

Cerema : Séminaire Étanchéité à l'Air des Bâtiments
Méthode Basse Pression Pulse

Christopher Wood, University of Nottingham
Xiaofeng (Ken) Zheng, University of Nottingham
and Luke Smith, Build Test Solutions

21 juin 2023



Introduction & Sommaire

- Contexte réglementaire au Royaume-Uni
- Introduction à Pulse et à ses principes fondamentaux
- Etudes expérimentales, validation et comparaisons avec une porte soufflante
- Application de Pulse au marché et opportunités en France
- Démonstration de la mesure

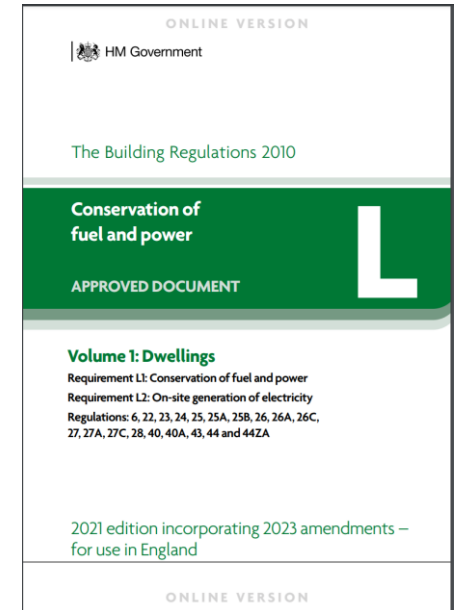


Contexte réglementaire RU

○ Nouveau bâtiment

- Test obligatoire d'après 'Partie L: Économie de combustible et d'électricité' depuis 2007 – 100% des nouveaux bâtiments résidentiels à partir de 2022
- Test réalisé par une “personne compétente” certifiée par l'un des deux organismes d'accréditation – Airtightness Testing Measurement Association (ATTMA) OU Elmhurst Airtightness Testing Scheme.
- Test réalisé selon la procédure approuvée – CIBSE TM23.
 - ISO9972 = bases
 - Décrit la préparation du bâtiment, le matériel de mesure, les procédures d'étalonnage en détail
 - Intègre à la fois la méthode par porte soufflante mais aussi Pulse

- 150 000 –200 000 nouveaux bâtiments réceptionnés par an, approx. **600** mesureurs



Contexte réglementaire RU

○ Rénovation

- Un intérêt pour l'efficacité énergétique mais aussi pour la ventilation - "pas d'isolation sans ventilation" / "Construire étanche, ventiler correctement".
- Test exigé pour des projets financés par les pouvoirs publics, conformément aux réglementations PAS2035 (résidentiel) et PAS2038 (commercial)
- **Mesure de perméabilité à l'air** = tous les terminaux de ventilation fermés / obturés
- **Evaluation du renouvellement d'air** = bouches d'aération / ventilation utilisables fermées, sinon tous les autres points de ventilation sont laissés ouverts (comme en utilisation).
- 27 millions de foyers existants au RU. Un marché de mesures en pleine expansion !





