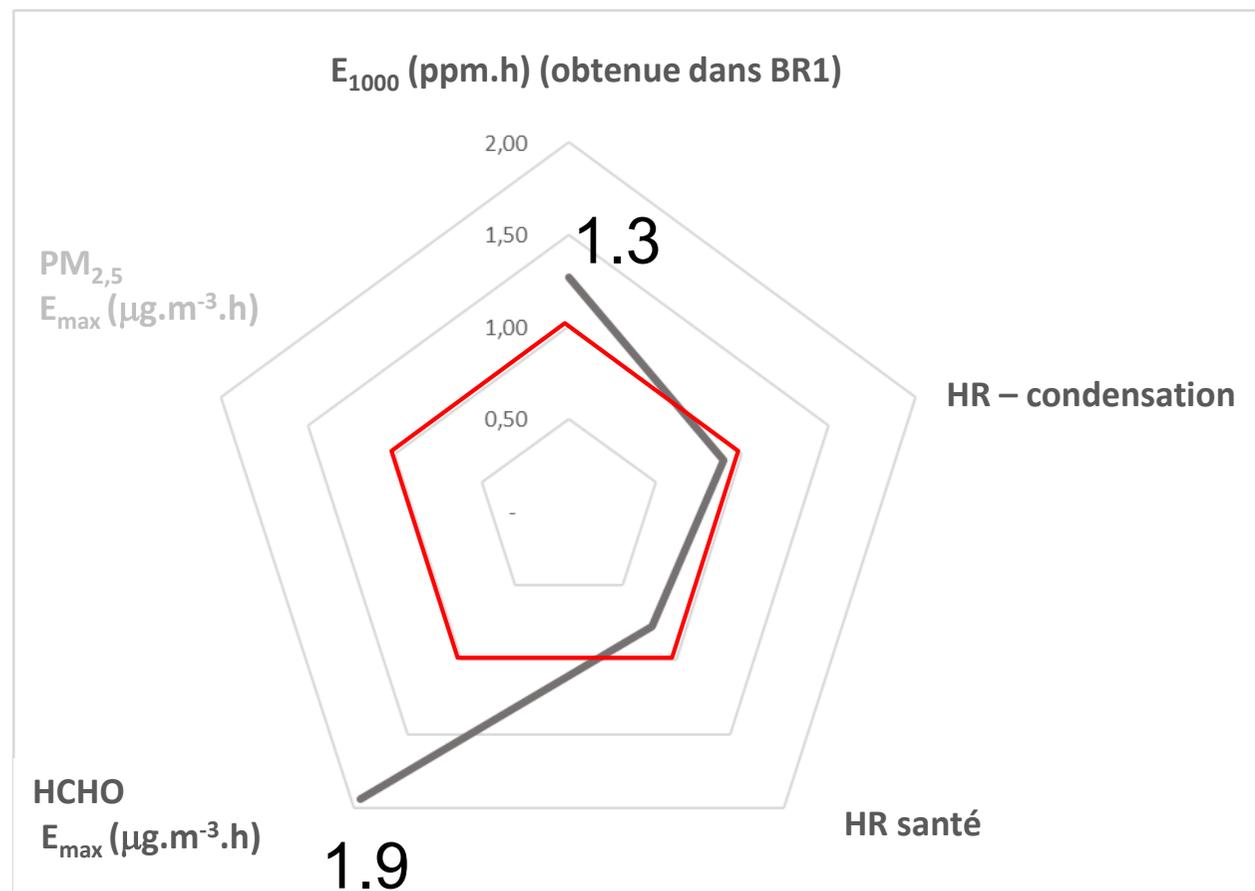
Multizone Airflow and Contaminant Transport Analysis Software



Résultats

■ Si le maître d'ouvrage souhaite

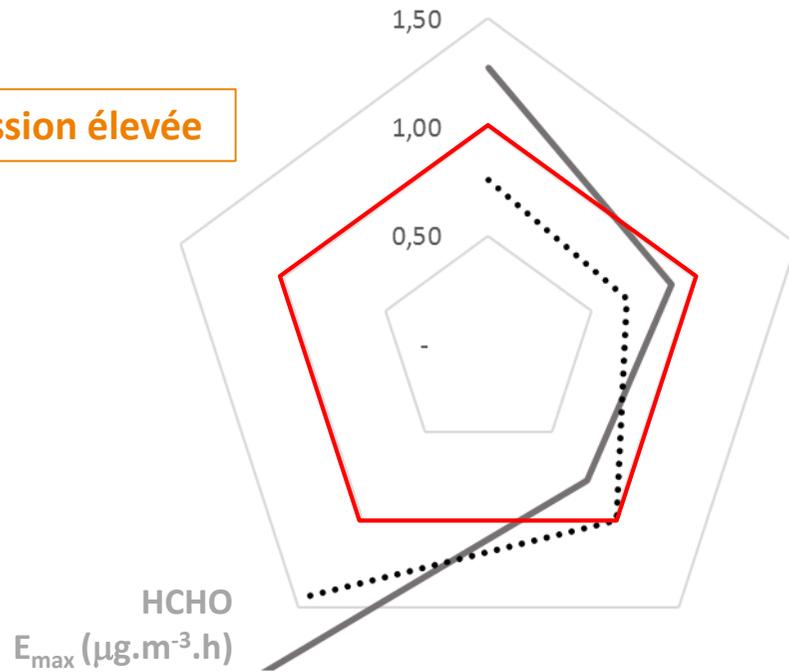
- Une maison en ossature bois
- Équipée d'un système de ventilation simple-flux
- Ne pas se préoccuper de choisir des matériaux et produits de construction avec étiquette QAI A+
 - => utilisation dans le calcul de performance à conception d'une classe élevée d'émission



