

Méthode du mur équivalent

Comment tenir compte de géométries 2D/3D dans des logiciels de simulation énergétique qui font l'hypothèse d'un flux de chaleur 1D?

Contexte

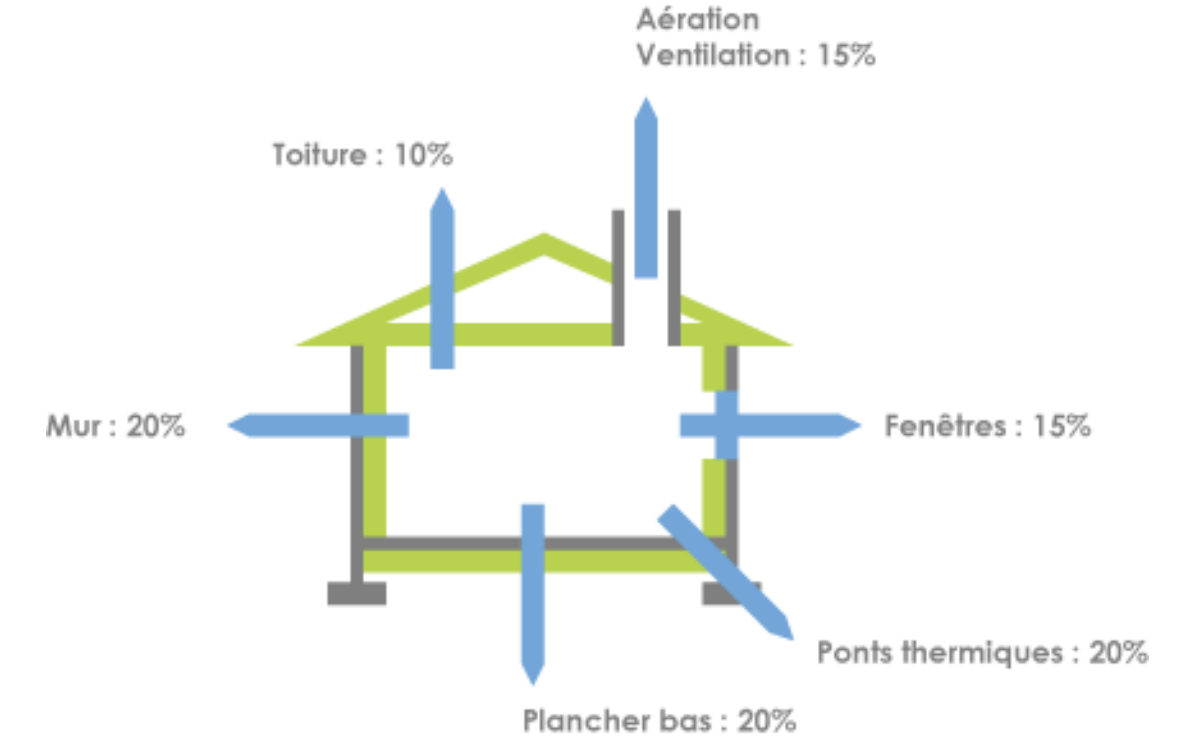
Détail 2D/3D : Zone de l'enveloppe où la géométrie est 2D/3D et qui modifie la résistance thermique, par ailleurs uniforme (1D), de l'enveloppe

Utilisation de logiciels de simulation énergétique : prédiction du comportement énergétique des bâtiments

→ Effet stationnaire des détails 2D/3D : facilement pris en compte (coefficient de déperdition)

→ Effet dynamique des détails 2D/3D non considéré (déphasage, amortissement entre les variations de T_i et T_e)

→ **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**



Déperditions d'une maison passive individuelle neuve (Direction de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction, France)

Mur équivalent: méthodologie

Principe

Mur 1D qui remplace le détail 2D/3D : **mêmes comportements thermiques statique et dynamique**