University of
Nottingham

UK | CHINA | MALAYSIA

Introduction à la Méthode Basse Pression Pulse et à ses principes fondamentaux

Christopher Wood & Xiaofeng (Ken)
Zheng,
University of Nottingham

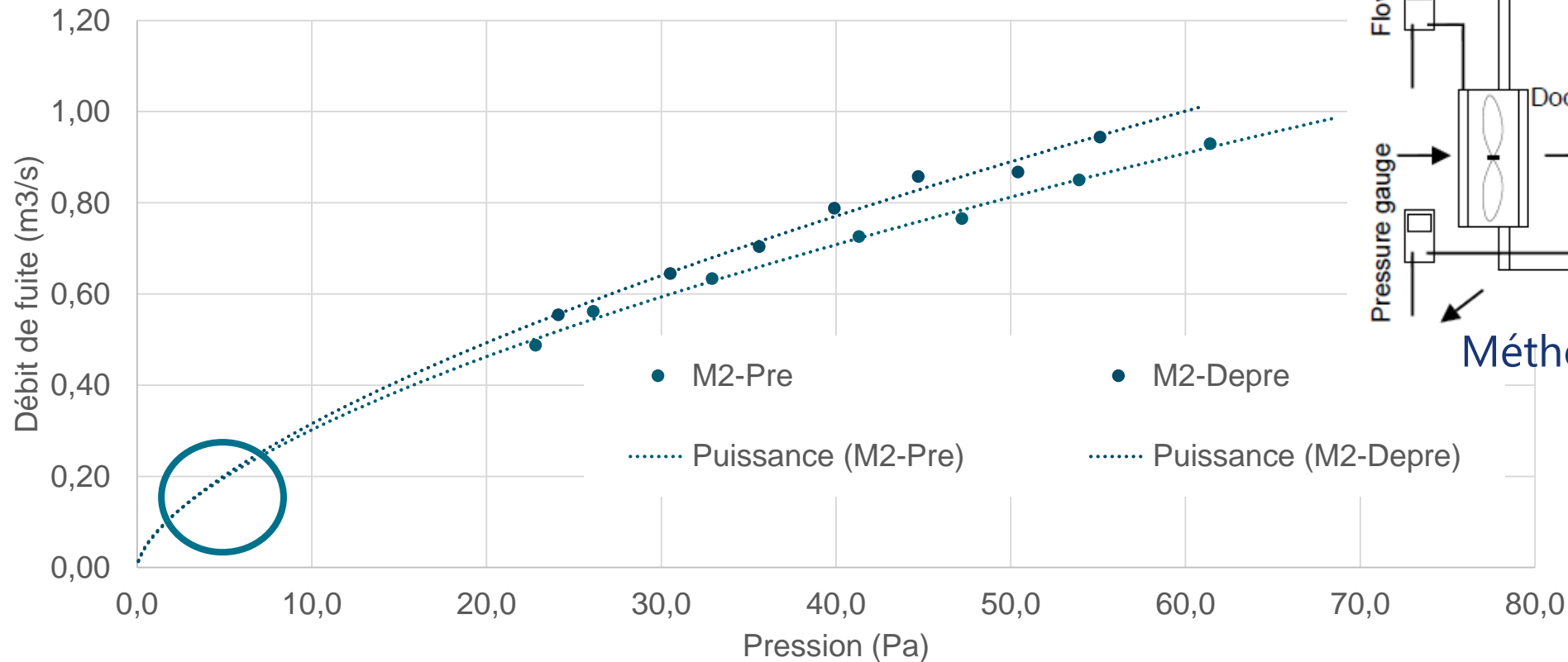
21 juin 2023





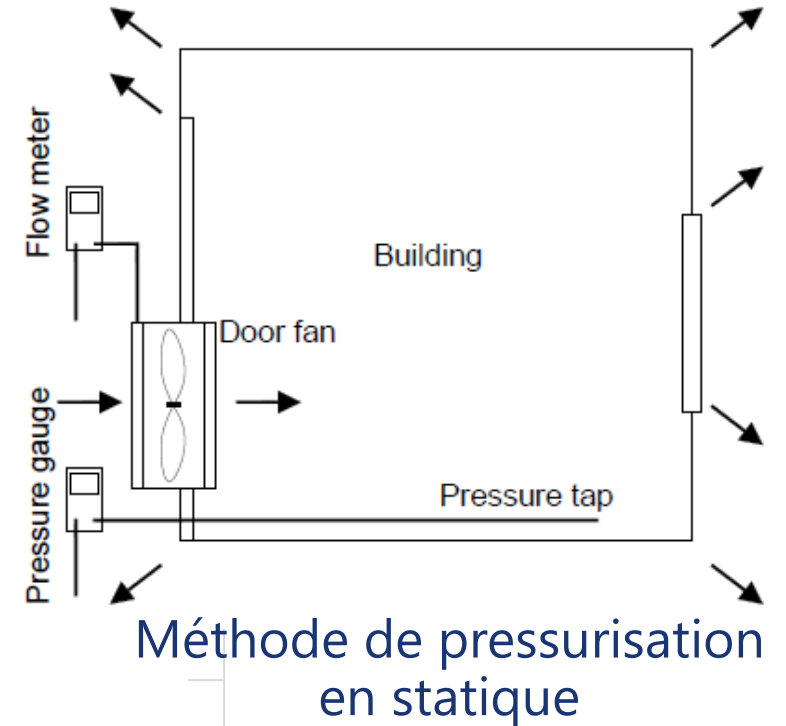
Qu'est-ce que Pulse ?

- Pulse est une méthode basse pression pour mesurer la perméabilité à l'air à 4Pa



Loi puissance

$$Q = CP^n$$



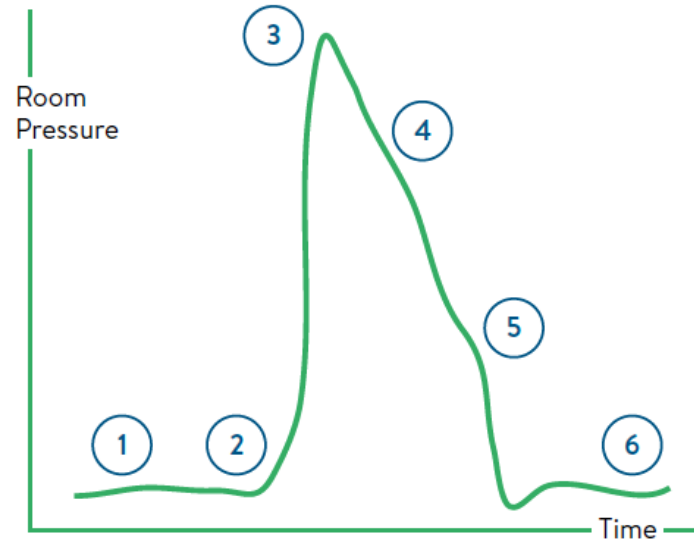
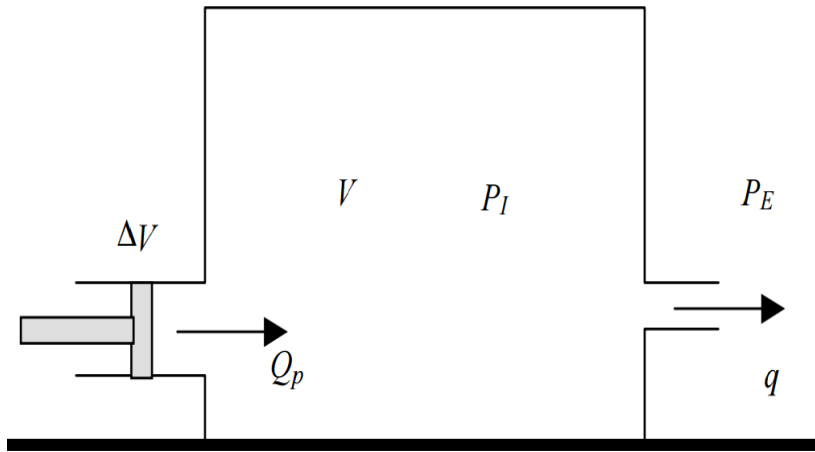


Motivation des travaux de recherche

- La motivation première était la recherche d'une méthode pour tester l'étanchéité à l'air de grands bâtiments (*vers le milieu des années 90*)
- Développement d'une méthode qui ne nécessite pas des débits d'air importants
- Développement d'une méthode rapide à mettre en oeuvre
- Développement d'une méthode qui peut être réalisée à basse pression, tout en prenant en compte l'effet du vent et du tirage thermique



Principe fondamental – Modèle d'inertie temporelle



- L'équation de la continuité (conservation de la masse) pour le modèle quasi-statique d'inertie temporelle

$$\frac{1}{\rho_i} V \frac{d\rho_i}{dt} = Q_p\{t\} - q\{t\}$$

- Dilatation Isentropique $p_i/\rho_i^\gamma = C$

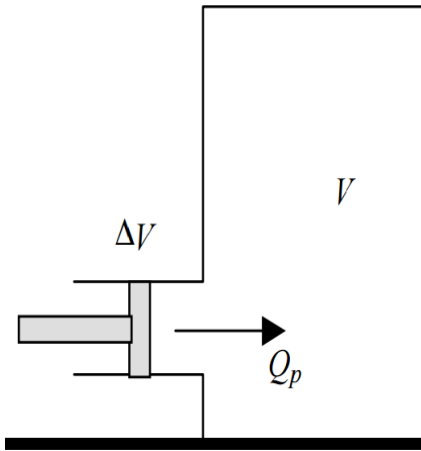
- Equation de conservation du moment **Terme inertiel**