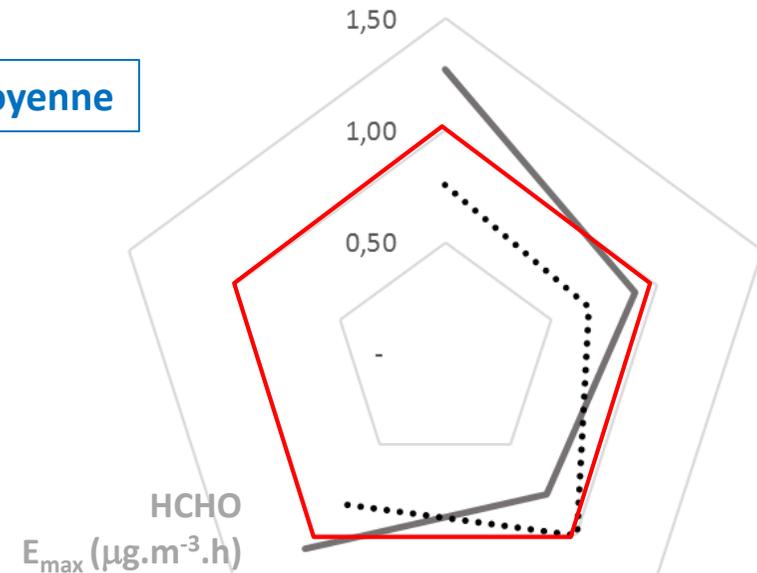
Comment la méthode peut aider dans des choix à la conception ?

E_{1000} (ppm.h) (obtenue dans BR1)

Emission élevée



Emission moyenne



$HCHO E_{max}$ ($\mu g \cdot m^{-3} \cdot h$)

— Exhaust-only ventilation

..... Balanced ventilation

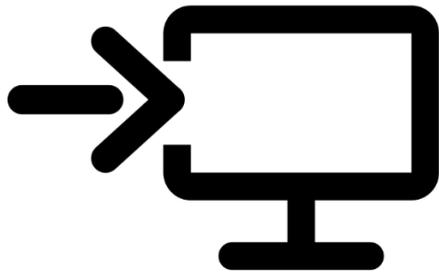
$HCHO E_{max}$ ($\mu g \cdot m^{-3} \cdot h$)

Emission faible

2. Approche performantielle proposée

Conclusion intermédiaire

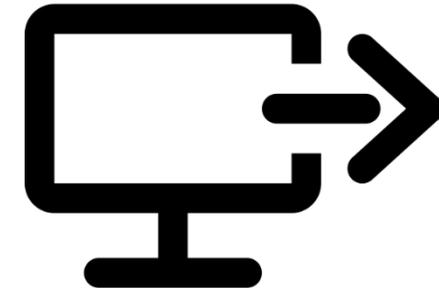
- Développement d'une méthode : une avancée sur les trois verrous scientifiques
- Méthode applicable et utile à la conception



**Données d'entrée
Scénarios**



**Niveau de détail
modélisation**



**Un jeu limité
d'indicateurs
de performance**

Conclusion

1. Avec quel niveau de détail modéliser les distributions de perméabilité à l'air ?

- Caractérisation *in situ* de ces distributions
- Quantification des écarts obtenus non négligeable

=> Pertinence d'utiliser des distributions non uniformes sur l'enveloppe et sur les parois intérieures



Conclusion

1. Avec quel niveau de détail modéliser les distributions de perméabilité à l'air ?
2. Est-il possible de développer une approche performantielle pour la ventilation des logements applicable à la conception ?

- Développement d'une méthode – première ébauche
- Applicabilité de la méthode développée

=> **Oui, mais à consolider et non figer !**



Perspectives

■ Approche à consolider et résultats à confirmer

- Robustesse des scénarios proposés : approches stochastiques ou 75- ou 90-percentile ?
- Inclure les particules et le risque aigüe
- Tester l'approche sur différents types de géométries, avec des systèmes de « ventilation intelligente »
- Comparer avec des données mesurées in-situ sur la maison du cas d'études

■ Vers une approche performantielle « complète » ?

- Ne fixant plus des débits de ventilation *a priori* (Espagne, 2017)
- Performance globale : intégrant énergie et QAI

Merci pour votre attention

Et un grand merci aux stagiaires qui ont participé à ces travaux :

Hugo Geoffroy, M2R Univ. La Rochelle

Ariane Lesage, ENTPE

Léna Migne, Polytech'Annecy Chambéry

Mallory Bobee, Polytech' Annecy Chambéry

Jérémy Ferlay, INSA Lyon

Thibaud Bello, ENTPE