

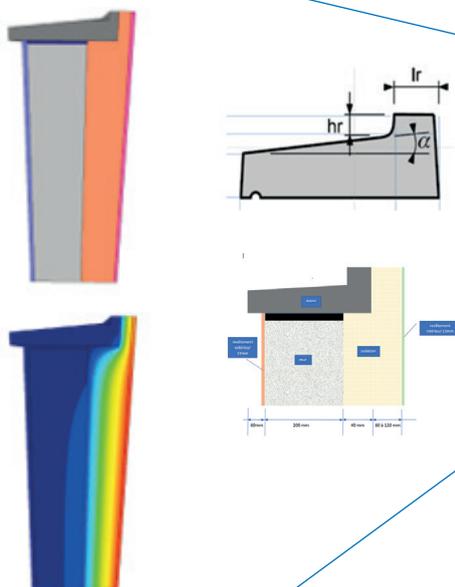
511.E - JANVIER 2021

ÉTUDES ET RECHERCHES

OPTIMISATION DES PONTS
THERMIQUES EN APPUI
DE FENÊTRE

ALKISTIS PLESSIS-MOUTAFIDOU

CERIB
Expertise concrète



Optimisation des ponts thermiques en appui de fenêtre

Avant-propos

Ce rapport est articulé en deux parties :

- la première partie est destinée au lecteur qui souhaite apprécier très rapidement si l'étude évoquée le concerne, et donc si les méthodes proposées ou si les résultats indiqués sont directement utilisables pour son entreprise ;
- la deuxième partie de ce document est plus technique ; on y trouvera donc tout ce qui intéresse directement les techniciens de notre industrie.

© 2021 CERIB – CS 10010 – 28233 Epernon Cedex

ISSN 0249-6224 – EAN 9782857553250

511.E – janvier 2021

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction
par tous procédés réservés pour tous pays.

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de son article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon exposant son auteur à des poursuites en dommages et intérêts ainsi qu'aux sanctions pénales prévues à l'article L. 335-2 du Code de la propriété intellectuelle.

Sommaire

1. Synthèse générale de l'étude	5
2. Dossier de l'étude	7
2.1. Généralités	7
2.1.1. Contexte et présentation générale de l'étude	7
2.1.2. Définition d'un pont thermique	7
2.1.3. Principales hypothèses	9
2.1.4. Coefficients (ψ) de transmission linéique (ponts thermiques) par défaut des règles Th-Bat	14
2.2. Étude paramétrique initiale	15
2.3. Étude de l'influence du mortier de pose	18
2.4. Étude des ponts thermiques supplémentaires au niveau des rejingots latéraux	21
2.5. Étude de l'influence de la largeur de l'appui – Isolation par l'intérieur de 140 mm	23
2.6. Étude de l'influence de la largeur de l'appui – Isolation par l'intérieur de 180 mm	25
2.7. Étude de l'influence de la largeur de l'appui – Défaut d'isolation derrière l'appui	28
2.8. Étude de l'influence des équerres de menuiseries	31
2.9. Conclusions	36
Bibliographie	37
Annexes	39
Annexe 1 – Pose en feuillure	40
A1.1. Étude paramétrique initiale	40
A1.2. Étude de l'influence du mortier de pose	43
Annexe 2 : Pose en tunnel	46
A2.1. Étude paramétrique initiale	46
A2.2. Étude de l'influence du mortier de pose	49
A2.3. Étude paramétrique pour une pose en tunnel	52
Index des figures	55
Index des tableaux	55

1. Synthèse générale de l'étude

Les coefficients de ponts thermiques (ψ) des appuis de fenêtre préfabriqués en béton peuvent être très variables et potentiellement significatifs. Plusieurs paramètres sont à considérer : le type de pose de la fenêtre (pose en applique ou au nu intérieur, en feuillure, en tunnel), le type du mur de la façade (en béton plein, en maçonnerie courante ou isolante), le type de l'isolation du mur (par l'intérieur, l'extérieur ou répartie) et ses caractéristiques (épaisseur, conductivité thermique), les caractéristiques de l'appui (type, géométrie, matériau...) et la qualité de la mise en œuvre.

Les règles Th-Bat de la réglementation thermique en vigueur fournissent aux bureaux d'études thermiques des valeurs par défaut de ponts thermiques des menuiseries, qui ne reflètent cependant pas toute l'étendue des solutions existantes ou en cours de développement. Dans ce contexte, la présente étude a été réalisée afin d'étudier les déperditions thermiques par les appuis de fenêtres préfabriqués en béton et la façon avec laquelle ces ponts thermiques sont caractérisés dans les règles Th-Bat.

De façon générale, le coefficient de pont thermique (ψ) en partie courante d'un appui de fenêtre peut apparaître comme négligeable au sens des règles Th-Bat ($\psi < 0.03 \text{ W}/(\text{m.K})$), si l'isolation est suffisamment conservée derrière l'appui et vient en contact avec le dormant de la menuiserie.

Les ponts thermiques (ψ) d'un appui de fenêtre augmentent :

- avec la diminution de la conductivité thermique équivalente (λ_{equ}) du mur de la façade, c'est-à-dire, pour une maçonnerie de plus en plus isolante ;
- avec la diminution de la conductivité thermique (λ) de l'isolant derrière le mur et l'appui ;
- avec la diminution de l'épaisseur (e) de l'isolant posé derrière le mur et l'appui, pour une pose en applique ou avec l'augmentation de cette épaisseur d'isolant pour une pose en feuillure ou en tunnel.

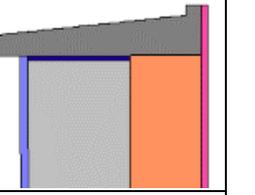
Pour le cas plus courant d'une pose de fenêtre en applique (ou au nu intérieur) avec une isolation de la façade par l'intérieur et dans la limite des hypothèses considérées, les coefficients de ponts thermiques (ψ) obtenus sont généralement compris entre 0.015 et 0.045 $\text{W}/(\text{m.K})$ ¹, selon les valeurs retenues pour les 3 paramètres cités précédemment. Ces valeurs sont cohérentes avec celles figurant dans les règles Th-Bat.

Pour ce type de pose, il est important de conserver le maximum d'isolant entre la face arrière de l'appui et la plaque de plâtre intérieure. La qualité de mise en œuvre du doublage intérieur est donc primordiale. En cas de doute, il peut être pertinent de préconiser :

- soit des appuis de largeur limitée, dont la face arrière se retrouve à l'aplomb de la face intérieure de la maçonnerie, ce qui permet une mise en œuvre du doublage intérieur sans découpe jusqu'à la menuiserie ;
- soit des appuis avec isolation intégrée significative en face arrière.

¹ en particulier avec un appui de fenêtre ayant les dimensions minimales spécifiées dans la norme NF P 98-052.

Les exemples suivants illustrent, pour une isolation par l'intérieur (ITI) de 140 mm, l'importance de ce point d'attention :

<i>Largeur d'appui</i>	300 mm	360 mm	400 mm
<i>Épaisseur d'isolation disponible derrière l'appui</i>	100 mm	40 mm	0 mm
<i>Géométrie</i>			
<i>Avec vide d'air derrière l'appui</i>	$\psi \approx 0,21 \text{ W/(m.K)}$	$\psi \approx 0,23 \text{ W/(m.K)}$	$\psi \approx 0,44 \text{ W/(m.K)}$
<i>Avec isolation derrière l'appui</i>	$\psi \approx 0,02 \text{ W/(m.K)}$	$\psi \approx 0,07 \text{ W/(m.K)}$	/

L'utilisation d'équerres ponctuelles en acier pour la fixation d'une menuiserie entraîne une augmentation du pont thermique d'appui de fenêtre. Cette augmentation est faible, moins de 0.01 W/(m.K), mais vient majorer les coefficients (ψ) présentés précédemment et peut donc rendre un pont thermique non négligeable au sens des règles Th-Bat.

L'incidence de l'épaisseur et de la conductivité thermique du mortier de pose est de l'ordre de 0.001 W/(m.K), ce qui apparait négligeable en regard des coefficients de ponts thermiques obtenus.

De même, les déperditions thermiques supplémentaires au niveau des deux jonctions de rejets latéraux avec la maçonnerie, en extrémité d'appui de fenêtre, sont négligeables, le χ total qu'ils engendrent étant compris entre 0.001 et 0.003 W/m.

Toutes les combinaisons de paramètres n'ayant pas pu être réalisées dans le cadre de cette étude, une vérification au cas par cas peut s'avérer nécessaire.

2. Dossier de l'étude

2.1. Généralités

2.1.1. Contexte et présentation générale de l'étude

Les coefficients de ponts thermiques d'appui de menuiseries peuvent être très variables et potentiellement significatifs. Plusieurs paramètres interviennent avec un poids plus ou moins important : le type d'isolation (intérieur, extérieur, répartie...), la position des menuiseries (au nu intérieur ou extérieur, en tunnel...), le type d'appui utilisé, les matériaux employés, la présence d'équerres ou autre dispositif de fixation de la fenêtre ...

Les règles Th-Bat fournissent aux bureaux d'études des valeurs par défaut de ponts thermiques en appuis de menuiserie. Ces valeurs tabulées ne reflètent cependant pas toute l'étendue des solutions existantes ou en cours de développement.

Cette étude doit permettre d'accompagner les industriels dans l'élaboration de bonnes solutions de mise en œuvre des appuis de fenêtre en béton permettant de limiter les déperditions thermiques.

À noter que par ailleurs, des constructeurs de maisons dites passives préconisent souvent une construction en maçonnerie isolée par l'extérieur avec une pose des fenêtres en applique extérieure ou en précadre (donc sans appui de fenêtre), en revendiquant de bonnes performances thermiques. La présente étude a donc également pour objectif de montrer que les déperditions par les appuis de fenêtre avec une isolation par l'intérieur, ne constituent pas un argument en faveur du développement de ces solutions.

Note : les seuils de portes étant conçus avec des produits en béton de caractéristiques différentes et les déperditions thermiques par ces parties d'ouvrage étant quantifiés par une méthodologie différente, les ponts thermiques de seuils de portes ne sont pas couverts par la présente étude.

2.1.2. Définition d'un pont thermique

Un pont thermique est une partie de l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique, par ailleurs uniforme, est modifiée par :

- la pénétration totale ou partielle de l'enveloppe par des matériaux ayant une conductivité thermique différente ;
et/ou :
- un changement local d'épaisseur ;
et/ou :
- une différence entre les surfaces intérieure et extérieure.

Un appui de fenêtre, par exemple en applique intérieure d'une façade isolée par l'intérieur, va donc engendrer un pont thermique puisqu'il peut à la fois modifier localement la résistance thermique de la paroi et générer une surface d'échange plus importante côté extérieur (sous-face et surface de l'appui).

La valeur d'un pont thermique correspond à la différence de flux thermique avec et sans l'élément ou la géométrie particulière. Dans le cas d'un appui de fenêtre, le calcul du pont thermique se fait en respectant la démarche suivante :

- on calcule d'abord le flux thermique passant à travers une section de façade incluant l'appui (voir Figure 1). La menuiserie n'est pas modélisée et la surface de contact entre le dormant de la menuiserie et l'appui est conventionnellement représentée par une surface adiabatique (où il n'y a aucun échange thermique) de 60 mm de profondeur ;
- on calcule ensuite le flux thermique pour une section courante du mur isolé de même hauteur, mais sans l'appui de fenêtre (voir Figure 2) ;
- on soustrait les deux flux et on divise, si besoin, le résultat par la longueur du modèle et par l'écart de température intérieure/extérieure utilisé pour les calculs.