$$q\{t\} = Q_p\{t\} - \frac{V}{\gamma p_i} \frac{dp_i}{dt}$$

$$\Delta p\{t\} = aq\{t\}^2 + bq\{t\} + \rho_i \frac{l_e}{A} \frac{dq}{dt}$$



Principe fondamental – Modèle d'inertie temporelle



- L'équation de pour le modèle

$$\frac{1}{\rho_i} V \frac{d\rho_i}{dt} = Q_p \{t\}$$

$$q\{t\} = Q_p \{t\} - \frac{V}{\gamma_i}$$

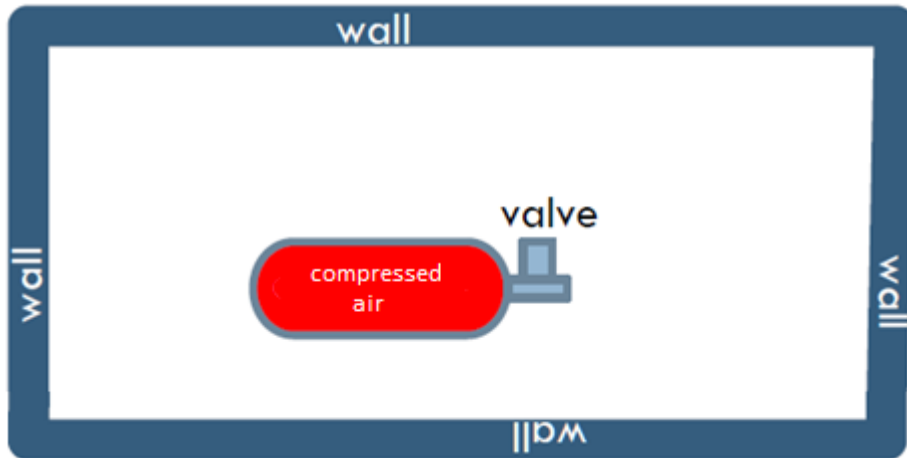
$$\rho_i \gamma = C$$

nt Terme inertiel

$$\rho_i \frac{l_e}{A} \frac{dq}{dt}$$



Principe fundamental – Techniques du “piston”

