

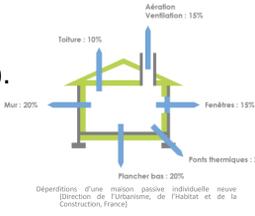
Détermination d'un mur 1D équivalent à une structure 2D/3D : application d'une méthode mixte à différents ponts thermiques et analyse de ses limites.

Julien QUINTEN^(1*) & Véronique FELDHEIM⁽¹⁾



Introduction - Contexte

- Détail 2-3D : Zone de l'enveloppe d'un bâtiment où la géométrie est 2D/3D et qui modifie la résistance thermique, par ailleurs uniforme → Flux de chaleur 2D/3D.
- Le flux de chaleur n'est 1D que sur 50 à 80% de la surface des parois.
 - Effet stationnaire des détails 2D/3D: facilement pris en compte (coefficient de déperdition).
 - Effet dynamique des détails 2D/3D : non considéré (déphasage et amortissement entre les variations de températures intérieure et extérieure).
 - Pour intégrer les aspects dynamique et multidimensionnel : méthode numérique → complexe et beaucoup de ressources pour évaluer le comportement thermique d'un bâtiment au cours d'une année.
 - Objectif : Méthode simple et précise de prise en compte des effets dynamiques des détails 2D/3D de l'enveloppe d'un bâtiment, afin de les intégrer dans un logiciel de simulation énergétique de bâtiments.



Méthode de structure équivalente

Principe

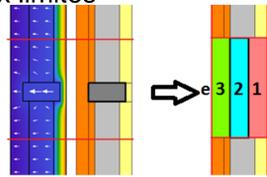
Structure multicouche 1D qui remplace le détail 2D/3D: même comportement

→ Déterminer la résistance thermique R_m et la capacité thermique C_m de

chaque couche → $e_m, \lambda_m, C_m, \rho_m$

- Valable si les propriétés physiques sont constantes
- Paramètres à introduire directement dans le logiciel
- Paramètres valables pour toutes conditions aux limites et périodes d'échantillonnage
- Nombre optimal de couches : 3

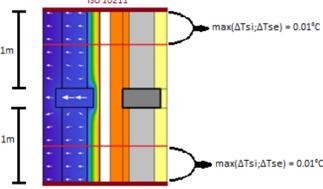
→ $R_1 - R_2 - R_3, C_1 - C_2 - C_3$ à déterminer



Méthode

1) Position des plans de coupe adiabatiques

- A 1m de l'élément perturbateur (ISO 10211)
- Calcul du champ de température (stationnaire, $K_i=8W/m^2K, K_e=23W/m^2K, T_i=20^\circ C, T_e=0^\circ C$)
- Réduction de la zone d'étude : Les températures de surface les plus éloignées de l'élément perturbateur ne diffèrent pas de plus de $0,01^\circ C$ des températures de surface correspondantes à 1m de cet élément.



2) Détermination des facteurs de structure ϕ , de la résistance thermique R et de la capacité thermique C du détail 2D/3D

- Simulation stationnaire ($K_i=8W/m^2K, K_e=23W/m^2K, T_i=0, T_e=1$)
- Facteurs de structure : fractions de la chaleur stockée entre 2 états stables et transférée à travers chaque surface

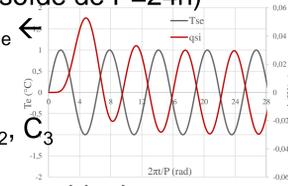
$$\phi_{ii} = \frac{1}{C} \int_V \rho c (1 - T)^2 dV \quad \phi_{ie} = \frac{1}{C} \int_V \rho c T (1 - T) dV$$

$$\phi_{ee} = \frac{1}{C} \int_V \rho c T^2 dV \quad \phi_{ii} + 2\phi_{ie} + \phi_{ee} = 1$$

- Résistance $R = \frac{1}{q_i} = \frac{1}{q_e}$ Capacité $C = \int_V \rho c dV$
- Structures ayant ces 5 nombres identiques: comportement thermique dynamique similaire, mais peut être différent en détails.