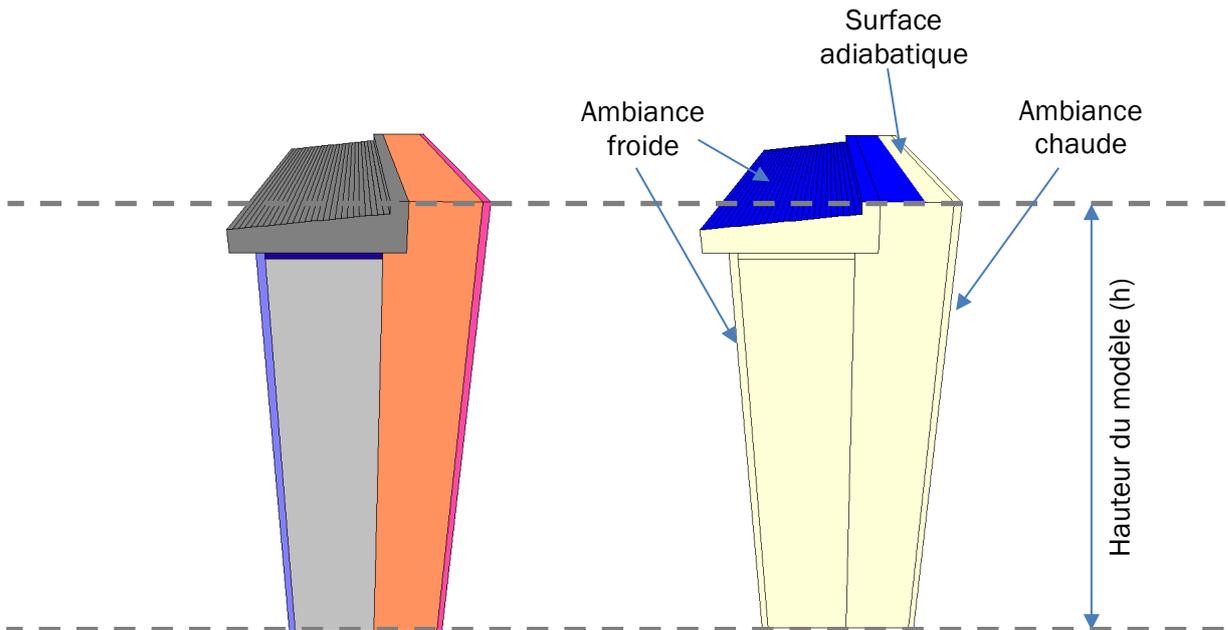


Figure 1 - Calcul du flux thermique avec appui de fenêtre

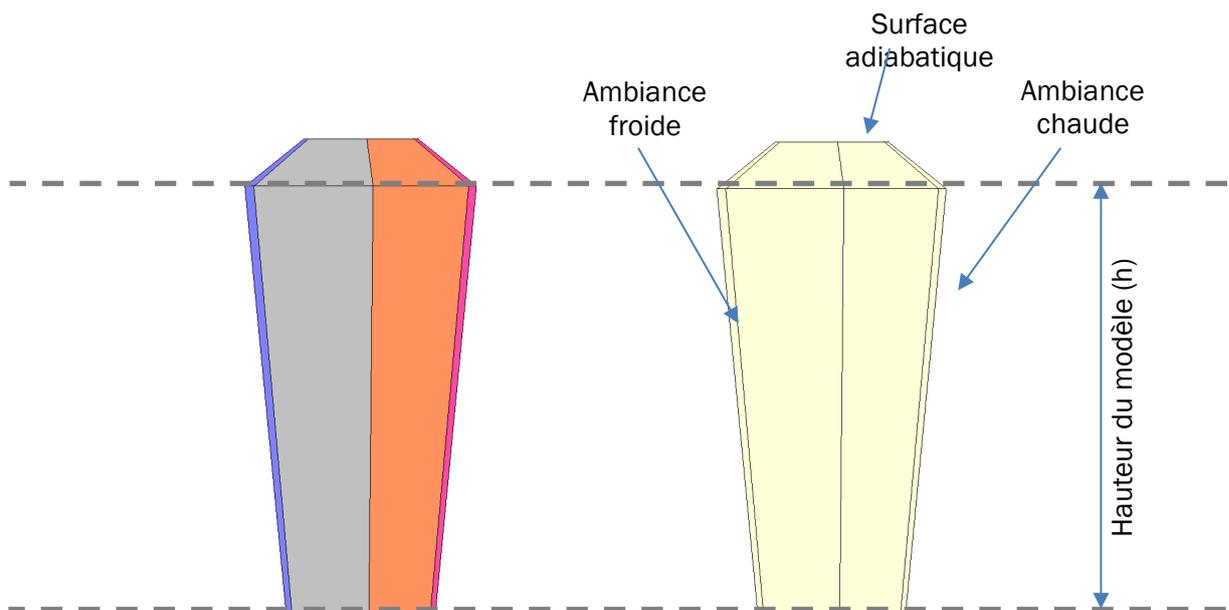


Figure 2 - Calcul du flux thermique sans appui de fenêtre

Plus la continuité d'isolation entre la façade et la menuiserie est perturbée, plus le pont thermique est donc important.

2.1.3. Principales hypothèses

Sauf dispositions particulières, les calculs thermiques ont été réalisés en considérant les dimensions minimales du profil figurant dans la norme NF P 98-052 en vigueur (30 mm pour la largeur l_r du reingot et 300 mm pour la largeur de l'appui (voir aussi Figure 3)). Celles-ci respectent les côtes minimales du DTU 20.1 (en publication le moment de la rédaction du rapport).

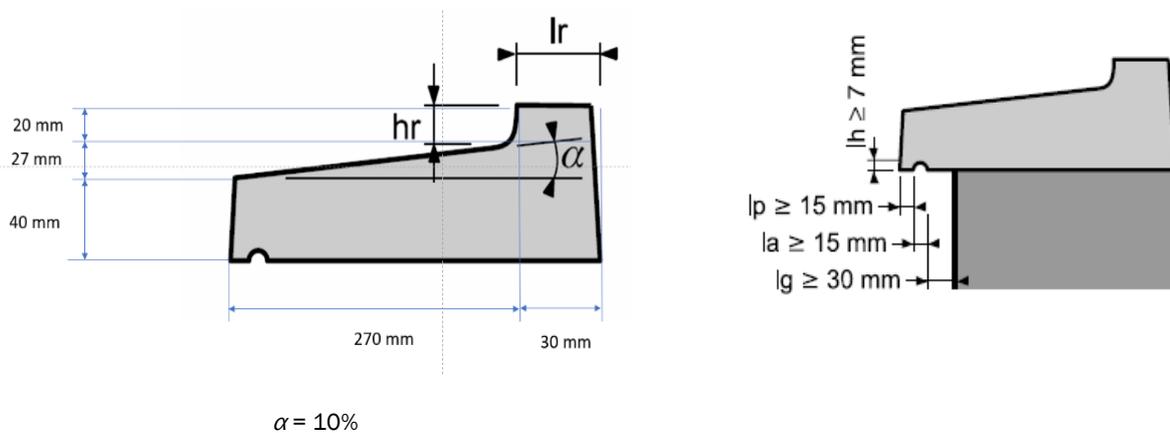


Figure 3 - Dimensions minimales du profil d'un appui de fenêtre figurant dans la norme NF P 98 052

Trois types de pose sont communément rencontrés : en applique intérieure, en feuillure et en tunnel, avec des variations de la profondeur de pénétration de l'appui de fenêtre dans l'isolation intérieure (voir schémas de principe ci-après).

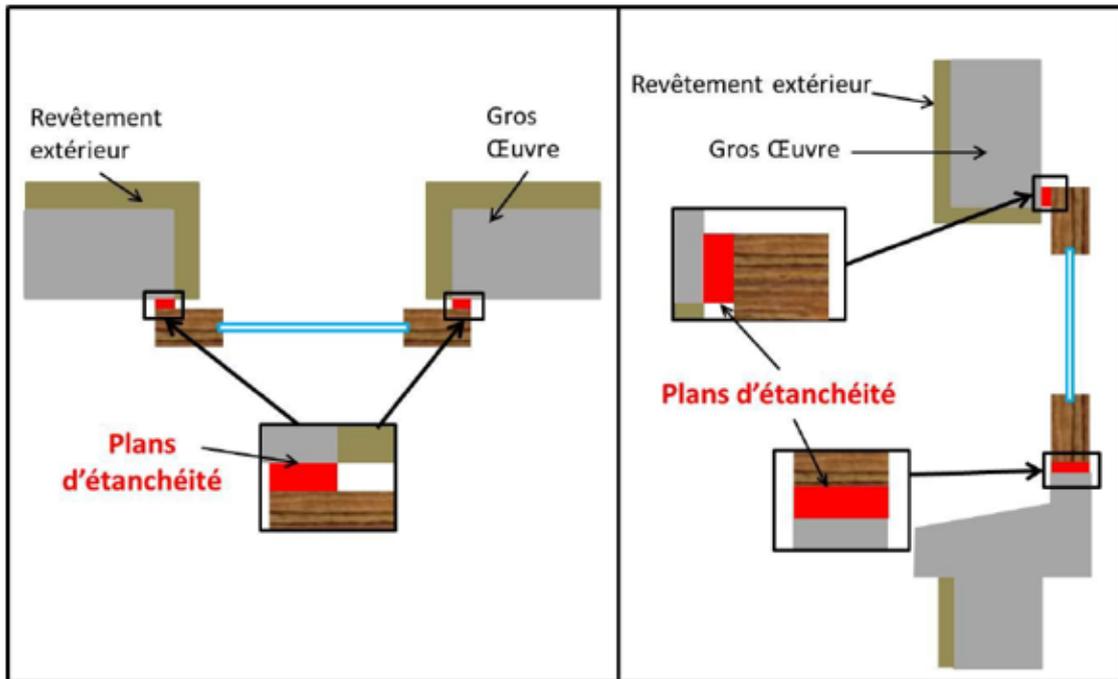


Figure 4 - Pose en applique (Source : UFME)

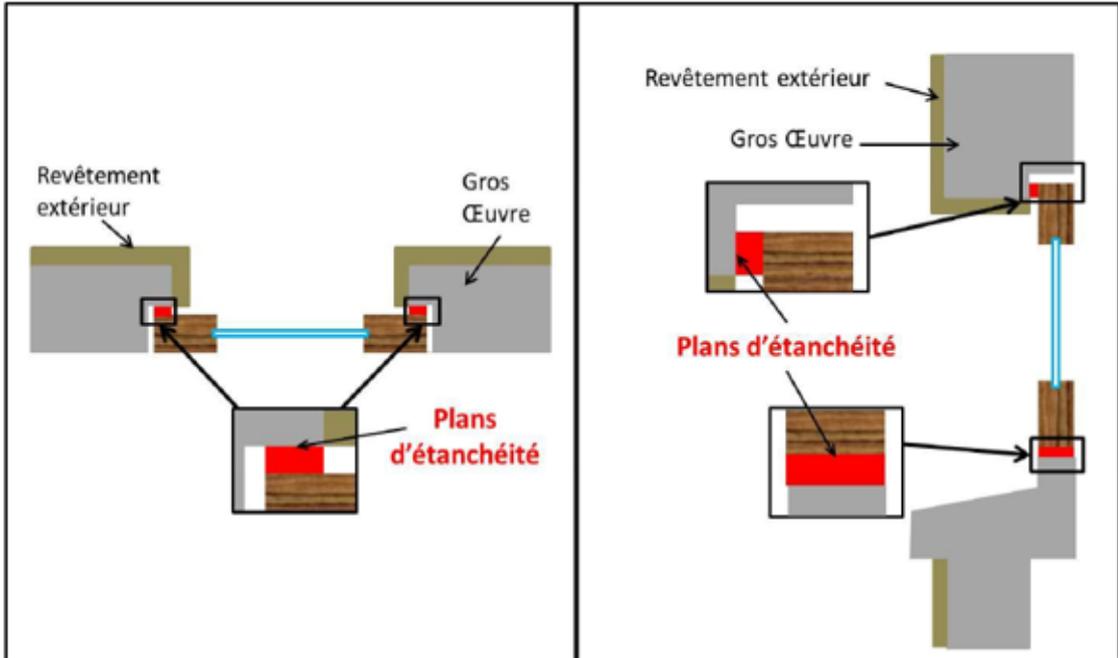


Figure 5 - Pose en feuillure (Source : UFME)

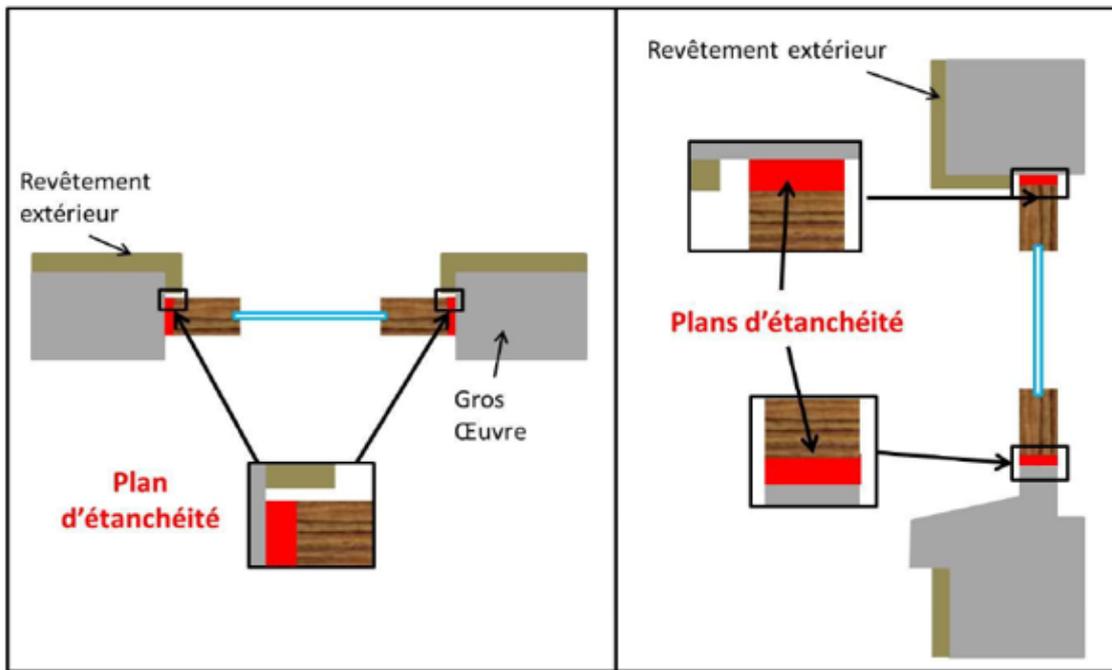


Figure 6 - Pose en tunnel (Source : UFME)

Les murs supports sont selon les configurations, en béton plein, en maçonnerie courante ou en maçonnerie isolante de « type b » ou de « type a » au sens des règles Th-Bat.