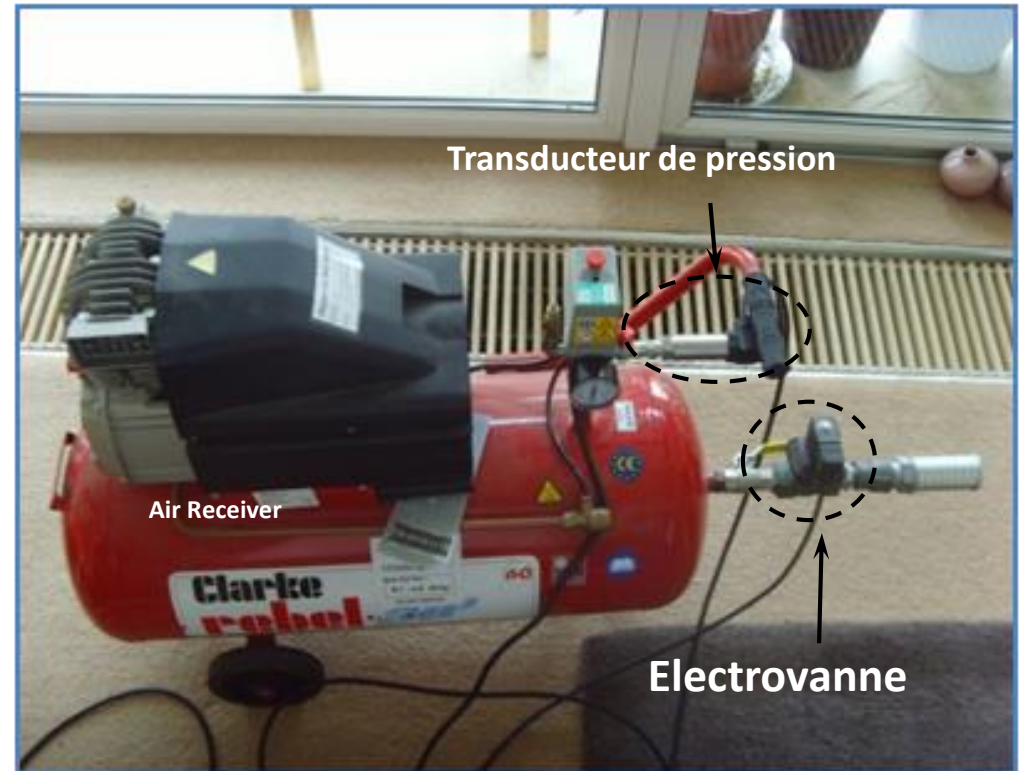


Débit d'air massique

$$\dot{m}_p(t) = -V' [P(t)/P_0]^{(1-\gamma)/\gamma} \dot{P}(t) / (\gamma RT_0)$$

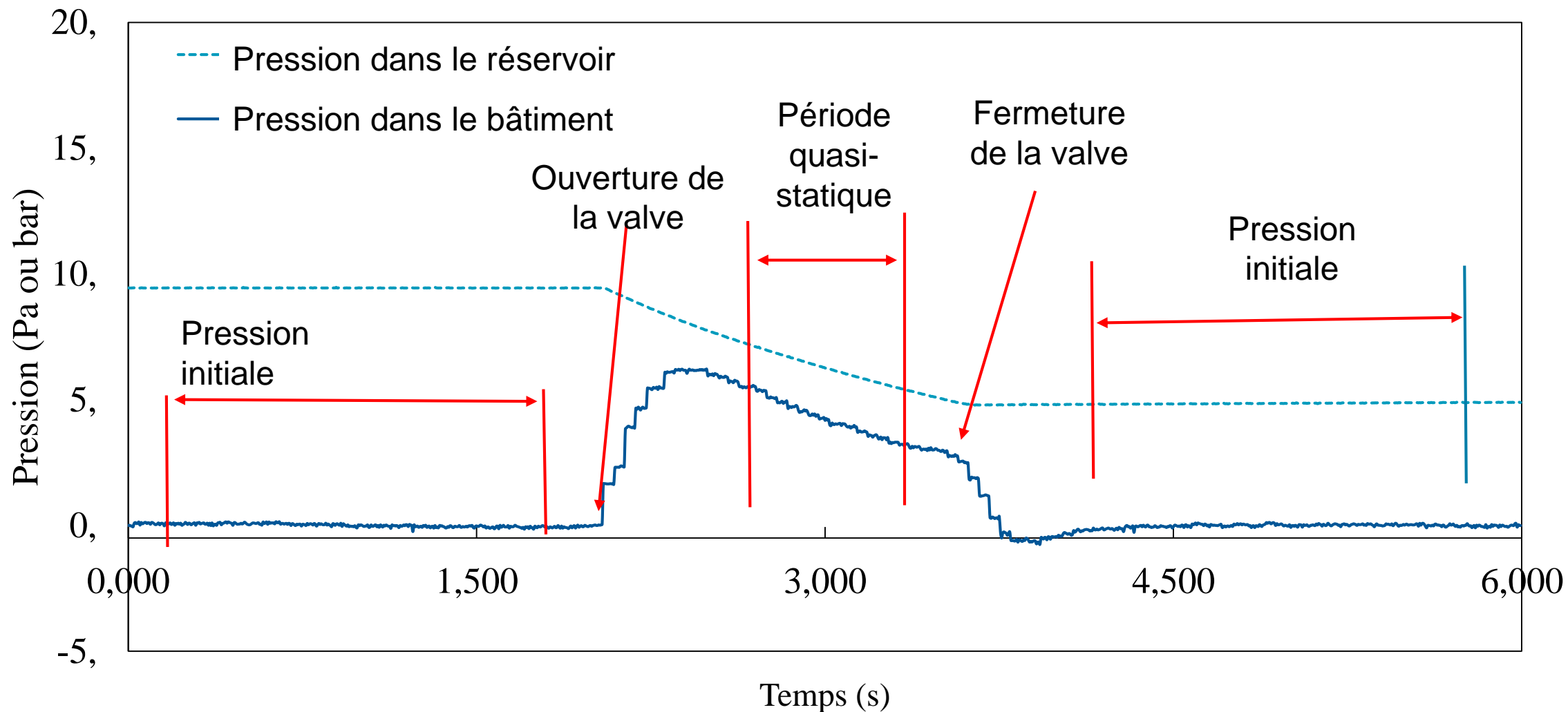
Densité interne homogène

$$Q_p\{t\} = \dot{m}_p(t) / \rho_i$$



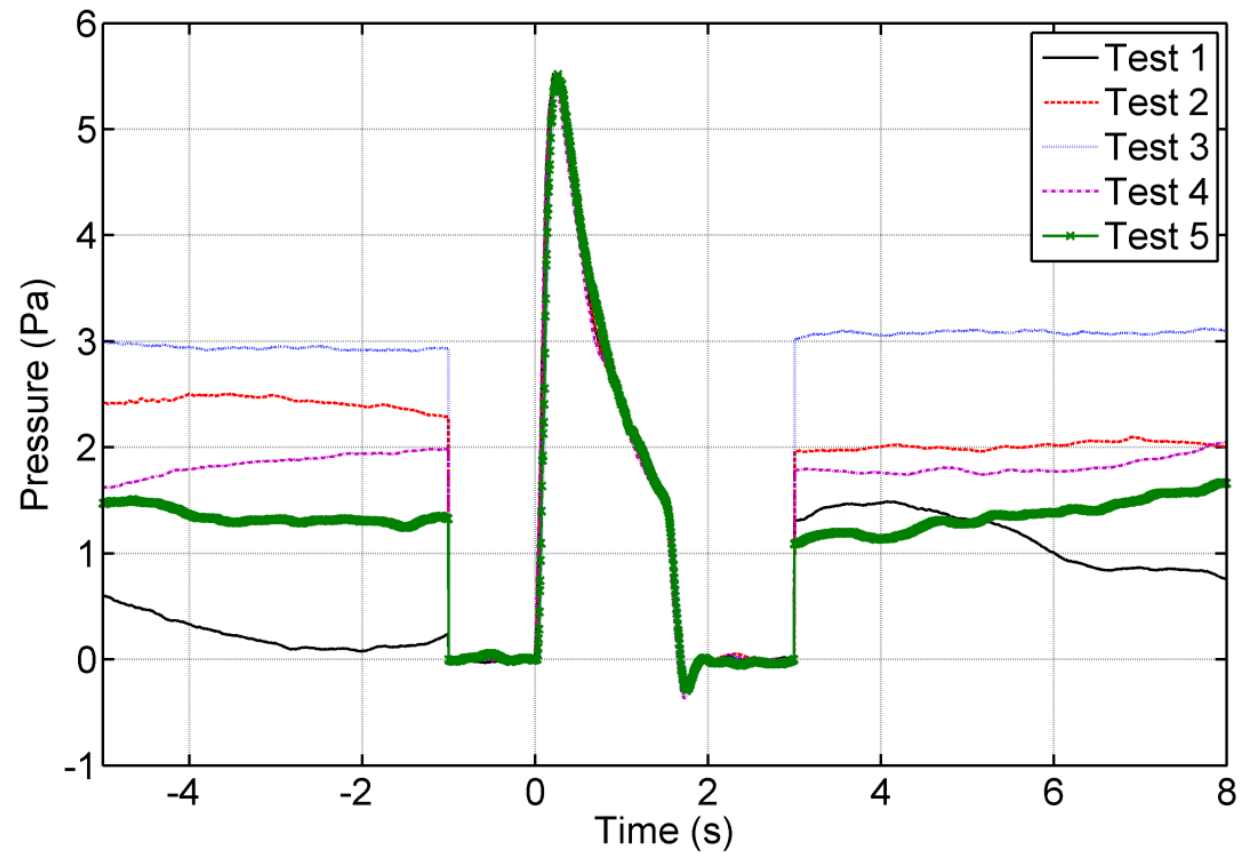
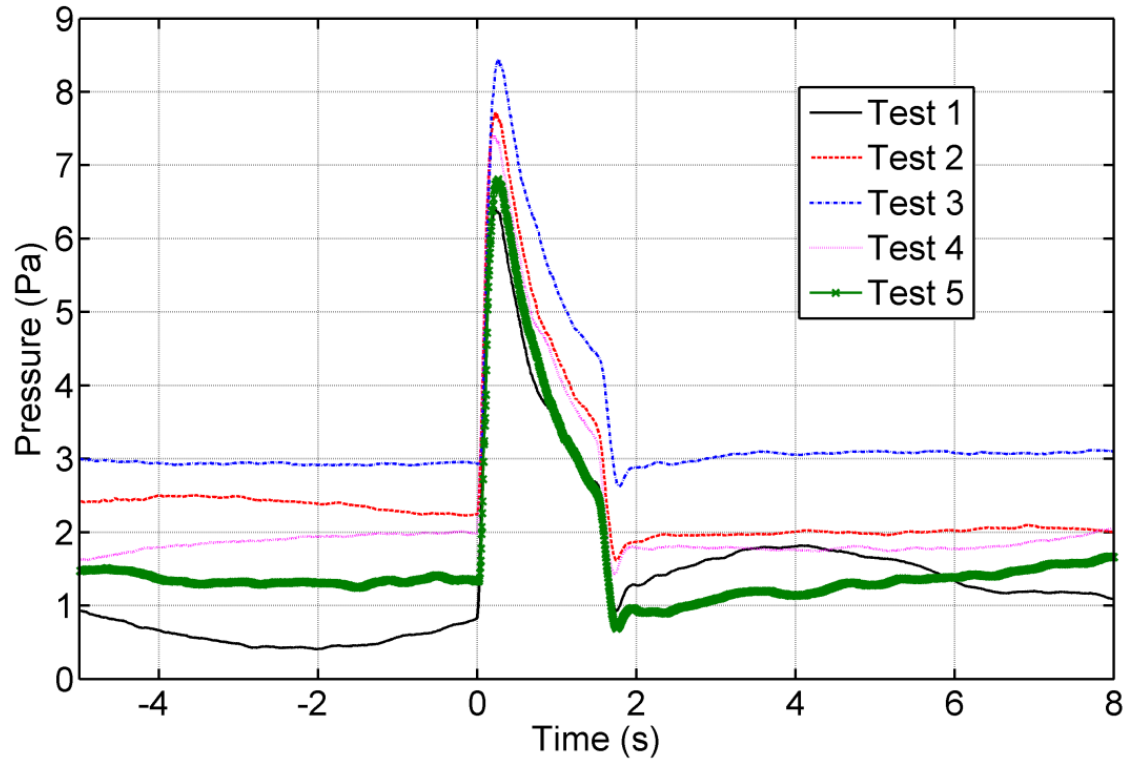