- Déterminer la résistance R_m et la capacité C_m de chaque couche → $e_m, \lambda_m, C_m, \rho_m$
- Paramètres valables pour toutes conditions aux limites et périodes d'échantillonnage
- Pas valable si les propriétés physiques = f(T)
- Optimum: 3 couches → $R_1 - R_2 - R_3 - C_1 - C_2 - C_3$

Détermination

1) Mêmes résistance R, capacité C, facteurs de structure ϕ

- Structure 2D/3D : simulation stationnaire ($T_e = 1, T_i = 0$)

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

$\phi_{ii} - \phi_{ie} - \phi_{ee}$ représentent la fraction de la quantité de chaleur stockée à proximité du côté intérieur – du centre – du côté extérieur du mur.

- Structure 1D : relations analytiques f(R_m, C_m)

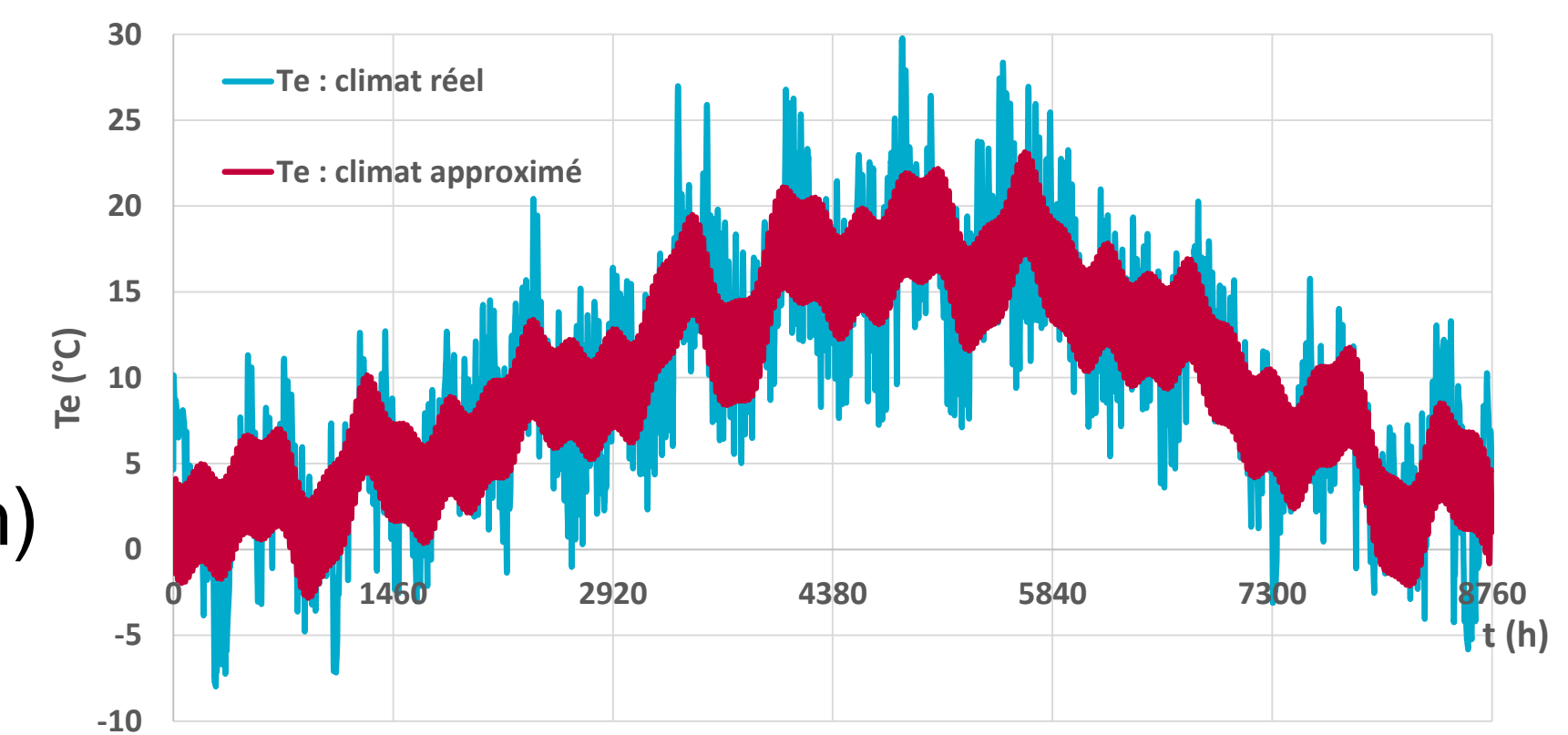
→ 4 relations, 6 paramètres à déterminer : infinité de murs 1D → choisir le « meilleur » via une fonction objectif