Dans le tableau suivant sont présentés tous les paramètres considérés et leurs plages de variation par défaut :

Tableau 1 - Paramètres de l'étude

Paramètres	Plages de variation
Appui de fenêtre	Béton plein : - $\lambda = 2.0 \text{ W/(m.K)}$
Support (mur)	Béton plein : - $e = 20 \text{ cm}$ - $\lambda = 2.0 \text{ W/(m.K)}$ Maçonnerie courante : - $e = 20 \text{ cm}$ - $\lambda_{\text{equ}} = 0.700 \text{ W/(m.K)}$ (ou $R = 0.285 \text{ m}^2\text{K/W}$) Maçonnerie isolante type b : - $e = 20 \text{ cm}$ - $\lambda_{\text{equ}} = 0.400 \text{ W/(m.K)}$ (ou $R = 0.50 \text{ m}^2\text{K/W}$) Maçonnerie isolante type a : - $e = 20 \text{ cm}$ - $\lambda_{\text{equ}} = 0.200 \text{ W/(m.K)}$ (ou $R = 1.00 \text{ m}^2\text{K/W}$)
Mortier de pose de l'appui	- $e = 10 \text{ mm}$ - $\lambda = 1.3 \text{ W/(m.K)}$
Enduit extérieur	- $e = 15 \text{ mm}$ - $\lambda = 1.3 \text{ W/(m.K)}$
Revêtement intérieur (BA13)	- $e = 13 \text{ cm}$ - $\lambda = 0.25 \text{ W/(m.K)}$
Isolation par l'intérieur (ITI)	- $e = 10 \text{ à } 16 \text{ cm}$ - $\lambda = 0.030 \text{ à } 0.040 \text{ W/(m.K)}^2$

² Ces valeurs couvrent les isolants couramment rencontrés, comme par exemple la laine minérale : $\lambda = 0.032$ à 0.044 W/(m.K) , la laine de verre : 0.034 à 0.038 W/(m.K) , le polystyrène expansé : $\lambda = 0.030$ à 0.038 W/(m.K) , le polystyrène extrudé : $\lambda = 0.030$ à 0.035 W/(m.K) , l'ouate de cellulose $\lambda = 0.040$ à 0.042 W/(m.K) etc.

Les calculs sont réalisés conformément aux règles Th-Bat et conformément aux normes NF EN ISO 6946, NF EN ISO 10456 et NF EN ISO 10211 et à l'aide du logiciel TRISCO (version 14.0) de la société PHYSIBEL.

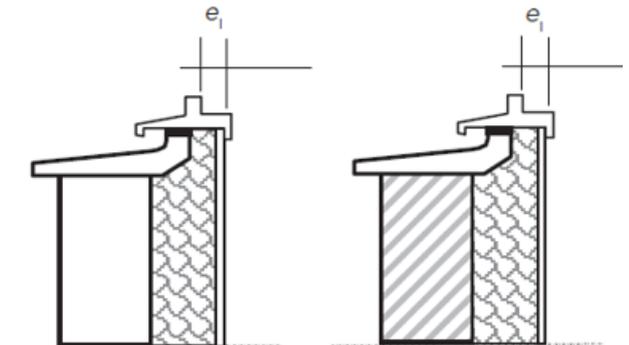
2.1.4. Coefficients (ψ) de transmission linéique (ponts thermiques) par défaut des règles Th-Bat

Comme évoqué au chapitre 2.1.1, le Guide Réglementaire Thermique « RT : Valeurs et coefficients pour l'application des règles Th-Bat (Fascicule Ponts thermiques) », contient des valeurs tabulées de ponts thermiques pour certains cas d'appui de fenêtre. Parmi ces cas, ceux qui se rapprochent le plus des cas d'un appui de fenêtre posé en applique ou en tunnel, sont respectivement les suivants :

ITI.5.1.1 Appui déporté et menuiserie au nu intérieur avec complément d'isolation derrière l'appui

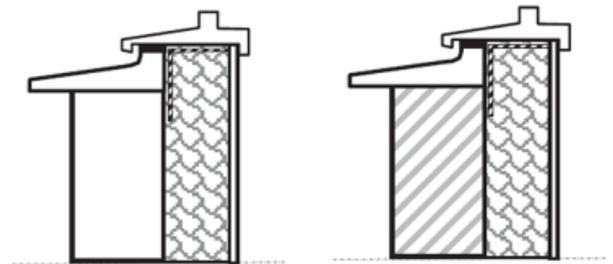
Mur	e'_i (cm) ^(*)				
	2	4	6	8	10
Béton plein	0,13	0,06	0,03	0,02	0,0
Maçonnerie courante	0,13	0,07	0,04	0,02	0,0

(*) e'_i est l'épaisseur de l'isolant derrière la pièce d'appui.



ITI.5.1.2 Appui aligné et menuiserie au nu intérieur sur équerre

Mur	Avec équerre filante	Avec des pattes de fixation
Béton plein	0,11	0,0
Maçonnerie courante	0,11	0,0



ITI.5.1.3 Appui aligné ou déporté avec ébrasement côté intérieur

Mur	e'_i (cm) ^(*)				
	2	4	6	8	10
Béton plein	0,19	0,14	0,12	0,11	0,11
Maçonnerie courante	0,20	0,14	0,12	0,11	0,11

(*) e'_i est l'épaisseur de l'isolant derrière la pièce d'appui.

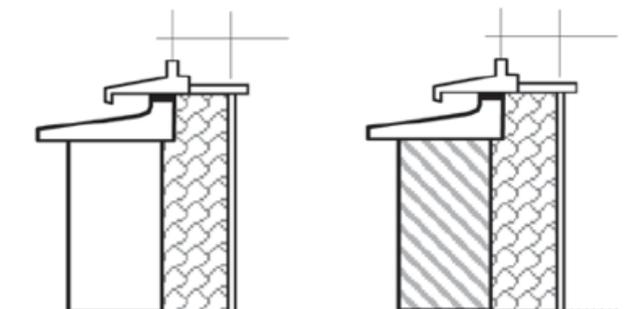


Figure 7 - Extrait des règles Th - Bat - Fascicule Ponts thermiques - ITI.5.1 Liaison entre menuiserie et mur au niveau de l'appui de la fenêtre

À noter que dans les règles Th-Bat les coefficients de ponts thermiques par défaut sont exprimés avec 2 chiffres après la virgule. Dans le cadre de la présente étude, la 3^{ème} décimale est conservée afin de faciliter l'analyse les résultats.

À noter également, que selon ces mêmes règles ThBat (Chapitre « 3.4. Ponts thermiques des liaisons » - Fascicule Généralités), les coefficients de ponts thermiques de liaisons inférieurs à 0.03 W/(m.K) peuvent être négligés dans les calculs réglementaires.

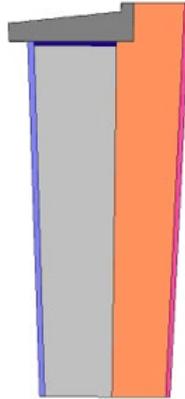
2.2. Étude paramétrique initiale

Pour la pose en applique, qui est le type de pose le plus courant, le coefficient (ψ) de transmission linéique en partie courante d'un appui de fenêtre a été calculé pour une seule géométrie d'appui de fenêtre ayant les dimensions minimales du profil figurant dans la norme NF P 98-052 en vigueur (voir Chapitre 2.1.3) et pour :

- 4 types de maçonnerie (en béton plein, en maçonnerie courante, en maçonnerie isolante type b, en maçonnerie isolante type a) ;
- 3 conductivités thermiques d'isolant (0.040 / 0.035/ 0.030 W/(m.K)) et
- 4 épaisseurs d'isolant posé derrière l'appui de fenêtre.

Les résultats de ces calculs sont présentés en détail au tableau suivant.

En Annexes 1 et 2, les résultats des études paramétriques du même type sont présentés pour les autres types de pose, respectivement en feuillure et en tunnel.

Tableau 2 - Coefficient (ψ) de transmission linéique (ponts thermiques) en partie courante d'un appui de fenêtre [W/(m.K)] - Pose en applique


Mur λ ou λ_{equ} [W/(m.K)]	Isolation par l'intérieur (ITI)			
	$e_{isolant}^{(1)} = 100$ mm (40 ⁽²⁾ + 60 ⁽³⁾ mm)	$e_{isolant} = 120$ mm (40 + 80 mm)	$e_{isolant} = 140$ mm (40 + 100 mm)	$e_{isolant} = 160$ mm (40 + 120 mm)
$\lambda_{isolant} = 0.040$ [W/(m.K)]				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.027	0.022	0.022	0.022
Maç. courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.031	0.026	0.024	0.024
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.036	0.029	0.026	0.026
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.044	0.035	0.032	0.030
$\lambda_{isolant} = 0.035$ [W/(m.K)]				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.024	0.020	0.019	0.019
Maç. courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.028	0.022	0.021	0.021
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.031	0.025	0.023	0.023
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.038	0.030	0.027	0.026
$\lambda_{isolant} = 0.030$ [W/(m.K)]				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.021	0.017	0.017	0.017
Maç. courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.024	0.019	0.018	0.018
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.026	0.021	0.019	0.019
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.032	0.025	0.023	0.022

⁽¹⁾ $e_{isolant}$ = épaisseur totale de l'isolant, posé derrière le mur (ITI), en partie courante

⁽²⁾ épaisseur de l'isolant en dessous de l'appui de fenêtre (pénétration de l'appui dans l'isolant du mur)

⁽³⁾ épaisseur de l'isolant derrière l'appui de fenêtre

Analyse des résultats pour une pose en applique

- Pour un mur en béton plein, le ψ de l'appui de fenêtre, en partie courante est inférieur à 0.03 W/(m.K) et peut être négligé dans les calculs réglementaires, quelles que soient l'épaisseur et la conductivité thermique de l'isolant posé derrière le mur ;
- Pour un mur en maçonnerie courante, le ψ de l'appui de fenêtre, en partie courante est inférieur à 0.03 W/(m.K) et peut également être négligé, quelles que soient l'épaisseur et la conductivité thermique de l'isolant derrière celui-ci. Une seule exception cependant : $\psi = 0.031$ W/(m.K), quand l'épaisseur de l'isolant posé derrière le mur est faible (40 + 60 mm) et sa conductivité thermique assez élevée 0.040 W/(m.K) ;
- De même, pour un mur en maçonnerie isolante type b ou a, le ψ de l'appui de fenêtre, en partie courante peut être inférieur à 0.03 W/(m.K) et peut être négligé, sauf quand l'épaisseur de l'isolant derrière le mur est faible et sa conductivité thermique élevée.

De façon générale, les valeurs de ψ issues de la présente étude sont du même ordre que celles figurant dans les règles Th-Bat au tableau ITI.5.1.1, qui se rapproche le plus de la pose en applique (voir chapitre 2.1.4 du présent rapport). Les faibles écarts constatés peuvent provenir d'éventuelles différences d'hypothèses de calcul, comme par exemple la géométrie de l'appui, la conductivité thermique de l'isolant, le positionnement de la surface adiabatique avec le dormant de la menuiserie...

Conclusions

Pour une pose en applique intérieure, le coefficient de transmission linéique (ψ) en partie courante d'un appui de fenêtre ayant les dimensions minimales spécifiées dans la norme NF P 98-052, est compris entre 0.016 W/(m.K) et 0.044 W/(m.K).

Ce coefficient linéaire (ψ) augmente :

- avec la diminution de la conductivité thermique équivalente de la maçonnerie extérieure (c'est-à-dire, pour une maçonnerie de plus en plus isolante) ;
- avec la diminution de la conductivité thermique de l'isolant derrière le mur et l'appui ;
- avec la diminution de l'épaisseur de l'isolant posé derrière le mur et l'appui, pour une pose en applique.