Courbe typique avec Pulse





Correction du changement de pression initiale





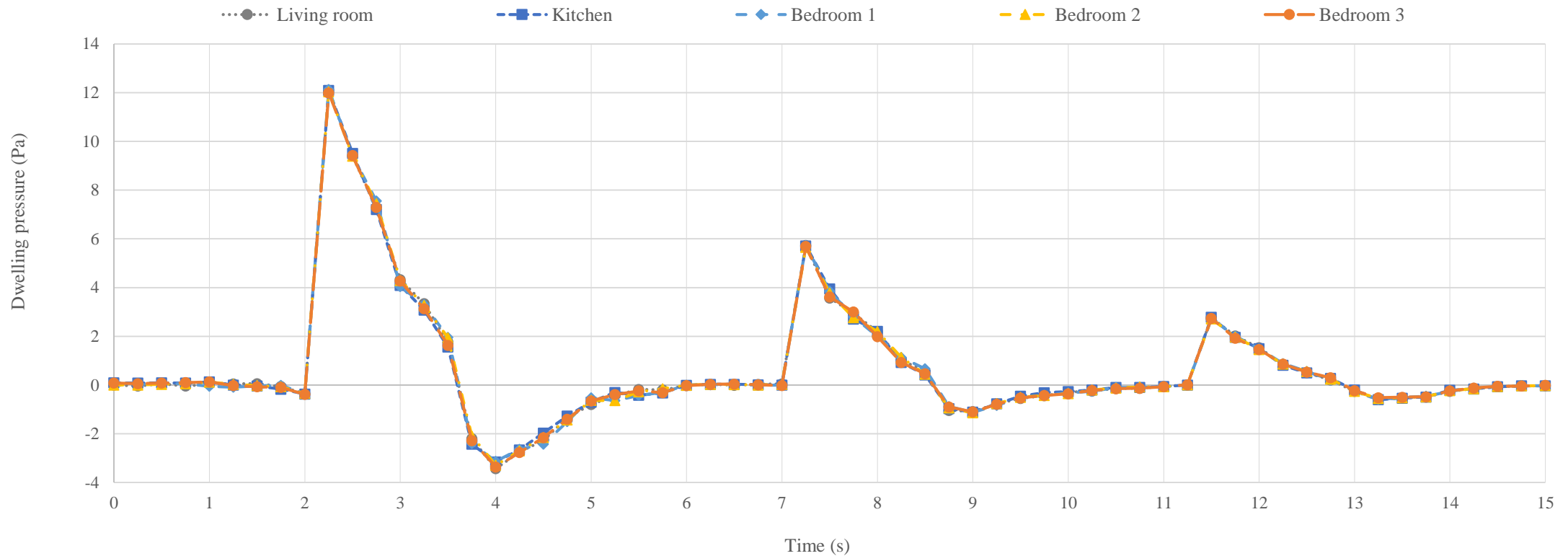
Répartition de la pression



<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107742>



Répartition de la pression



	Living room	Kitchen	Bedroom 1	Bedroom 2	Bedroom 3	%*
Pulse 1	12.09 Pa	12.09 Pa	12.13 Pa	12.04 Pa	11.99 Pa	0.8%
Pulse 2	5.73 Pa	5.71 Pa	5.72 Pa	5.65 Pa	5.69 Pa	1.4%
Pulse 3	2.76 Pa	2.78 Pa	2.72 Pa	2.72 Pa	2.74 Pa	1.4%

*The maximum relative percentage difference between living room and the other rooms



Test & Validation

Tests préliminaires :

- Tests de répétabilité en laboratoire et sur des bâtiments réels, dans des environnements abrités et non-abrités
- Modélisation CFD* de la répartition des pressions dans le réservoir d'air (Pulse tank)
- Modélisation CFD* de la répartition des pressions dans le bâtiment

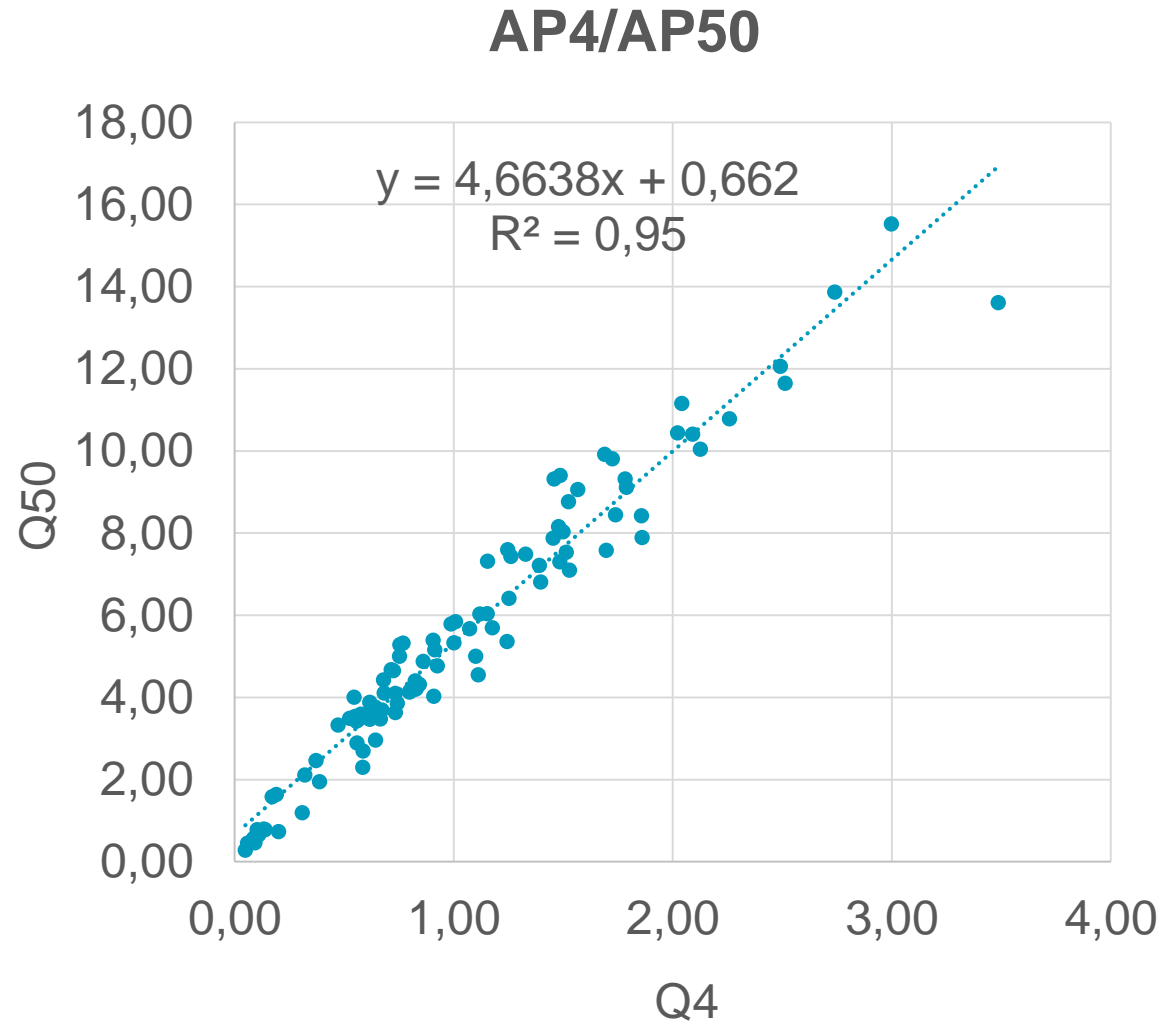
**Computational fluid dynamics – Mécanique des fluides dynamique*