2) Fonction objectif F à minimiser

- Combinaisons de valeurs de R_2 et R_3 : relations R, C et facteurs de structure → $R_1 - C_1 - C_2 - C_3$ → Calcul de F

$$F = \sum_{t=400h}^{t=2000h} (q_i(t) - q'_i(t))^2$$

- q_i : flux de chaleur à travers la géométrie 2D/3D : simulation numérique (0-2000h)
- q'_i : flux de chaleur à travers le mur équivalent 1D : relations analytiques (régime harmonique)
- CL → T_e : approximation d'un climat réel (Uccle) : Σ harmoniques, T_i : sinusoïde ($A = 1^\circ C, P = 24h$)

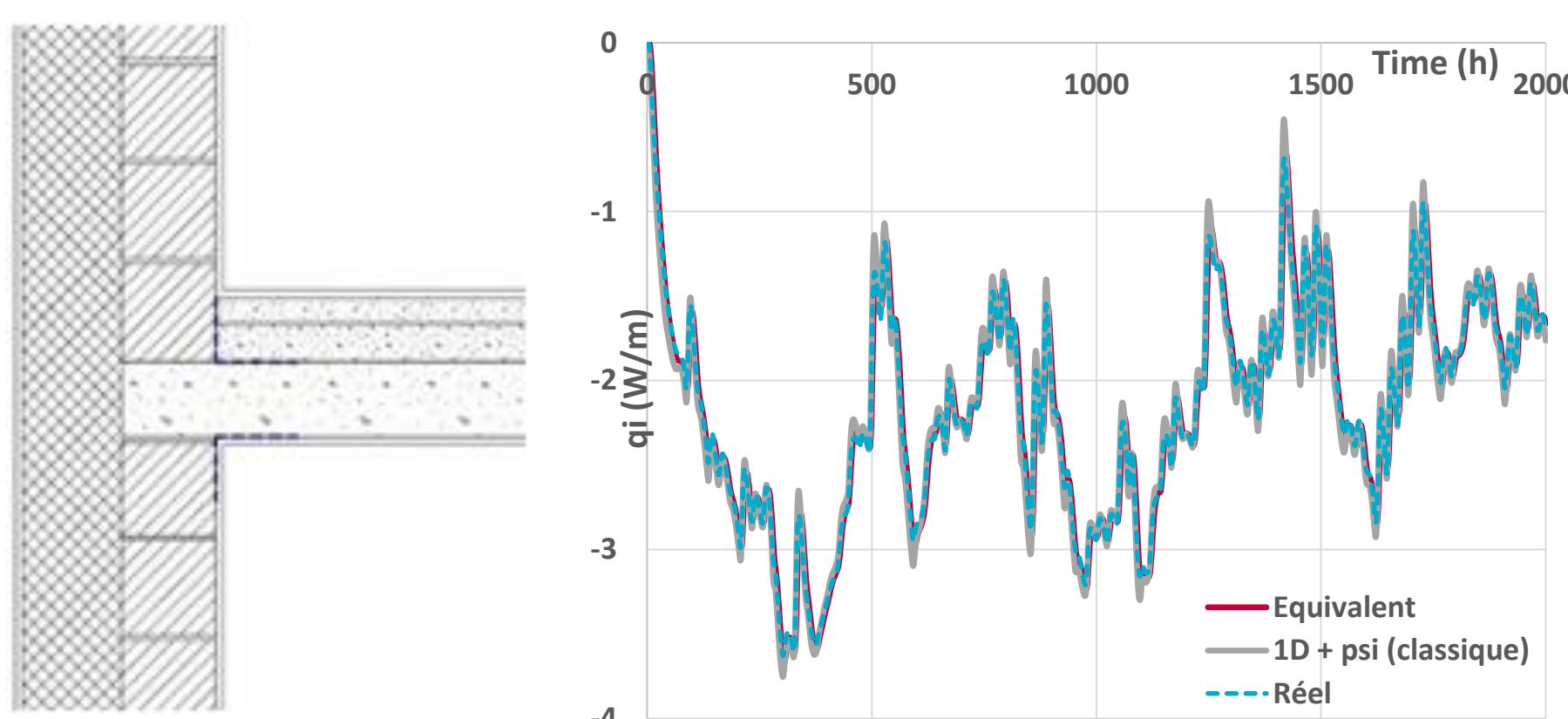


Résultats

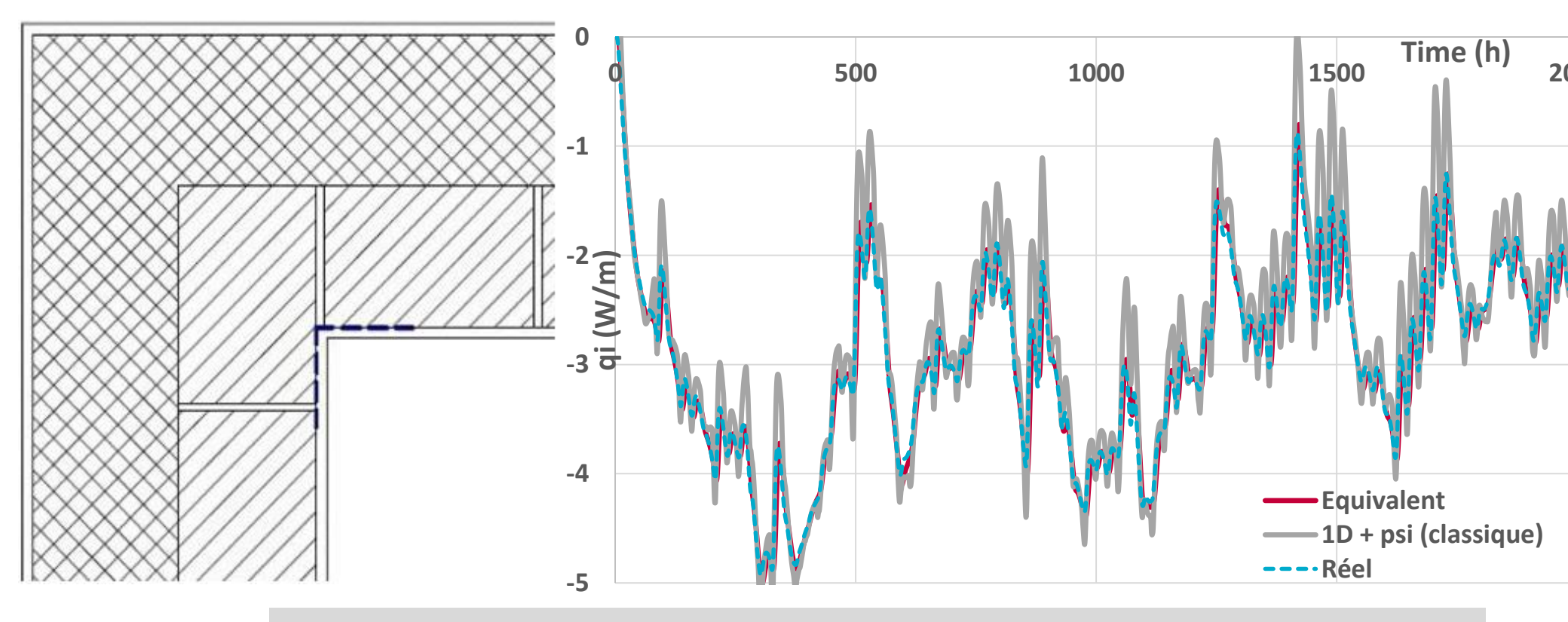
CL : $T_i = 20^\circ C$, données météo horaires (T_e , flux solaire : Uccle). $\Delta t = 1h$.