3) Détermination des caractéristiques harmoniques du détail 2D/3D

- Simulation dynamique ($T_i=0, T_e=\sin(2\pi t/86400)$) : sinusoïde de $P=24h$)
- → Amplitude A et phase α des flux surfaciques q_i et q_e



4) Calcul de la structure 1D équivalente

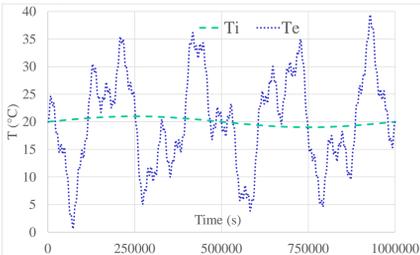
- Combinaisons adéquates de valeurs R_2 et R_3
- Valeurs identiques pour $R, C, \phi_{ii}, \phi_{ie}, \phi_{ee} \rightarrow R_1, C_1, C_2, C_3$
- Pour une structure 1D: $\phi = f(K_i, K_e, R_m, C_m, R, C)$
- Calcul des caractéristiques harmoniques pour chaque combinaison
- Pour une structure 1D: $A_i', \alpha_i', A_e', \alpha_e' = f(K_i, K_e, R_m, C_m, P=24h)$
- La meilleure structure équivalente est celle qui minimise la fonction F

$$F = \sqrt{\left(\frac{A_i'(24h) - A_i(24h)}{A_i(24h)}\right)^2 + \left(\frac{A_e'(24h) - A_e(24h)}{A_e(24h)}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_i'(24h) - \alpha_i(24h)}{\alpha_i(24h)}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_e'(24h) - \alpha_e(24h)}{\alpha_e(24h)}\right)^2}$$

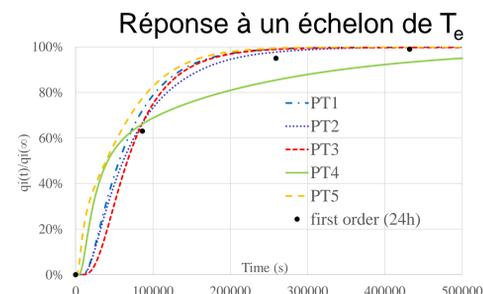
Résultats

$K_e=23W/m^2K, K_i=8W/m^2K, T_i$ et T_e : voir graphe, $\Delta t=2000s$ – 4 nouveaux détails 2D étudiés (PT2 → PT5) : Comparaison des flux à travers la surface intérieure

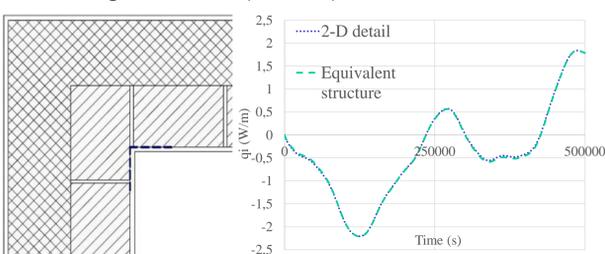
Températures d'ambiance



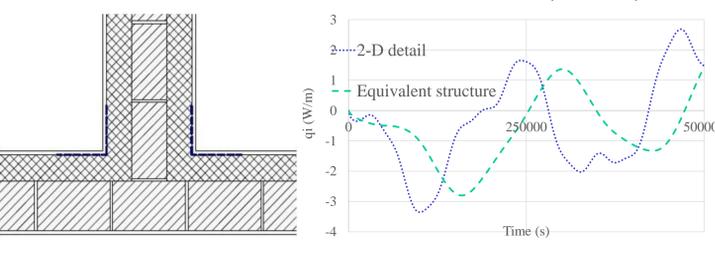
	R m.K.W ⁻¹	C kJ.m ⁻¹ .K ⁻¹	U_{1D} W.m ⁻² .K ⁻¹	ψ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	ϕ_{ii}	ϕ_{ie}	ϕ_{ee}	Err
PT1	6.30	692.3	0.146	0.0042	0.921	0.025	0.026	0.032
PT2	4.66	268.5	0.146	-0.064	0.688	0.085	0.142	0.046
PT3	5.91	348.5	0.141	0.050	0.426	0.048	0.478	0.29
PT4	2.40	597.1	0.212	0.17	0.158	0.096	0.650	1.7
PT5	5.41	162.6	0.116	0.013	0.295	0.091	0.523	1.3