Test & Validation

Suite pour des études terrain à plus grande échelle :

- 119 bâtiments mesurés avec une porte soufflante (pressurisation et dépressurisation) + Pulse
 - Pulse RPD* de 4.4%
 - Bonne concordance générale avec la porte soufflante

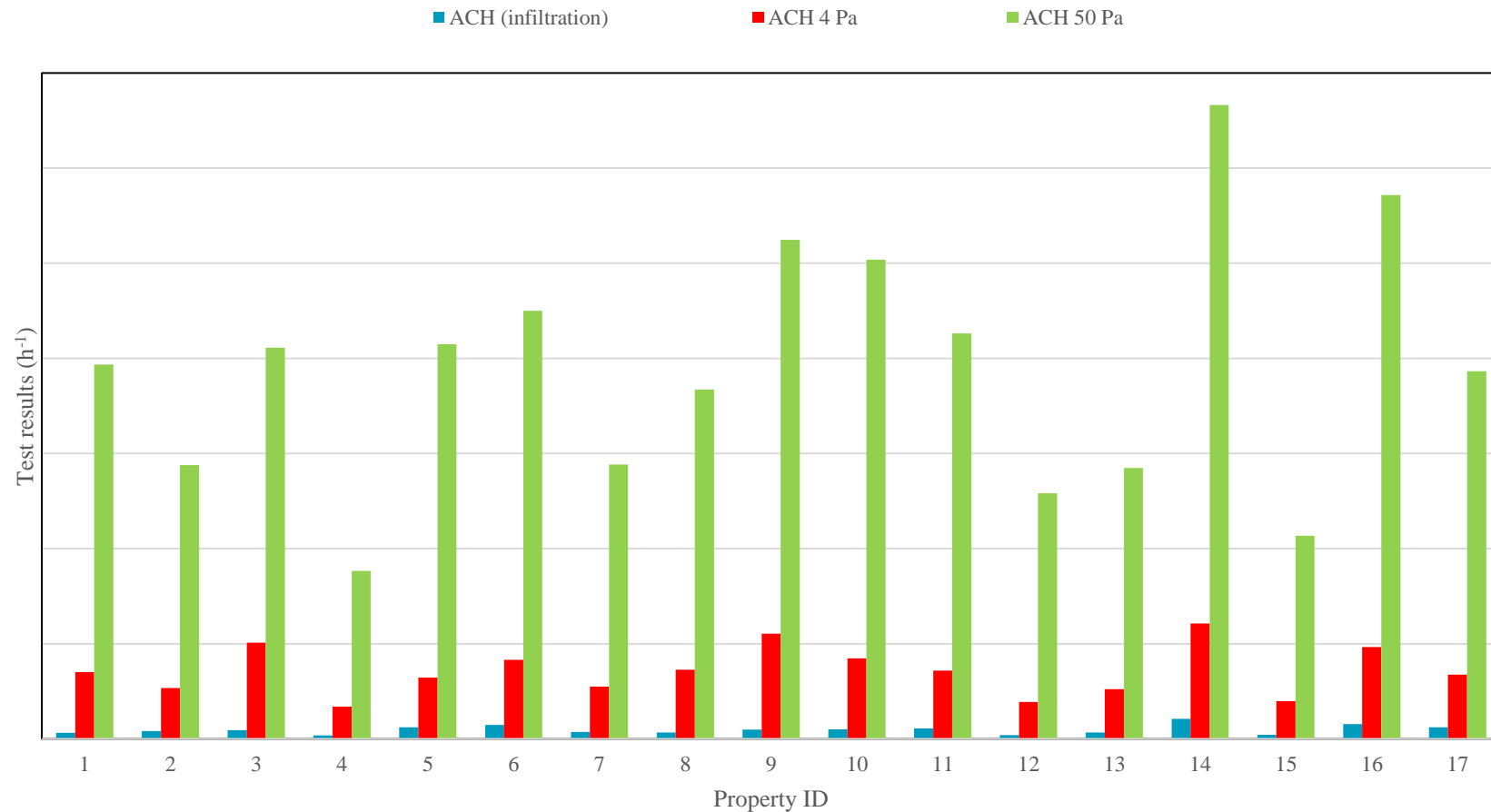


*Relative Percent Difference = Différence relative en pourcentage



Test & Validation

- 21 logements – Pulse, porte soufflante et mesure de la décroissance par gaz traceur (infiltrations) :





Test & Validation

- 21 logements – Pulse, porte soufflante and mesure de la décroissance par gaz traceur (infiltrations) :