	R_{mur} (m^2K/W)	C (kJ/m^2K)	ϕ_{ii}	ϕ_{ie}	ϕ_{ee}	$\epsilon_{intégrale}$ (%)	$\epsilon_{intégrale}$ 1D + Ψ	ϵ_{moy} (W/m)	ϵ_{moy} 1D + Ψ
PT1	6.57	653	0.921	0.0248	0.0294	0.004	0.801	0.060	0.064
PT2	4.79	253	0.688	0.0843	0.144	0.005	6.40	0.110	0.249
PT3	4.86	415	0.426	0.0485	0.478	0.056	6.29	0.051	0.215
PT4	3.11	446	0.158	0.0961	0.650	0.028	7.87	0.756	0.649
PT5	4.41	194	0.295	0.0912	0.523	0.024	26.1	0.242	0.657

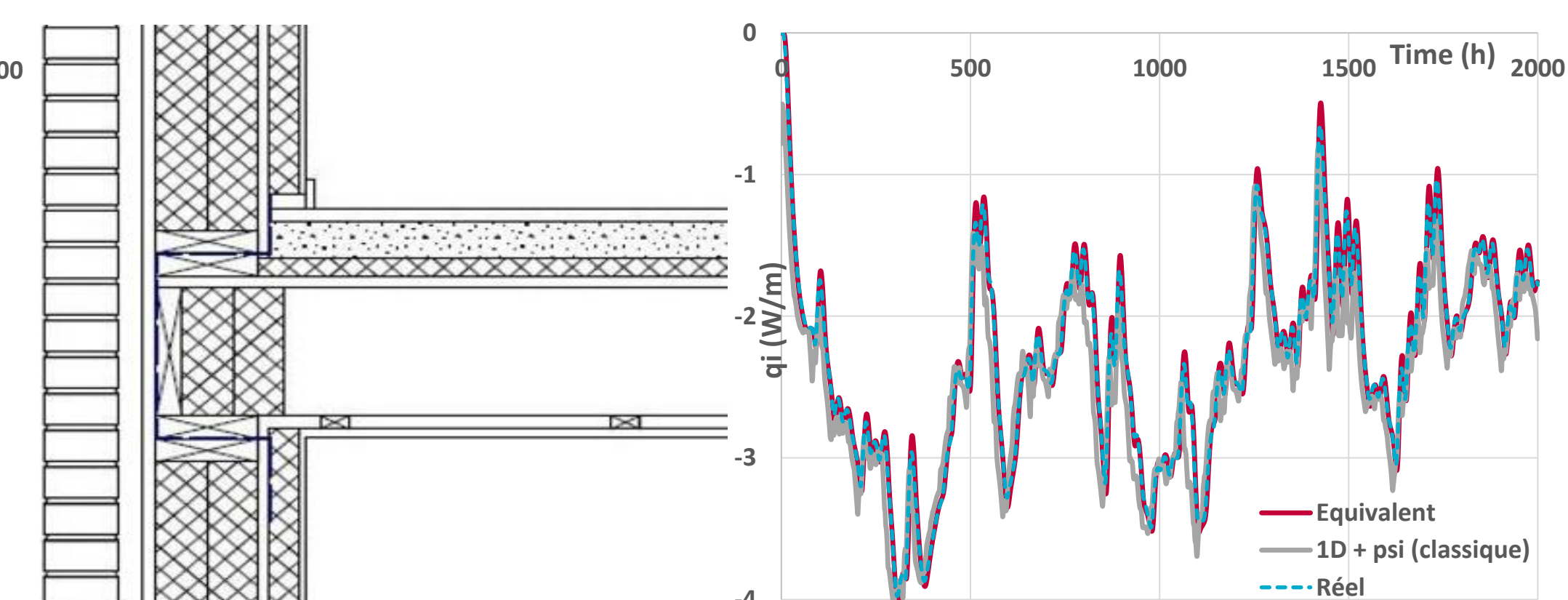
PT1 : Plancher int. – mur ext. (lourd)