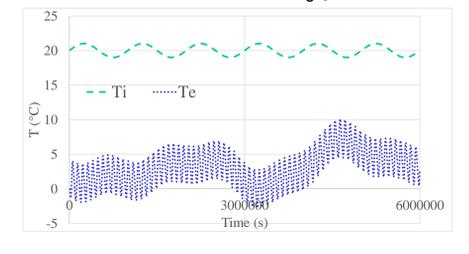
PT2: Angle sortant (massif)



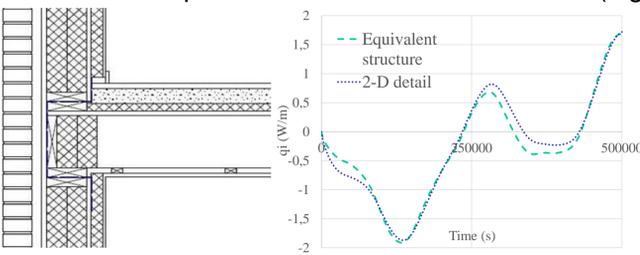
PT4: Raccord mur intérieur – mur extérieur (massif)



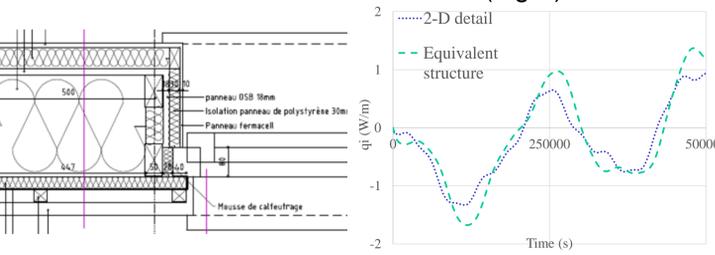
Evolution de T_e plus réelle



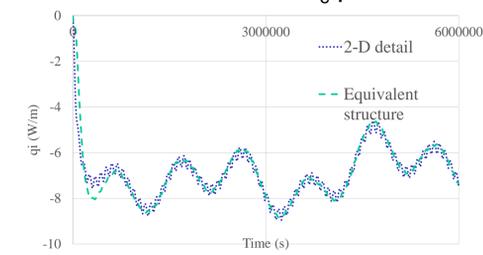
PT3: Raccord plancher intérieur – mur extérieur (léger)



PT5: Raccord fenêtre – mur extérieur (léger)



PT4: Avec T_e plus réelle



- PT1 (voir SFT 2015): Raccord plancher intérieur – mur extérieur (massif): Comportement thermique de la structure équivalente très proche de celui du détail 2D.
- Les résultats sont très bons pour PT2 et PT3, moins pour PT4 et PT5. Respectivement, l'écart sur l'intégrale de la valeur absolue de q_i : 0.55, 5, 18 et 29%.
- La fonction Err donne une image de la précision de la structure équivalente: au plus cette valeur est faible, au plus la structure équivalente est précise.
- Si la réponse indicielle s'écarte fortement de celle d'un système de 1^{er} ordre de $\tau=24h$, le comportement thermique de la structure équivalente est moins précis,
- L'évolution de T_e est assez sévère. Avec une évolution de T_e proche de données climatiques réelles (Belgique), l'évolution de q_i est correcte en moyenne.