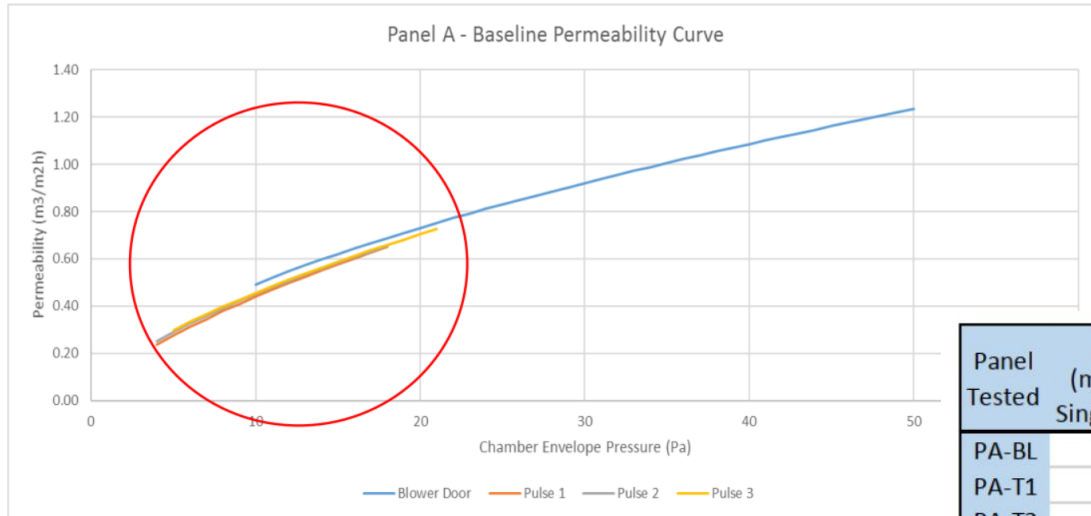
Corrélation perméabilité à l'air / infiltrations	ACH4/ ACH	ACH50/ ACH
Moyenne	8.2	44.4
Minimum	5.3	30.7
Maximum	11.4	66.9
Standard error	0.54	2.65

ACH, ACH4, ACH50 sont respectivement les débits d'infiltration, le taux de renouvellement d'air à 4 Pa and le taux de renouvellement d'air à 50 Pa mesurés par la technique de gaz traceur, les tests Pulse et les mesures à la porte soufflante



Test & Validation

- Essais croisés de pression et d'ouverture (fuites) connues



Panel Tested	Blower Door (m ³ /m ² h @50Pa) Single pressure test	PULSE (m ³ /m ² h @4Pa) Average of 3 tests	Correction Factor PULSE to 50Pa	Lowest data point crossover Pa	Highest data point crossover Pa	Difference between data in the overlap (%)			
						Minimum	Maximum	Average	
PA-BL	1.22	0.25	4.88	10	21	9.0%	15.5%	11.5%	
PA-T1	2.24	0.53	4.23	5	23	2.5%	8.7%	5.0%	
PA-T2	3.3	0.82	4.02	6	16	0.1%	7.7%	2.2%	
PA-T3	4.39	1.13	3.89	7	20	0.0%	3.7%	1.2%	
PA-T4	15.81	4.55	3.55	No crossover	No crossover	n/a	n/a	n/a	
PA-T5	27.36	7.57	3.61	9	13	3.9%	12.6%	9.5%	
PB-T6	6.6	1.91	3.46	16	16	7.4%	7.4%	7.4%	
PB-T7	7.3	2.13	3.43	14	20	0.0%	6.9%	5.5%	
						Minimum	0.0%	3.7%	1.2%
						Maximum	9.0%	15.5%	11.5%
						Average	3.3%	8.9%	6.0%

- ❁ 'Low Pressure Pulse (LPP)'
= la technique
- ❁ 'Pulse' un produit breveté



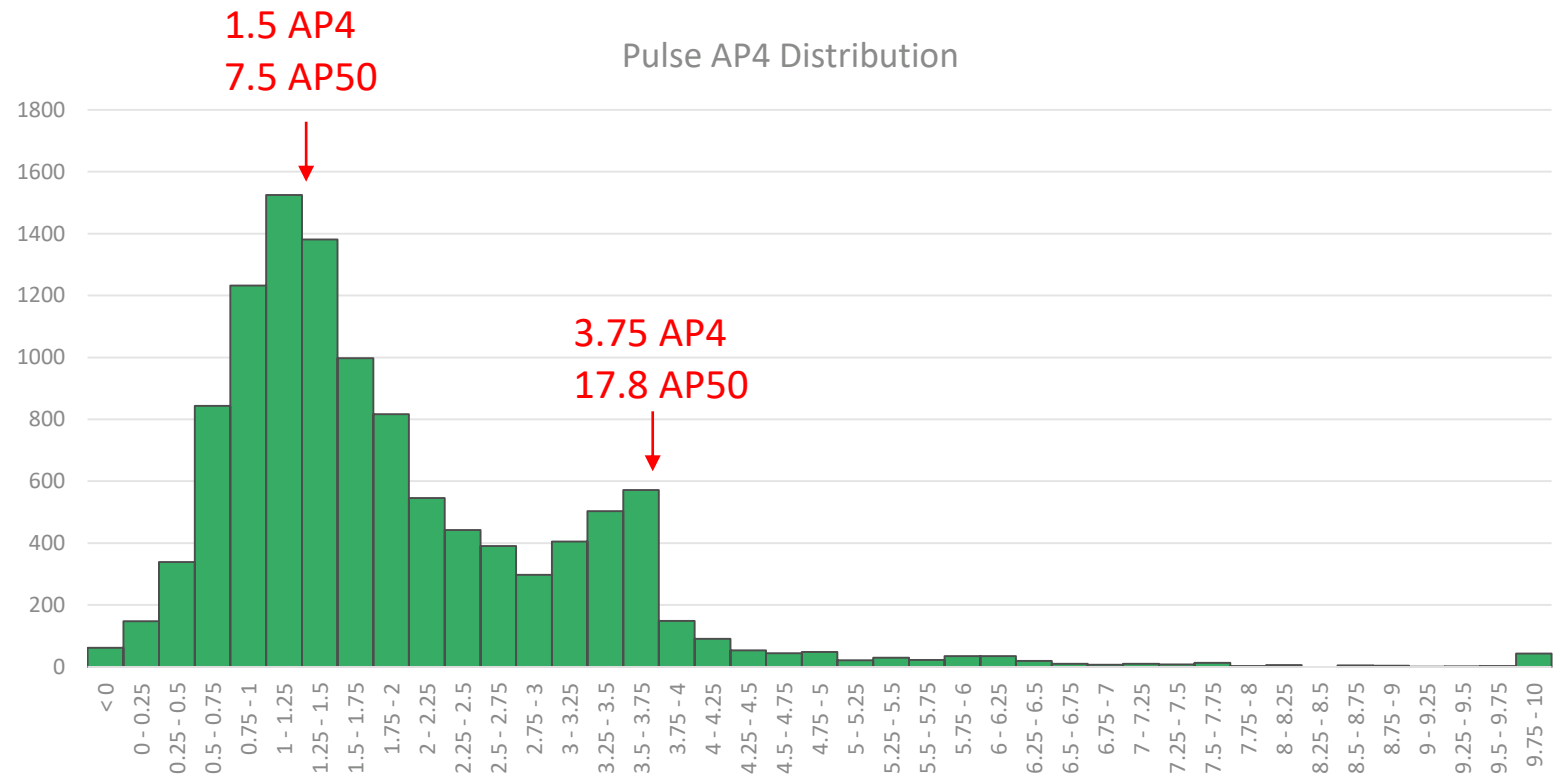
Low Pressure Pulse (LPP) Etanchéité

- Mesure de perméabilité à l'air rapide (4 Pa)
- Débits d'air mesurés qui sont représentatifs des conditions normales d'occupation
- Pas de “stress” artificiel de l'enveloppe du bâtiment
- Simplicité d'utilisation pour l'utilisateur et peu de perturbations
- Lecture immédiate du résultat
- Précision et répétabilité
- ↓ Ne permet pas de localisation des fuites
- ↓ Peut nécessiter plus qu'un test (par exemple, si la plage de mesure est incorrecte)