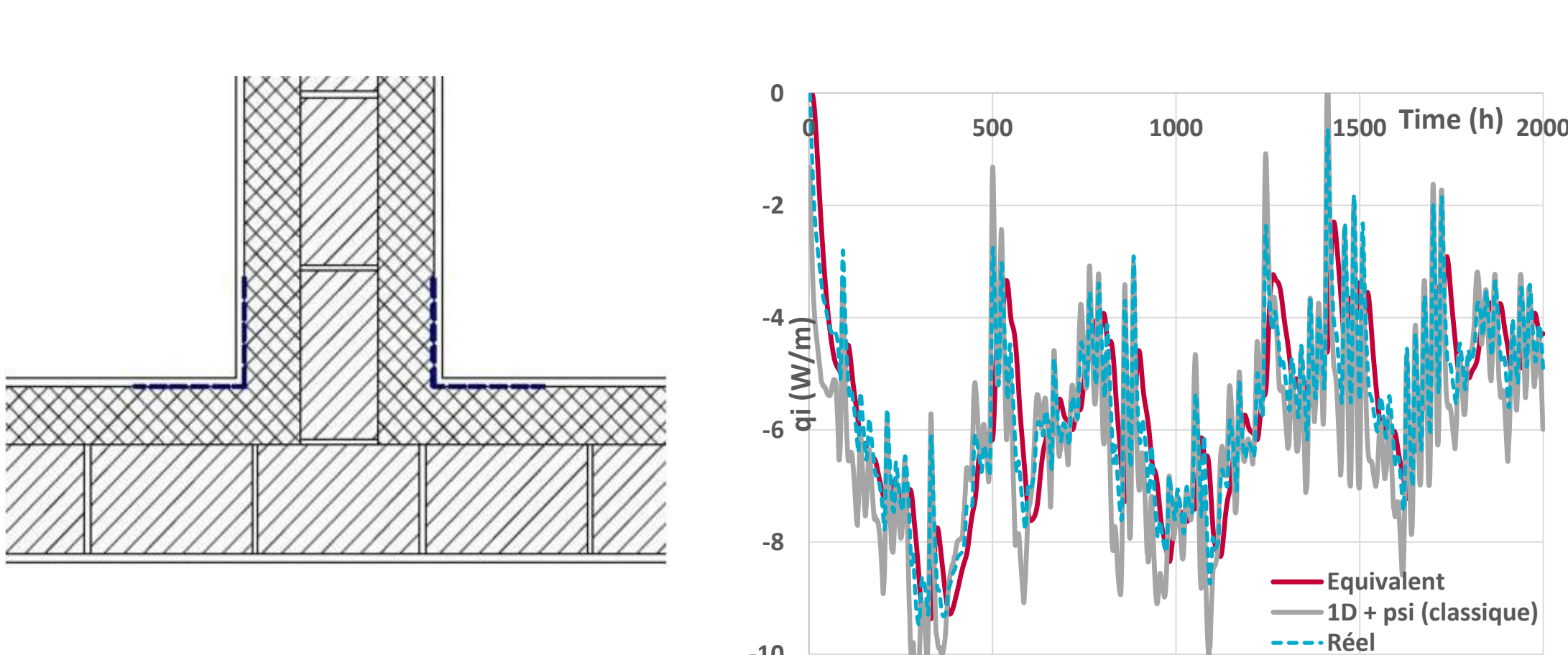
PT2 : Coin (lourd)