2.3. Étude de l'influence du mortier de pose

Une première étude de sensibilité a été réalisée pour évaluer l'incidence de l'épaisseur et de la conductivité thermique du mortier de pose sur le pont thermique linéique (ψ) en partie courante.

En partant du modèle de base utilisé au chapitre 2.2 précédent, avec un mortier de pose courant d'épaisseur $e_m=10$ mm et de conductivité thermique égale à 1.30 W/(m.K), un paramétrage suivant a été réalisé sur :

- l'épaisseur du mortier de pose (e_m) : 10, 15 et 20 mm ;
- la conductivité thermique du mortier de pose avec (λ) : 1.30 W/(m.K) (mortier courant), 0.54 W/(m.K) (mortier allégé).

Tous ces calculs ont été réalisés pour :

- les une pose de l'appui de fenêtre en applique ;
- les 4 types de maçonnerie (en béton plein, en maçonnerie courante, en maçonnerie isolante type b, en maçonnerie isolante type a) ;
- les 3 conductivités thermiques d'isolant ($0.040 / 0.035 / 0.030$ W/(m.K)) ;
- les 4 épaisseurs d'isolant posé derrière l'appui de fenêtre.

Les résultats obtenus sont présentés en détail dans les tableaux suivants.

Conclusions

L'incidence de l'épaisseur et de la conductivité thermique du mortier de pose sur le pont thermique d'appui de fenêtre est de l'ordre de 0.001 W/(mK) et ainsi négligeable comparée avec les valeurs de coefficient (ψ) de l'ensemble des configurations étudiées.

Tableau 3 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] - Pose en applique

 Mortier d'arase épaisseur e_m 10, 15 et 20 mm et $\lambda = 1.30$ W/(m.K)

Mur λ ou λ_{equ} [W/(m.K)]	Isolation par l'intérieur (ITI)											
	Eisolant = 100 mm ⁽¹⁾ (40 ⁽²⁾ mm + 60 ⁽³⁾ mm)			Eisolant = 120 mm (40 mm + 80 mm)			Eisolant = 140 mm (40 mm + 100 mm)			Eisolant = 160 mm (40 mm + 120 mm)		
	$e_m^{(4)}=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm	$e_m=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm	$e_m=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm	$e_m=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm
$\lambda_{isolant} = 0.040$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.027	0.027	0.027	0.022	0.022	0.022	0.021	0.021	0.021	0.022	0.022	0.022
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.031	0.032	0.032	0.026	0.026	0.026	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.036	0.036	0.036	0.029	0.029	0.029	0.026	0.027	0.027	0.026	0.026	0.026
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.044	0.044	0.044	0.035	0.036	0.036	0.032	0.032	0.032	0.030	0.031	0.031
$\lambda_{isolant} = 0.035$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.024	0.024	0.024	0.020	0.020	0.020	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.028	0.028	0.028	0.022	0.022	0.022	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.031	0.031	0.031	0.025	0.025	0.025	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.038	0.038	0.038	0.030	0.030	0.031	0.027	0.027	0.027	0.026	0.026	0.026
$\lambda_{isolant} = 0.030$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.021	0.021	0.021	0.017	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.017	0.017	0.017
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.024	0.024	0.024	0.019	0.019	0.019	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.026	0.026	0.027	0.021	0.021	0.021	0.019	0.020	0.020	0.019	0.019	0.019
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.032	0.032	0.032	0.025	0.025	0.026	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.022

(1) épaisseur totale de l'isolant, posé derrière le mur (ITI), en partie courante

(2) épaisseur de l'isolant en dessous de l'appui de fenêtre (pénétration de l'appui dans l'isolant du mur),

(3) épaisseur d'isolant derrière l'appui de fenêtre

(4) épaisseur du mortier de pose de l'appui de fenêtre

Tableau 4 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] - Pose en applique

 Mortier d'arase épaisseur e_m 10, 15 et 20 mm et $\lambda = 0.54$ W/(m.K)

Mur λ ou λ_{equ} [W/(m.K)]	Isolation par l'intérieur (ITI)											
	E _{isolant} = 100 mm ⁽¹⁾ (40 ⁽²⁾ mm + 60 ⁽³⁾ mm)			E _{isolant} = 120 mm (40 mm + 80 mm)			E _{isolant} = 140 mm (40 mm + 100 mm)			E _{isolant} = 160 mm (40 mm + 120 mm)		
	e _m ⁽⁴⁾ =10 mm	e _m =15 mm	e _m =20 mm	e _m =10 mm	e _m =15 mm	e _m =20 mm	e _m =10 mm	e _m =15 mm	e _m =20 mm	e _m =10 mm	e _m =15 mm	e _m =20 mm
$\lambda_{isolant} = 0.040$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.027	0.027	0.027	0.022	0.022	0.022	0.021	0.021	0.021	0.022	0.022	0.022
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.031	0.031	0.031	0.025	0.025	0.025	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.036	0.036	0.036	0.029	0.029	0.029	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.044	0.044	0.044	0.035	0.035	0.035	0.032	0.032	0.032	0.030	0.030	0.031
$\lambda_{isolant} = 0.035$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.024	0.024	0.024	0.020	0.020	0.020	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.027	0.027	0.027	0.022	0.022	0.022	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.031	0.031	0.031	0.025	0.025	0.025	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.038	0.038	0.038	0.030	0.030	0.030	0.027	0.027	0.027	0.026	0.026	0.026
$\lambda_{isolant} = 0.030$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.021	0.021	0.021	0.017	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.017	0.017	0.017
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.024	0.024	0.024	0.019	0.019	0.019	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.026	0.026	0.026	0.021	0.021	0.021	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.032	0.032	0.032	0.025	0.025	0.025	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.022

(1) épaisseur totale de l'isolant, posé derrière le mur (ITI), en partie courante

(2) épaisseur de l'isolant en dessous de l'appui de fenêtre (pénétration de l'appui dans l'isolant du mur),

(3) épaisseur d'isolant derrière l'appui de fenêtre

(4) épaisseur du mortier de pose de l'appui de fenêtre

2.4. Étude des ponts thermiques supplémentaires au niveau des rejingots latéraux

À chacune de ses extrémités, un appui de fenêtre pénètre dans la maçonnerie sur 40 mm environ, ce qui engendre un pont thermique ponctuel supplémentaire. Il s'agit donc d'évaluer sur un cas de référence, l'incidence des jonctions de rejingots latéraux sur les déperditions thermiques au niveau de l'appui.

À la différence des ponts thermiques linéaires notés « ψ » et exprimés en $W/(m.K)$, les ponts thermiques ponctuels sont notés « χ » et exprimés en W/K .

Les calculs ont été réalisés pour :

- 1 type de pose d'appui de fenêtre (pose en applique) ;
- 4 types de mur (en béton plein, en maçonnerie courante, en maçonnerie isolante type b, en maçonnerie isolante type a) ;
- 3 conductivités thermiques d'isolant (0.040 / 0.035/ 0.030 $W/(m.K)$) ;
- 4 épaisseurs d'isolant posé derrière l'appui de fenêtre ;
- 1 conductivité thermique du mortier de pose de l'appui ($\lambda = 1.30 W/(m.K)$).

La figure suivante illustre cette configuration et le modèle thermique en 3 dimensions correspondant réalisé sous TRISCO (à droite).

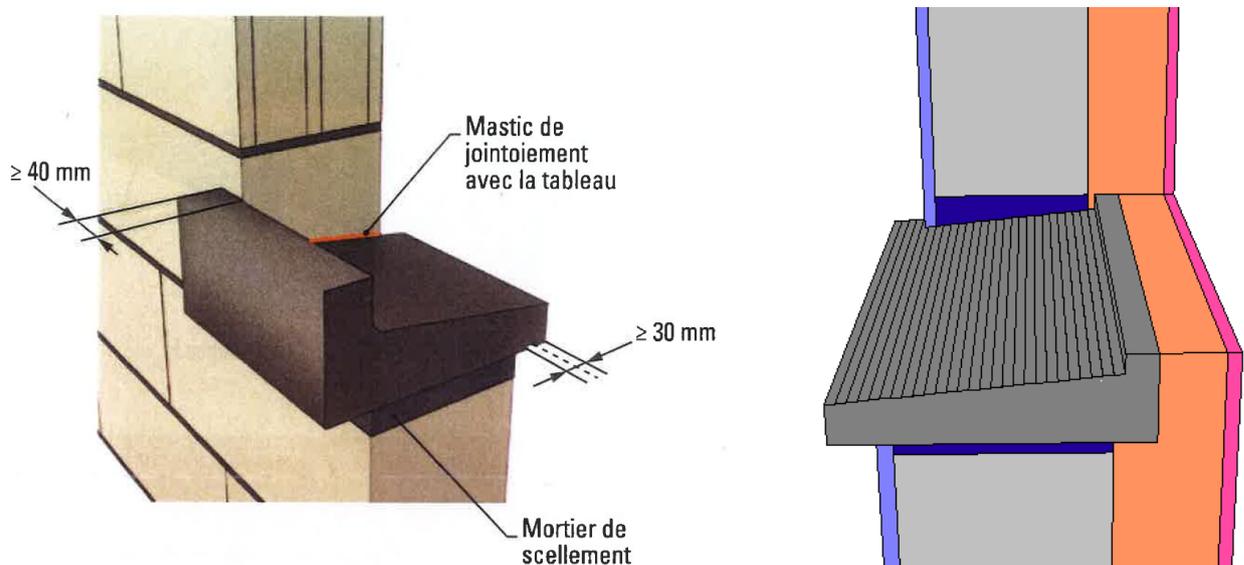


Figure 8 - Montage d'un appui de fenêtre pour pose en applique (ITI) et modèle géométrique TRISCO en 3D correspondant

Les résultats de ces calculs sont présentés en détail dans le tableau suivant :

Tableau 5 - Coefficient χ de transmission thermique ponctuelle pour un rejingot latéral d'appui de fenêtre (en W/K) – Pose en applique

Mur λ ou λ_{equ} [W/(m.K)]	Isolation par l'intérieur (ITI)			
	$e_{isolant}^{(1)} = 100$ mm (40 ⁽²⁾ mm + 60 ⁽³⁾ mm)	$e_{isolant} = 120$ mm (40 mm + 80 mm)	$e_{isolant} = 140$ mm (40 mm + 100 mm)	$e_{isolant} = 160$ mm (40 mm + 120 mm)
$\lambda_{isolant} = 0.040$ [W/(m.K)]				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.0010	0.0005	0.0005	0.0000
Maç. courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.0010	0.0010	0.0005	0.0005
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.0015	0.0010	0.0005	0.0005
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.0015	0.0015	0.0010	0.0005
$\lambda_{isolant} = 0.035$ [W/(m.K)]				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.0005	0.0005	0.0000	0.0000
Maç. courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.0010	0.0005	0.0005	0.0005
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.0010	0.0010	0.0010	0.0005
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.0015	0.0010	0.0010	0.0005
$\lambda_{isolant} = 0.030$ [W/(m.K)]				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.0010	0.0005	0.0000	0.0000
Maç. courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.0010	0.0005	0.0005	0.0005
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.0010	0.0010	0.0005	0.0005
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.0010	0.0010	0.0010	0.0005

(1) $e_{isolant}$ = épaisseur totale de l'isolant, posé derrière le mur (ITI), en partie courante

(2) épaisseur de l'isolant en dessous de l'appui de fenêtre (pénétration de l'appui dans l'isolant du mur)

(3) épaisseur de l'isolant posé derrière l'appui de fenêtre

Conclusion

L'incidence des deux jonctions de rejingots latéraux sur les déperditions thermiques d'un appui de fenêtre est négligeable, puisque le χ total qu'ils engendrent est compris entre 0.0010 et 0.0030 W/m.

2.5. Étude de l'influence de la largeur de l'appui – Isolation par l'intérieur de 140 mm

Les calculs présentés dans les chapitres précédents ont été réalisés avec une géométrie d'appui correspondant aux dimensions minimales de la norme NF P 98-052 (voir chapitre 2.1.3 du présent rapport). Ces dimensions ne reflètent cependant pas toute l'étendue du marché. Des configurations supplémentaires ont donc été réalisées avec :

- un appui de fenêtre de largeur 360 mm, au lieu de 300 mm pour les chapitres précédents,
- une pose en applique,
- un isolant de conductivité thermique $\lambda = 0.035 \text{ W/(m.K)}$ et d'épaisseur totale 140 mm,
- 4 types de mur (en béton plein, en maçonnerie courante, en maçonnerie isolante type b, en maçonnerie isolante type a).