Low Pressure Pulse (LPP) Etanchéité

- Plus de 20 000 tests Pulse réalisés (RU)
- Essentiellement des logements existants
- Valeur médiane :
1.8 m³/h/m² @4Pa
8.9m³/h/m² @50Pa



Opportunités en France

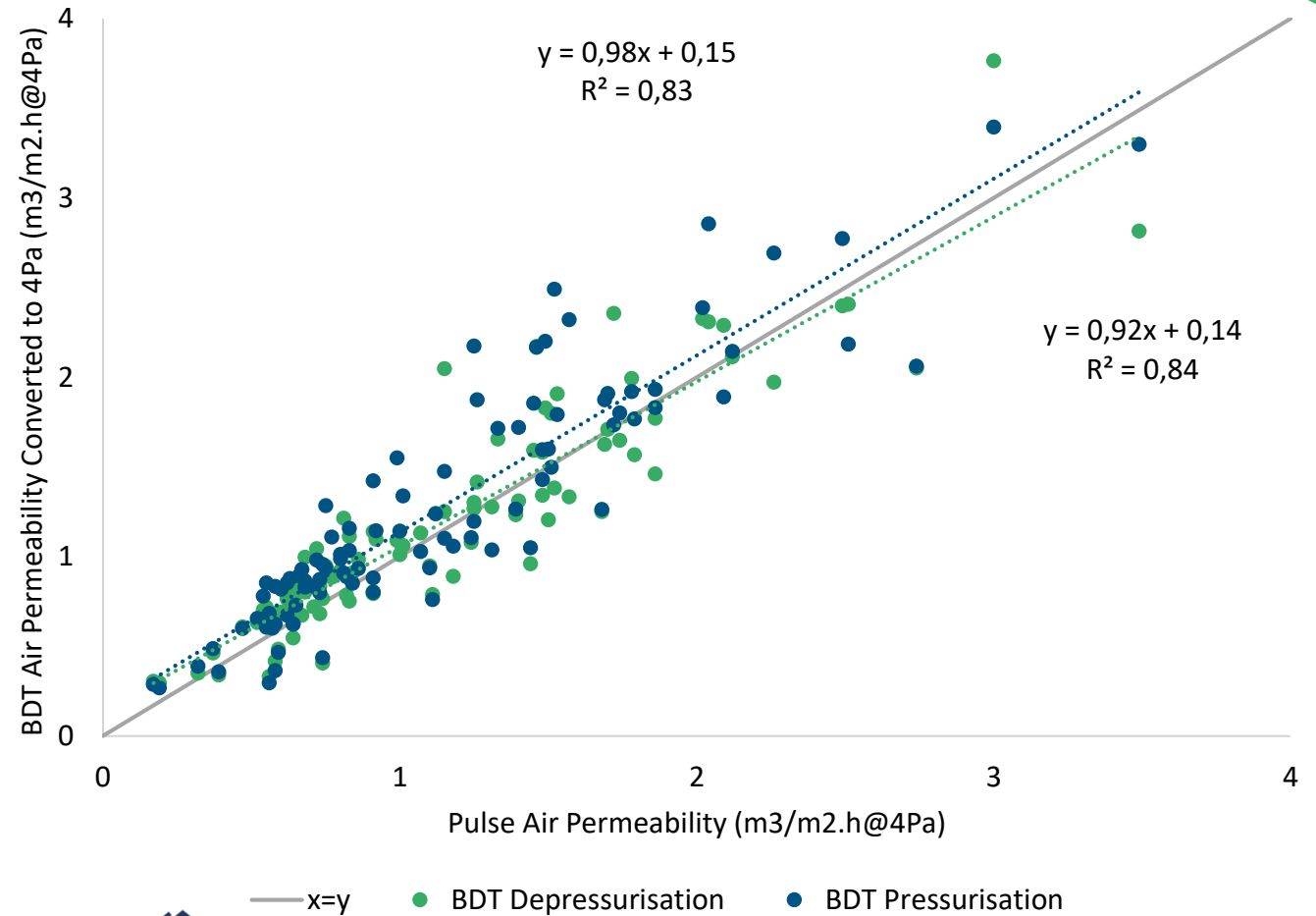
- ❖ La France est un marché naturellement évident avec la réglementation qui utilise déjà la pression de référence de 4 Pa
- ❖ Pulse offre une méthode alternative accessible et peu coûteuse pour tester et vérifier rapidement l'étanchéité à l'air des bâtiments (en particulier résidentiels)
- ❖ En plus de la norme ISO9972, la norme CIBSE TM23 propose une procédure d'exploitation normalisée pour l'utilisation de la méthode LPP
- ❖ D'autres domaines d'application possibles, par exemple les mesures pièce par pièce ou les mesures d'environnements spécialisés tels que les laboratoires de confinement



Opportunités en France

- 97 tests Pulse et porte soufflante
- Au-dessus de la ligne – porte soufflante plus perméable que Pulse
- Au-dessous de la ligne – Pulse plus perméable que porte soufflante
- En moyenne, 4Pa, la porte soufflante mesure une perméabilité à l'air plus élevée que Pulse, en pressurisation et en dépressurisation.

	Relative % difference
Dépressurisation	5.9%
Pressurisation	8.3%
Moyenne (pressure/depressure)	7.1%



Synthèse

- ❖ La méthode LPP a été largement testée et validée, sans doute davantage que la technique de l'infiltrométrie (porte soufflante)
- ❖ Les tests d'étanchéité à l'air ne doivent pas nécessairement être un marché de produits uniques.
- ❖ Les réglementations britanniques ont créé un précédent avec la norme CIBSE TM23, une norme tierce accessible dans le monde entier.
- ❖ La France est un marché naturellement évident, avec la référence réglementaire à 4 Pa. De bonnes synergies existent et il ne fait aucun doute que les deux parties partagent le même intérêt pour l'amélioration de la qualité et de la performance des bâtiments.
- ❖ L'appétit mondial pour Pulse dans de nombreux domaines - maisons neuves et existantes, bâtiments non résidentiels et environnements spécialisés. Très différent des portes soufflantes et offrant donc de nombreuses nouvelles opportunités.



Thank you

Christopher.Wood@nottingham.ac.uk

Xiaofeng.zheng@nottingham.ac.uk

Luke@buildtestsolutions.com

www.buildtestsolutions.com

@BuildTestUK