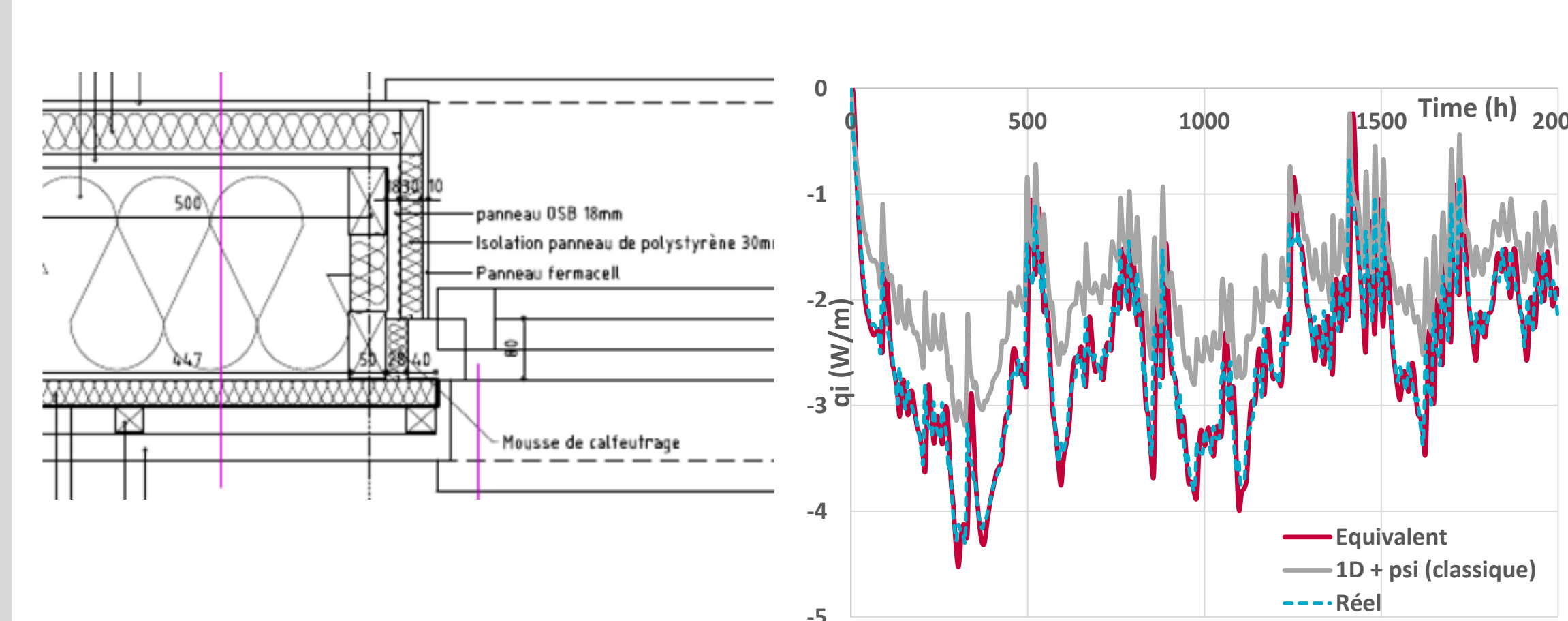
PT3 : Plancher int. – mur ext. (léger)



PT4 : Mur int. – mur ext. (lourd)



PT5 : Fenêtre – mur ext. (léger)



- Résultats OK, + précis que 1D + Ψ (1D + Ψ : prise en compte classique)
- Quantité d'énergie E_i respectée
- Valable pour:
 - T_i sinus ou constante
 - Flux solaire
 - Différents coefficients de transferts surfaciques
 - Différents climats
- Perspectives : impact énergétique au niveau d'un bâtiment