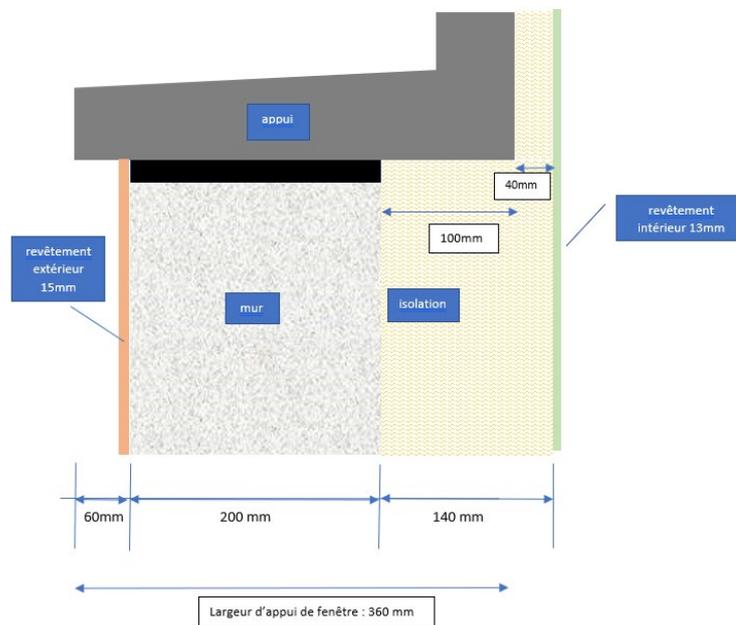


Figure 9 - Pose en applique d'un appui de fenêtre de largeur 360 mm

Afin d'avoir une épaisseur totale d'isolation égale à 140 mm pour les deux largeurs d'appui à comparer, on considère :

- pour l'appui de fenêtre de largeur 300 mm :
 - une épaisseur de l'isolant en dessous de l'appui de fenêtre égale à 40 mm,
 - une épaisseur de l'isolant derrière l'appui de fenêtre égale à 100 mm ;
- pour l'appui de fenêtre de largeur 360 mm (voir Figure 10) :
 - une épaisseur de l'isolant en dessous de l'appui de fenêtre égale à 100 mm ;
 - une épaisseur de l'isolant derrière l'appui de fenêtre égale à 40 mm.

Sont donc présentés ci-après, pour les deux largeurs d'appui (300 et 360 mm) :

- les isothermes pour une maçonnerie courante ;
- le tableau des valeurs des ponts thermiques ψ , pour les différents types de mur.

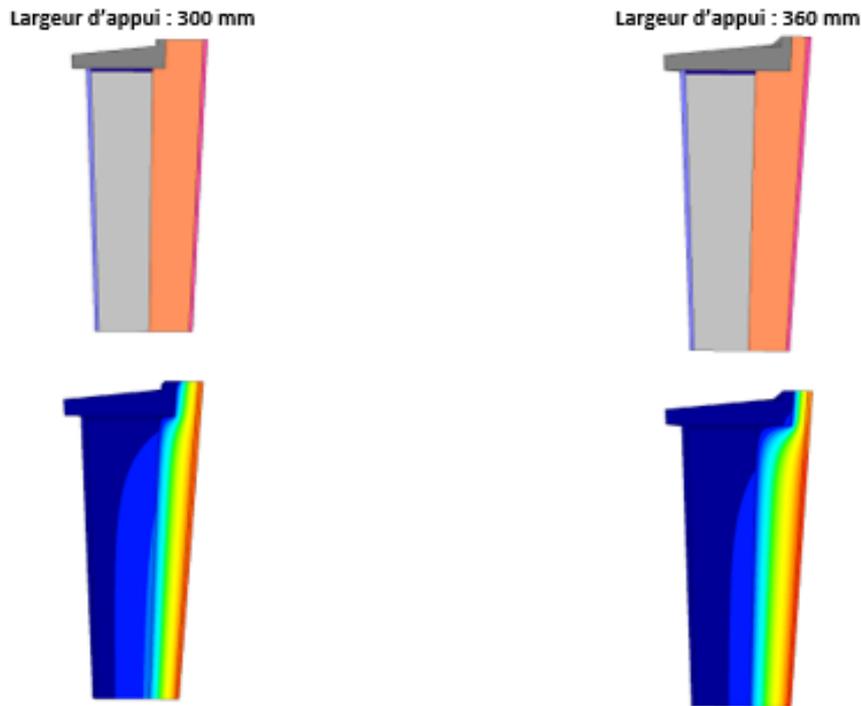


Figure 10 - Modèles géométriques et courbes isothermes pour les modèles avec appuis de fenêtre de largeur 300mm et 360 mm

<i>Mur</i> λ ou λ_{equ} [W/(m.K)]	Appui de fenêtre 300 mm	Appui de fenêtre 360 mm
<i>Béton plein</i> $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.019	0.064
<i>Maç. courante</i> $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.021	0.066
<i>Maç. isolante type b</i> $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.023	0.069
<i>Maç. isolante type a</i> $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.027	0.073

Tableau 6 - Coefficient (ψ) de transmission linéique en partie courante d'un appui de fenêtre de largeur 300 mm et 360 mm (en W/(m.K))

Conclusions

En gardant toutes les autres hypothèses égales, le coefficient de pont thermique d'un appui de largeur 360 mm est sensiblement plus élevé que celui d'un appui de largeur 300 mm. Plus l'appui est large, plus la face supérieure du rejingot se rapproche voir se confond avec la surface d'appui de la menuiserie, plus l'épaisseur d'isolant derrière l'appui diminue et plus le ψ augmente. De plus et comme déjà constaté aux chapitres précédents, le pont thermique augmente légèrement avec la résistance thermique de la maçonnerie.

2.6. Étude de l'influence de la largeur de l'appui – Isolation par l'intérieur de 180 mm

Des configurations supplémentaires à celles présentées au chapitre précédent ont été réalisées avec une isolation de façade de même conductivité thermique ($\lambda = 0.035 \text{ W/(m.K)}$), mais avec une épaisseur totale 180 mm ce qui permet de prendre en compte des appuis de fenêtres encore plus larges. Les calculs sont donc réalisés pour :

- des appuis de largeur 300, 360 mm et 400 mm,
- une pose en applique,
- 4 types de mur (en béton plein, en maçonnerie courante, en maçonnerie isolante type b, en maçonnerie isolante type a).

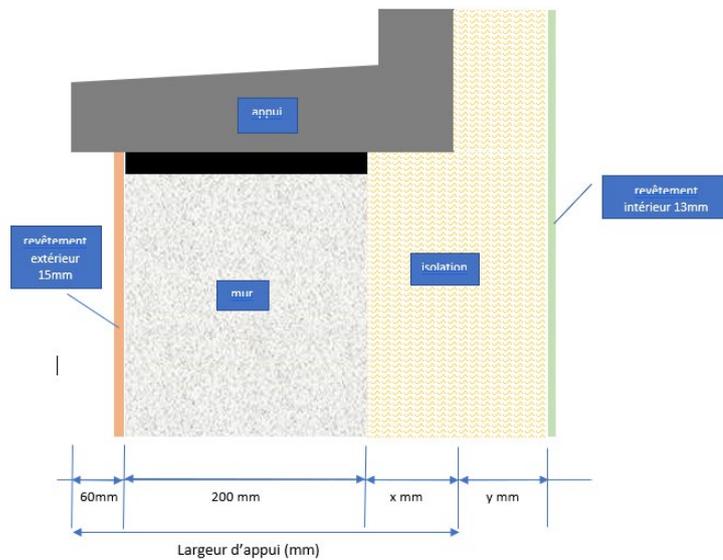


Figure 11 - Pose en applique d'un appui de fenêtre de différentes largeurs et différentes épaisseurs d'isolant derrière l'appui

Les coefficients (ψ) de ponts thermiques en partie courante d'un appui de fenêtre (en W/(m.K)), pour une pose en applique, sont présentés au tableau suivant :

<i>Mur</i> λ ou λ_{equ} [W/(m.K)]	Appui de fenêtre 300 mm	Appui de fenêtre 360 mm	Appui de fenêtre 400 mm
Béton plein $\lambda = 2.00 \text{ W/(m.K)}$	0.019	0.032	0.072
Maç. courante $\lambda_{equ} = 0.70 \text{ W/(m.K)}$	0.021	0.034	0.074
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40 \text{ W/(m.K)}$	0.022	0.036	0.076
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20 \text{ W/(m.K)}$	0.025	0.039	0.079

Tableau 7 - Coefficient de ponts thermiques (ψ) en partie courante d'un appui de fenêtre de largeur 300 mm, 360 mm et 400 mm (en W/(m.K))

La figure 12 ci-après permet de visualiser les 3 modèles réalisés ainsi que les isothermes obtenus pour une maçonnerie courante et une maçonnerie isolante de type a.

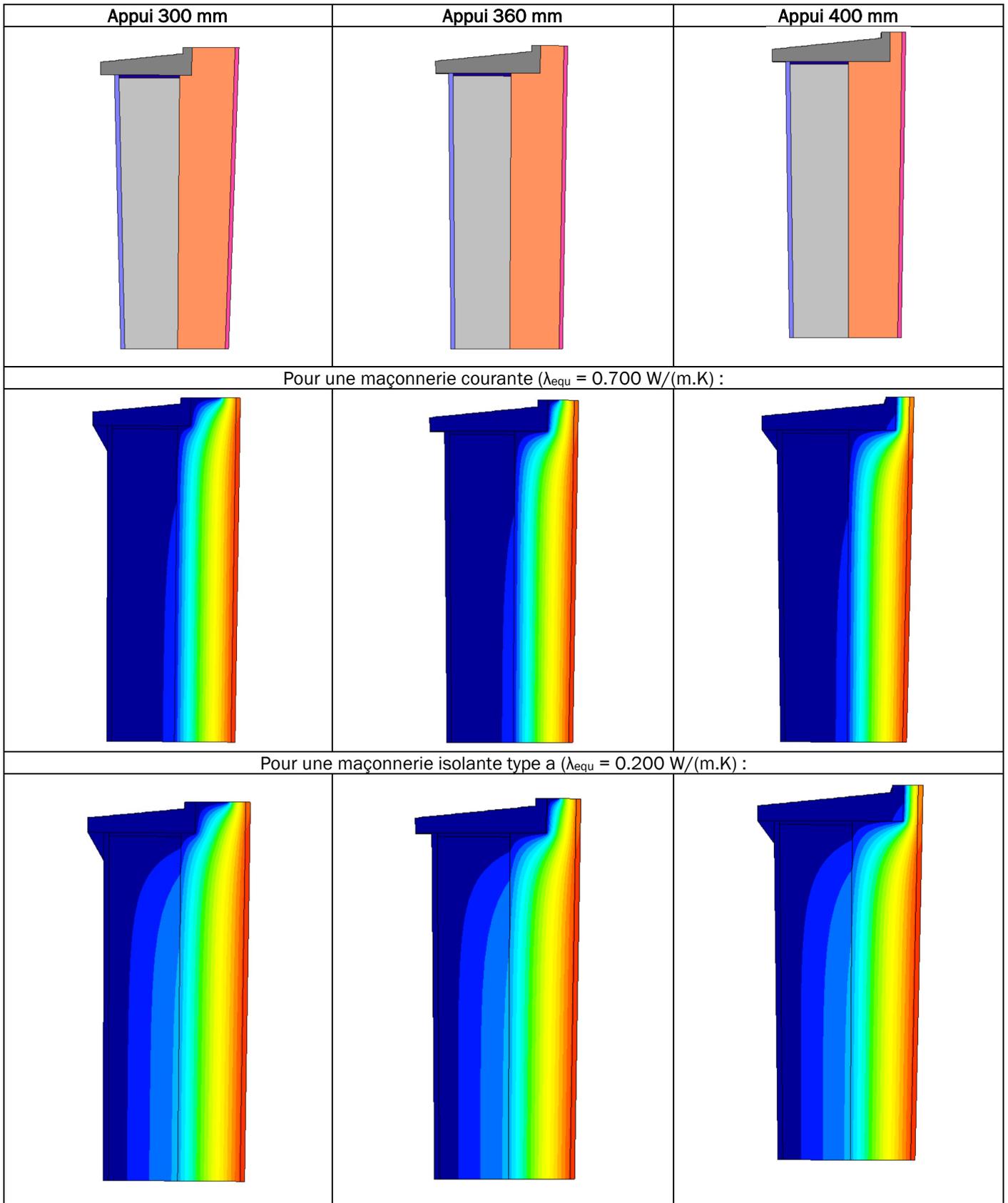


Figure 12 - Modèles géométriques et courbes isothermes - Appuis de fenêtre de largeur 300, 360 et 400 mm - Maçonnerie courante et maçonnerie de type a.

Conclusions

Les conclusions sont identiques à celles du précédent chapitre :

- *le pont thermique augmente avec la largeur de l'appui de fenêtre : plus l'appui est large, plus la face supérieure du rejingot se rapproche voir se confond avec la surface d'appui de la menuiserie, plus l'épaisseur d'isolant derrière l'appui diminue et plus le ψ augmente ;*
- *le pont thermique augmente légèrement avec la résistance thermique de la maçonnerie.*

2.7. Étude de l'influence de la largeur de l'appui – Défaut d'isolation derrière l'appui

L'isolation derrière l'appui de fenêtre pouvant faire l'objet d'un défaut de mise en œuvre, il s'agit dans le présent chapitre de quantifier l'impact thermique de l'absence d'isolant dans cette zone ou de la présence d'isolant d'épaisseur insuffisante.

Des calculs ont donc été réalisés en considérant une épaisseur d'isolation par l'intérieur constante (en partie courante du mur) et en réduisant progressivement la largeur de l'appui pour générer entre l'arrière de l'appui et la plaque de plâtre intérieure un volume d'air d'épaisseur croissante (voir Figure 13).

Les principales hypothèses sont donc les suivantes :

- pose de la menuiserie en applique ;
- maçonnerie courante ($\lambda_{\text{equ}} = 0.700 \text{ W}/(\text{m.K})$) ;
- isolation par l'intérieur (en partie courante du mur) d'épaisseur ($e_{\text{isol ITI}}$) 140 mm avec conductivité thermique $\lambda = 0.035 \text{ W}/(\text{m.K})$;
- appui de fenêtre de largeur :
 - 400 mm, soit un volume d'air de 0 mm de largeur (la plaque de plâtre intérieure est en contact direct avec l'appui de fenêtre et l'isolation de façade vient entièrement en contact sous l'appui)
 - 390 mm, soit un volume d'air de 10 mm de largeur ($\lambda_{\text{equ air}} = 0.065 \text{ W}/(\text{m.K})$),
 - 380 mm, soit un volume d'air de 20 mm de largeur ($\lambda_{\text{equ air}} = 0.109 \text{ W}/(\text{m.K})$),
 - 360 mm, soit un volume d'air de 40 mm de largeur ($\lambda_{\text{equ air}} = 0.208 \text{ W}/(\text{m.K})$),
 - 300 mm, soit un volume d'air de 100 mm de largeur ($\lambda_{\text{equ air}} = 0.470 \text{ W}/(\text{m.K})$).

Afin de compléter l'analyse, les ponts thermiques avec ces volumes d'air remplis d'isolant ($\lambda = 0.035 \text{ W}/(\text{m.K})$) ont également été déterminés.

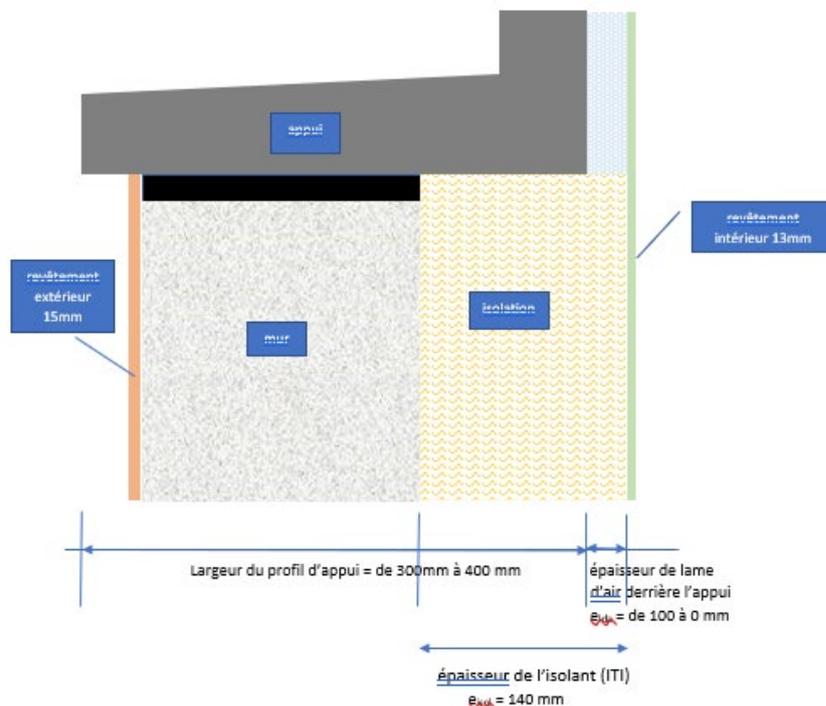


Figure 13 - Pose en applique d'un appui de fenêtre de différentes largeurs et différentes épaisseurs de l'espace derrière l'appui

Dans le tableau suivant, sont présentés :

- les modèles 2D réalisés ;
- les valeurs du pont thermique ψ (en W/(m.K)) calculées avec l'espace derrière l'appui vide ou rempli d'isolant ;
- les courbes isothermes pour tous les cas calculés.

Conclusions

L'absence d'isolant derrière l'appui se traduit par une augmentation importante du coefficient de ponts thermiques et ce, quelle que soit la distance entre l'arrière de l'appui et la plaque de plâtre intérieure.

Le gain obtenu par le remplissage de ce volume d'air avec de l'isolant diminue fortement quand la distance entre l'arrière de l'appui et la plaque de plâtre intérieure diminue.

Appui 300 mm ($e_{\text{isol ITI}} = 140 \text{ mm}$, $e_{\text{vide}} = 100 \text{ mm}$)	Appui 360 mm ($e_{\text{isol ITI}} = 140 \text{ mm}$, $e_{\text{vide}} = 40 \text{ mm}$)	Appui 380 mm ($e_{\text{isol ITI}} = 140 \text{ mm}$, $e_{\text{vide}} = 20 \text{ mm}$)	Appui 390 mm ($e_{\text{isol ITI}} = 140 \text{ mm}$, $e_{\text{vide}} = 10 \text{ mm}$)	Appui 400 mm ($e_{\text{isol ITI}} = 140 \text{ mm}$, $e_{\text{vide}} = 0 \text{ mm}$)
Pour une maçonnerie courante ($\lambda_{\text{equ}} = 0.700 \text{ W/(m.K)}$), un isolant de $\lambda = 0.035 \text{ W/(m.K)}$ derrière le mur (ITI) et un volume d'air derrière l'appui :				
$\psi = 0.207 \text{ W/(m.K)}$	$\psi = 0.230 \text{ W/(m.K)}$	$\psi = 0.237 \text{ W/(m.K)}$	$\psi = 0.259 \text{ W/(m.K)}$	$\psi = 0.442 \text{ W/(m.K)}$
Pour une maçonnerie courante ($\lambda_{\text{equ}} = 0.700 \text{ W/(m.K)}$), un isolant de $\lambda = 0.035 \text{ W/(m.K)}$ derrière le mur (ITI) et le vide derrière l'appui rempli avec le même type d'isolant :				
$\psi = 0.012 \text{ W/(m.K)}$	$\psi = 0.065 \text{ W/(m.K)}$	$\psi = 0.123 \text{ W/(m.K)}$	$\psi = 0.195 \text{ W/(m.K)}$	

Tableau 8- Modèles géométriques, courbes isothermes et valeurs des ponts thermiques d'appui de fenêtre, pour différentes largeurs de l'espace (vide ou rempli d'isolant) derrière cet appui

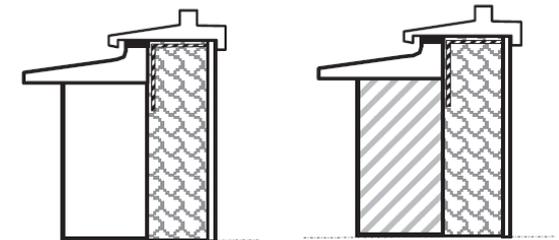
2.8. Étude de l'influence des équerres de menuiseries

La mise en œuvre d'une menuiserie au nu intérieur avec de fortes épaisseurs d'isolation de façade nécessite l'usage d'équerres. Celles-ci doivent être disposées tout autour de la menuiserie avec un espacement maximal de 60 cm (espace préconisé dans les Avis Techniques des menuiseries).

L'objectif du présent chapitre est de déterminer l'impact de ces équerres sur le pont thermique de l'appui. Les résultats obtenus pourront être comparés avec les valeurs figurant dans le tableau du cas ITI.5.1.2 des règles Th-Bat, qui fournit quelques valeurs de ponts thermiques avec équerres ponctuelles ou filantes (voir chapitre 2.1.4 du présent rapport).

ITI.5.1.2 Appui aligné et menuiserie au nu intérieur sur équerre

Mur	Avec équerre filante	Avec des pattes de fixation
Béton plein	0,11	0,0
Maçonnerie courante	0,11	0,0



Après enquête, les équerres de renfort à bords tombés semblent être les dispositifs de montage les plus courants. Elles sont en acier galvanisé et des exemples de géométrie sont représentés en Figure 14.

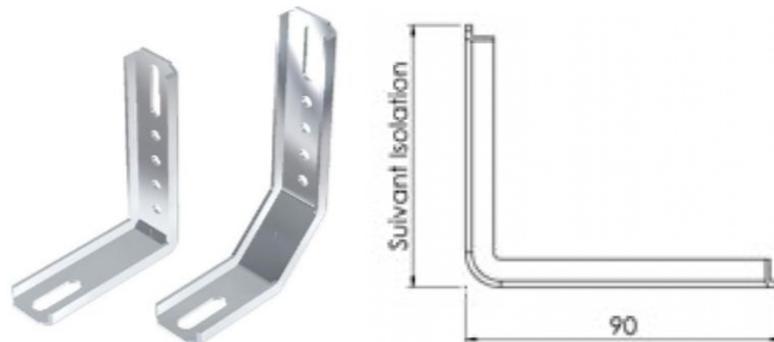


Figure 14 - Exemples d'équerres de renfort à bords tombés

Pour les calculs thermiques et par soucis de simplification tout en restant représentatif et sécuritaire :

- les trous des équerres et les vis correspondantes ne sont pas modélisés ;
- les équerres sont modélisées en angle droit (voir Figure 15).

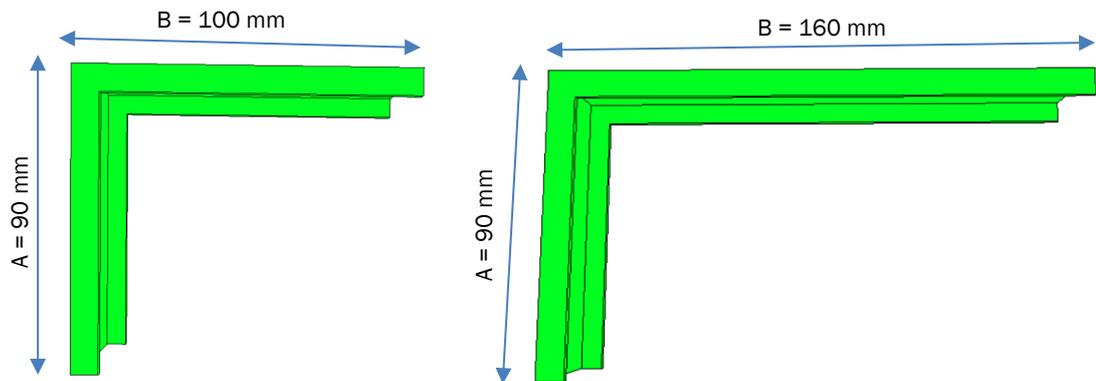
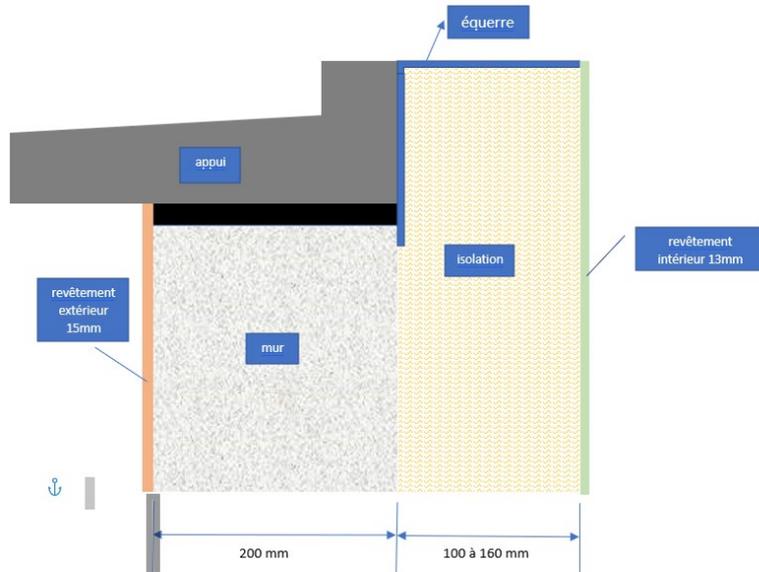


Figure 15 - Modèle d'équerres pour ITI 100 mm (à gauche) et pour ITI 160 mm (à droite)

Les calculs sont réalisés pour :

- 1 entraxe entre équerres : 600 mm ;
- 1 géométrie d'appui de fenêtre de largeur 300 mm ;
- 4 types de mur (en béton plein, en maçonnerie courante, en maçonnerie isolante type b, en maçonnerie isolante type a) ;
- 4 épaisseurs d'isolant en ITI e_{isol} : 100, 120, 140, 160 mm ;
- 1 conductivité thermique d'isolant $\lambda = 0.035 \text{ W/(m.K)}$.

La Figure 16 ci-après présente les modèles TRISCO élaborés pour les calculs. À noter que la face arrière de l'appui de fenêtre vient au niveau de la face intérieure de la maçonnerie. L'isolation intérieure se poursuit donc intégralement jusqu'au dormant de la menuiserie.



Modélisation de la pose d'appui de fenêtre aligné et menuiserie au nu intérieur sur équerre

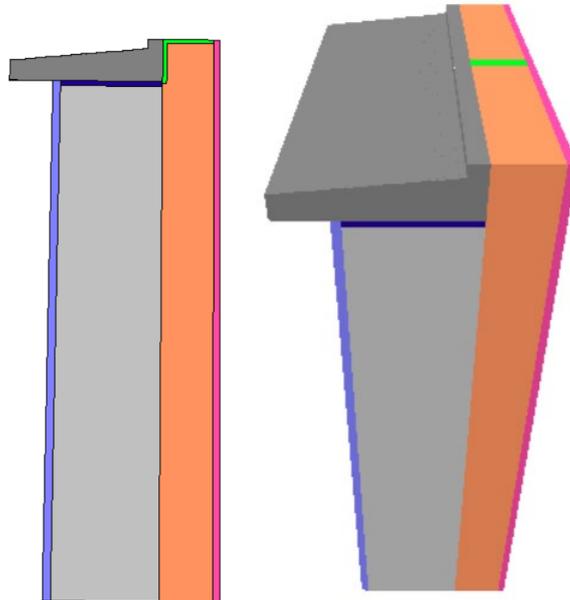


Figure 16- Modèle TRISCO de la liaison mur/menuiserie : coupe verticale et plan 3D de la liaison (d'une longueur de 600 mm, pour tenir compte de l'espacement habituel entre 2 équerres)

Dans le tableau suivant sont présentés les résultats de cette étude et plus précisément :

- les ponts thermiques linéaires d'appui de fenêtre avec équerres (ψ avec équerre) ;
- les ponts thermiques linéaires d'appui de fenêtre sans équerres (ψ sans équerre) ;
- les écarts de ponts thermiques linéaires dus à la présence d'équerre ($\Delta\psi = \psi$ avec équerre - ψ sans équerre) et
- les ponts thermiques ponctuels dus aux équerres (χ).

Tableau 9 - Coefficient (ψ) de transmission linéique en partie courante d'un appui de fenêtre aligné et menuiserie au nu intérieur sur équerre (en W/(m.K))

λ_{mur} (W/(m.K))	ψ avec équerre (W/(m.K))	ψ sans équerre (W/(m.K))	$\Delta\psi$ (W/(m.K))	χ (W/K)
Épaisseur d'isolant (ITI) = 100 mm				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0,008	0,000	0,008	0.0050
Maç. courante $\lambda_{\text{equ}} = 0.70$ W/(m.K)	0,009	0,001	0,008	0.0050
Maç. isolante type b $\lambda_{\text{equ}} = 0.40$ W/(m.K)	0,011	0,002	0,008	0.0050
Maç. isolante type a $\lambda_{\text{equ}} = 0.20$ W/(m.K)	0,014	0,006	0,008	0.0050
Épaisseur d'isolant (ITI) = 120 mm				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0,008	0,000	0,008	0.0050
Maç. courante $\lambda_{\text{equ}} = 0.70$ W/(m.K)	0,010	0,001	0,009	0.0055
Maç. isolante type b $\lambda_{\text{equ}} = 0.40$ W/(m.K)	0,011	0,002	0,009	0.0055
Maç. isolante type a $\lambda_{\text{equ}} = 0.20$ W/(m.K)	0,012	0,003	0,008	0.0050
Épaisseur d'isolant (ITI) = 140 mm				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0,008	0,000	0,008	0.0050
Maç. courante $\lambda_{\text{equ}} = 0.70$ W/(m.K)	0,009	0,001	0,008	0.0050
Maç. isolante type b $\lambda_{\text{equ}} = 0.40$ W/(m.K)	0,009	0,001	0,008	0.0050
Maç. isolante type a $\lambda_{\text{equ}} = 0.20$ W/(m.K)	0,011	0,002	0,008	0.0050
Épaisseur d'isolant (ITI) = 160 mm				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0,008	0,000	0,008	0.0050
Maç. courante $\lambda_{\text{equ}} = 0.70$ W/(m.K)	0,009	0,001	0,008	0.0050
Maç. isolante type b $\lambda_{\text{equ}} = 0.40$ W/(m.K)	0,010	0,001	0,009	0.0055
Maç. isolante type a $\lambda_{\text{equ}} = 0.20$ W/(m.K)	0,011	0,002	0,009	0.0055

Conclusions

Avec les hypothèses retenues, le pont thermique (ψ) d'un appui de fenêtre au nu intérieur avec équerre varie entre 0.008 et 0.014 W/(m.K). Il est donc négligeable au sens des règles Th-Bat ($\psi < 0.03$ W/(m.K)).

Les valeurs obtenues sont cohérentes avec celles figurant dans le tableau du cas ITI.5.1.2 des Th-Bat (voir chapitre 2.1.4 du présent rapport). Elles sont d'autant plus importantes que l'épaisseur d'isolation de façade est faible et que la maçonnerie est isolante.

En relatif, la présence d'une équerre avec un entraxe de 600 mm conduit à une augmentation du ψ d'environ 0.008 à 0.009 W/(m.K). Cette évolution est faible mais sa prise en compte peut rendre certaines configurations calculées au chapitre 2.2 non négligeables au sens des règles Th-Bat ($\psi \geq 0.03$ W/(m.K)).

2.9. Conclusions

Un pont thermique d'appui de fenêtre peut souvent apparaître comme négligeable au sens des règles Th-Bat ($\psi < 0.03 \text{ W}/(\text{m.K})$) si l'isolation de façade par l'intérieur vient intégralement en contact avec le dormant de la menuiserie.

Les ponts thermiques d'appui de fenêtre augmentent :

- avec la diminution de la conductivité thermique équivalente du mur ;
- avec la diminution de la conductivité thermique de l'isolation de façade par l'intérieur ;
- avec la diminution de l'épaisseur de l'isolant posé derrière le mur et l'appui, pour une pose en applique intérieure.

Pour une pose de menuiserie en applique intérieure (dite aussi « au nu intérieur »), configuration la plus courante, il est important de conserver le maximum d'isolant entre la face arrière de l'appui et la plaque de plâtre intérieur. La qualité de mise en œuvre du doublage intérieur est donc primordiale. En cas de doute, il peut être pertinent de préconiser :

- soit des appuis de largeur limitée dont la face arrière se retrouve à l'aplomb de la face intérieure de la maçonnerie, ce qui permet une mise en œuvre du doublage intérieur sans découpe jusqu'à la menuiserie ;
- soit des appuis avec isolation intégrée importante en face arrière.

L'utilisation d'équerres ponctuelles en acier pour la fixation d'une menuiserie entraîne une augmentation du pont thermique d'appui de fenêtre. Cette augmentation est faible (moins de $0,01 \text{ W}/(\text{m.K})$) mais peut rendre un pont thermique non négligeable au sens des règles Th-Bat.

À noter que pour une pose de menuiserie au nu intérieure, les résultats obtenus dans le cadre de la présente étude sont cohérents avec les valeurs tabulées figurant dans les règles Th-Bat.

L'influence thermique du mortier de pose de l'appui de fenêtre est négligeable (épaisseur et conductivité thermique).

De même, l'incidence des deux jonctions de rejingots latéraux sur les déperditions thermiques d'un appui de fenêtre est négligeable.

Pour toutes les combinaisons de paramètres n'ayant pas pu être réalisées dans ce cadre de cette étude, une vérification au cas par cas peut s'avérer nécessaire.

Bibliographie

- [1] Guide Réglementaire Thermique « RT : valeurs et coefficients pour l'application des règles Th-Bat, Parois vitrées (U, S, T_L), Parois opaques (U), Ponts thermiques (ψ) » (RT2012), Editions CSTB, 2017.
- [2] Norme Française NF P 98-052 (de Juillet 2002) « Produits préfabriqués en béton, Appuis de fenêtre préfabriqués en béton », édité et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR).
- [3] Norme Française NF DTU 20.1 (d'octobre 2008 et son amendement A1, de juillet 2012) « Travaux du bâtiment - Ouvrages en maçonnerie de petits éléments - Parois et murs - Partie 1 - 1 : Cahier des clauses techniques types (P10 - 202 - 1 - 1) » édité et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR).

Annexes

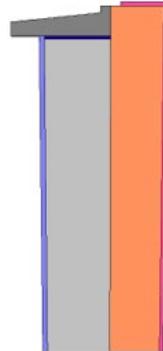
Annexe 1 – Pose en feuillure

A1.1 Étude paramétrique initiale

Pour la pose en feuillure, le coefficient (ψ) de transmission linéique en partie courante d'un appui de fenêtre a été calculé pour une seule géométrie d'appui de fenêtre ayant les dimensions minimales du profil figurant dans la norme NF P 98-052 en vigueur (voir Chapitre 2.1.3) et pour :

- 4 types de maçonnerie (en béton plein, en maçonnerie courante, en maçonnerie isolante type b, en maçonnerie isolante type a) ;
- 3 conductivités thermiques d'isolant (0.040 / 0.035/ 0.030 W/(m.K)) et
- 4 épaisseurs d'isolant posé derrière l'appui de fenêtre.

Les résultats de ces calculs sont présentés en détail dans le tableau suivant.

Tableau 10 - Coefficient (ψ) de transmission linéique (ponts thermiques) en partie courante d'un appui de fenêtre [W/(m.K)] - Pose en feuillure


Mur λ ou λ_{equ} [W/(m.K)]	Isolation par l'intérieur (ITI)			
	$e_{isolant}^{(1)} = 100$ mm	$e_{isolant} = 120$ mm	$e_{isolant} = 140$ mm	$e_{isolant} = 160$ mm
$\lambda_{isolant} = 0.040$ [W/(m.K)]				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.014	0.017	0.021	0.024
Maç. Courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.018	0.020	0.023	0.025
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.022	0.023	0.025	0.027
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.030	0.030	0.030	0.031
$\lambda_{isolant} = 0.035$ [W/(m.K)]				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.012	0.015	0.018	0.021
Maç. Courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.015	0.018	0.020	0.022
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.019	0.020	0.022	0.024
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.025	0.025	0.026	0.027
$\lambda_{isolant} = 0.030$ [W/(m.K)]				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.011	0.013	0.016	0.018
Maç. Courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.013	0.015	0.017	0.019
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.016	0.017	0.019	0.021
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.021	0.021	0.022	0.023

⁽¹⁾ épaisseur de l'isolant derrière l'appui de fenêtre (égale à l'épaisseur de l'isolation, posée en partie courante (ITI)).

Analyse des résultats pour une pose en feuillure

Pour la pose en feuillure, quel que soit le type de mur ainsi que l'épaisseur et la conductivité thermique de l'isolant posé derrière celui-ci (ITI), le ψ de l'appui de fenêtre en partie courante est inférieur à 0.03 W/(m.K) et peut donc être négligé.

Une seule exception : pour une maçonnerie isolante de type a et quelle que soit l'épaisseur de l'isolant de conductivité thermique 0.040 W/(m.K) posé derrière le mur, le ψ est toujours \geq 0.03 W/(m.K).

Les valeurs obtenues sont environ cinq fois plus faibles que celles figurant au tableau ITI.5.1.3 des règles Th-Bat, qui se rapproche le plus de la pose en feuillure (voir extrait au chapitre 2.1.4 du présent rapport). Il est probable que l'écart s'explique par d'importantes différences d'hypothèses sur la largeur et la position de la surface adiabatique de contact avec le dormant de la menuiserie. Le chapitre A2.3 du présent rapport s'efforce d'apporter quelques éclairages sur ce point.

Conclusions

Pour une pose en feuillure, le coefficient de transmission linéique (ψ) en partie courante d'un appui de fenêtre ayant les dimensions minimales spécifiées dans la norme NF P 98-052, est compris entre 0.011 W/(m.K) et 0.031 W/(m.K).

Ce coefficient linéaire (ψ) des déperditions thermiques en partie courante de cet appui augmente :

- *avec la diminution de la conductivité thermique équivalente de la maçonnerie extérieure (c'est-à-dire, pour une maçonnerie de plus en plus isolante) ;*
- *avec la diminution de la conductivité thermique de l'isolant derrière le mur et l'appui ;*
- *avec l'augmentation de cette épaisseur d'isolant pour une pose en feuillure.*

A1.2 Étude de l'influence du mortier de pose

Une étude de sensibilité a été réalisée pour évaluer l'incidence de l'épaisseur et de la conductivité thermique du mortier de pose sur le pont thermique linéique (ψ) en partie courante.

En partant du modèle de base utilisé au chapitre A1.1, avec un mortier de pose courant d'épaisseur $e_m=10$ mm et de conductivité thermique égale à 1.30 W/(m.K), un paramétrage suivant a été réalisé sur :

- l'épaisseur du mortier de pose (e_m) : 10, 15 et 20 mm ;
- la conductivité thermique du mortier de pose avec (λ) : 1.30 W/(m.K) (mortier courant), 0.54 W/(m.K) (mortier allégé).

Tous ces calculs ont été réalisés pour :

- une pose en feuillure ;
- les 4 types de maçonnerie (en béton plein, en maçonnerie courante, en maçonnerie isolante type b, en maçonnerie isolante type a) ;
- les 3 conductivités thermiques d'isolant (0.040 / 0.035 / 0.030 W/(m.K)) ;
- les 4 épaisseurs d'isolant posé derrière l'appui de fenêtre.

Les résultats obtenus sont présentés en détail dans les tableaux suivants.

Conclusions

L'incidence de l'épaisseur et de la conductivité thermique du mortier de pose sur le pont thermique d'appui de fenêtre est de l'ordre de 0.001 W/(mK) et ainsi négligeable comparée avec les valeurs de coefficient (ψ) de l'ensemble des configurations étudiées.

Tableau 11 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] - Pose en feuillure

Mortier d'arase épaisseur e_m 10, 15 et 20 mm et $\lambda = 1.30$ W/(m.K)

Mur λ ou λ_{equ} [W/(m.K)]	Isolation par l'intérieur (ITI)											
	Eisolant = 100 mm ⁽¹⁾			Eisolant = 120 mm			Eisolant = 140 mm			Eisolant = 160 mm		
	$e_m^{(2)}=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm	$e_m=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm	$e_m=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm	$e_m=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm
$\lambda_{isolant} = 0.040$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.014	0.014	0.014	0.017	0.018	0.017	0.021	0.021	0.021	0.024	0.024	0.024
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.018	0.018	0.018	0.020	0.021	0.020	0.023	0.023	0.023	0.025	0.025	0.025
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.022	0.022	0.022	0.023	0.024	0.024	0.025	0.025	0.025	0.027	0.027	0.027
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.030	0.030	0.031	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.031	0.031	0.031
$\lambda_{isolant} = 0.035$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.012	0.012	0.012	0.015	0.016	0.015	0.018	0.018	0.018	0.021	0.021	0.021
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.015	0.015	0.015	0.018	0.019	0.018	0.020	0.020	0.020	0.022	0.022	0.022
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.019	0.019	0.019	0.020	0.021	0.020	0.022	0.022	0.022	0.024	0.024	0.024
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.025	0.026	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.027	0.027	0.027
$\lambda_{isolant} = 0.030$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.011	0.011	0.010	0.013	0.014	0.013	0.016	0.016	0.016	0.018	0.018	0.018
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.013	0.013	0.013	0.015	0.016	0.015	0.017	0.017	0.017	0.019	0.019	0.019
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.016	0.016	0.016	0.017	0.018	0.017	0.019	0.019	0.019	0.021	0.021	0.021
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.021	0.021	0.021	0.021	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023

⁽¹⁾ épaisseur de l'isolant derrière l'appui de fenêtre (égale à l'épaisseur de l'isolation, posée en partie courante (ITI))

⁽²⁾ épaisseur du mortier de pose de l'appui de fenêtre

Tableau 12 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] - Pose en feuillure

Mortier d'arase épaisseur e_m 10, 15 et 20 mm et $\lambda = 0.54$ W/(m.K)

Mur λ ou λ_{equ} [W/(m.K)]	Isolation par l'intérieur (ITI)											
	Eisolant = 100 mm ⁽¹⁾			Eisolant = 120 mm			Eisolant = 140 mm			Eisolant = 160 mm		
	$e_m^{(2)}=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm	$e_m=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm	$e_m=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm	$e_m=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm
$\lambda_{isolant} = 0.040$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.014	0.014	0.014	0.017	0.018	0.017	0.021	0.021	0.021	0.024	0.024	0.023
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.018	0.017	0.017	0.020	0.021	0.020	0.023	0.023	0.023	0.025	0.025	0.025
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.022	0.022	0.022	0.023	0.024	0.023	0.025	0.025	0.025	0.027	0.027	0.027
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.030	0.030	0.030	0.029	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.031	0.031	0.031
$\lambda_{isolant} = 0.035$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.012	0.012	0.012	0.015	0.016	0.015	0.018	0.018	0.018	0.021	0.021	0.021
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.015	0.015	0.015	0.018	0.019	0.018	0.020	0.020	0.020	0.022	0.022	0.022
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.019	0.019	0.019	0.020	0.021	0.020	0.022	0.022	0.022	0.024	0.024	0.024
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.025	0.025	0.026	0.025	0.026	0.025	0.026	0.026	0.026	0.027	0.027	0.027
$\lambda_{isolant} = 0.030$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.010	0.010	0.010	0.013	0.014	0.013	0.016	0.016	0.016	0.018	0.018	0.018
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.013	0.013	0.013	0.015	0.016	0.015	0.017	0.017	0.017	0.019	0.019	0.019
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.015	0.016	0.016	0.017	0.018	0.017	0.019	0.019	0.019	0.020	0.020	0.020
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.022	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023

⁽¹⁾ épaisseur de l'isolant derrière l'appui de fenêtre (égale à l'épaisseur de l'isolation, posée en partie courante (ITI))

⁽²⁾ épaisseur du mortier de l'appui de fenêtre

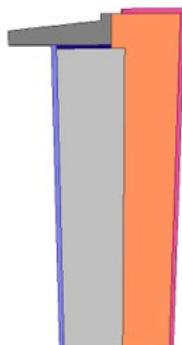
Annexe 2 : Pose en tunnel

A2.1 Étude paramétrique initiale

Pour la pose en tunnel, le coefficient (ψ) de transmission linéique en partie courante d'un appui de fenêtre a été calculé pour une seule géométrie d'appui de fenêtre ayant les dimensions minimales du profil figurant dans la norme NF P 98-052 en vigueur (voir Chapitre 2.1.3) et pour :

- 4 types de maçonnerie (en béton plein, en maçonnerie courante, en maçonnerie isolante type b, en maçonnerie isolante type a) ;
- 3 conductivités thermiques d'isolant (0.040 / 0.035/ 0.030 W/(m.K)) et
- 4 épaisseurs d'isolant posé derrière l'appui de fenêtre.

Les résultats de ces calculs sont présentés en détail dans le tableau suivant.

Tableau 13 - Coefficient (ψ) de transmission linéique (ponts thermiques) en partie courante d'un appui de fenêtre [W/(m.K)] - Pose en tunnel


Mur λ ou λ_{equ} [W/(m.K)]	Isolation par l'intérieur (ITI)			
	$e_{isolant}^{(1)} = 140$ mm (40 ⁽²⁾ + 100 ⁽³⁾ mm)	$e_{isolant} = 160$ mm (40 + 120 mm)	$e_{isolant} = 180$ mm (40 + 140 mm)	$e_{isolant} = 200$ mm (40 + 160 mm)
$\lambda_{isolant} = 0.040$ [W/(m.K)]				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.016	0.021	0.026	0.030
Maç. courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.018	0.023	0.027	0.030
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.021	0.024	0.028	0.031
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.026	0.028	0.031	0.033
$\lambda_{isolant} = 0.035$ [W/(m.K)]				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.014	0.019	0.023	0.026
Maç. courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.016	0.020	0.024	0.027
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.018	0.021	0.025	0.027
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.023	0.025	0.027	0.029
$\lambda_{isolant} = 0.030$ [W/(m.K)]				
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.013	0.017	0.020	0.023
Maç. courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.014	0.018	0.021	0.023
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.016	0.019	0.021	0.024
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.019	0.021	0.023	0.025

⁽¹⁾ épaisseur totale de l'isolant derrière l'appui de fenêtre

⁽²⁾ épaisseur de l'isolant entre la partie arrière de l'appui de fenêtre et le début de l'isolant du mur, en partie courante (ITI)

⁽³⁾ épaisseur de l'isolant du mur, en partie courante (ITI).

Analyse des résultats pour une pose en tunnel

Pour la pose en tunnel, quels que soient le type du mur ainsi que l'épaisseur et la conductivité thermique de l'isolant posé derrière celui-ci (ITI), le ψ de l'appui de fenêtre, en partie courante, est inférieur à 0.03 W/(m.K) et peut être négligé.

Les seules exceptions, pour lesquelles $\psi \geq 0.03$ W/(m.K) :

- pour une maçonnerie isolante de type a avec une épaisseur d'isolant $e \geq 180$ mm ;
- pour tous les types de mur avec un isolant d'épaisseur $e \geq 200$ mm et de conductivité thermique $\lambda = 0.040$ W/(m.K).

Conclusions

Pour la pose en tunnel, le coefficient de transmission linéique (ψ) en partie courante d'un appui de fenêtre ayant les dimensions minimales spécifiées dans la norme NF P 98-052, est compris entre 0.013 W/(m.K) et 0.033 W/(m.K).

Ce coefficient linéaire (ψ) des déperditions thermiques en partie courante de cet appui augmente :

- *avec la diminution de la conductivité thermique équivalente de la maçonnerie extérieure (c'est-à-dire, pour une maçonnerie de plus en plus isolante) ;*
- *avec la diminution de la conductivité thermique de l'isolant derrière le mur et l'appui ;*
- *avec l'augmentation de cette épaisseur d'isolant pour une pose en tunnel.*

A2.2 Étude de l'influence du mortier de pose

Une étude de sensibilité a été réalisée pour évaluer l'incidence de l'épaisseur et de la conductivité thermique du mortier de pose sur le pont thermique linéique (ψ) en partie courante.

En partant du modèle de base utilisé au chapitre A2.1 précédent, avec un mortier de pose courant d'épaisseur $e_m=10$ mm et de conductivité thermique égale à 1.30 W/(m.K), un paramétrage suivant a été réalisé sur :

- l'épaisseur du mortier de pose (e_m) : 10, 15 et 20 mm ;
- la conductivité thermique du mortier de pose avec (λ) : 1.30 W/(m.K) (mortier courant), 0.54 W/(m.K) (mortier allégé).

Tous ces calculs ont été réalisés pour :

- une pose en tunnel ;
- les 4 types de maçonnerie (en béton plein, en maçonnerie courante, en maçonnerie isolante type b, en maçonnerie isolante type a) ;
- les 3 conductivités thermiques d'isolant (0.040 / 0.035/ 0.030 W/(m.K)) ;
- les 4 épaisseurs d'isolant posé derrière l'appui de fenêtre.

Les résultats obtenus sont présentés en détail dans les tableaux suivants.

Conclusions

L'incidence de l'épaisseur et de la conductivité thermique du mortier de pose sur le pont thermique d'appui de fenêtre est de l'ordre de 0.001 W/(mK) et ainsi négligeable comparée avec les valeurs de coefficient (ψ) de l'ensemble des configurations étudiées.

Tableau 14 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] - Pose en tunnel

 Mortier d'arase épaisseur e_m 10, 15 et 20 mm et $\lambda = 1.30$ W/(m.K)

Mur λ ou λ_{eq} [W/(m.K)]	Isolation par l'intérieur (ITI)											
	$e_{isolant} = 140$ mm ⁽¹⁾ (40 ⁽²⁾ mm + 100 ⁽³⁾ mm)			$e_{isolant} = 160$ mm (40 mm + 120 mm)			$e_{isolant} = 180$ mm (40 mm + 140 mm)			$e_{isolant} = 200$ mm (40 mm + 160 mm)		
	e_m ⁽⁴⁾ =10 mm	e_m =15 mm	e_m =20 mm	e_m =10 mm	e_m =15 mm	e_m =20 mm	e_m =10 mm	e_m =15 mm	e_m =20 mm	e_m =10 mm	e_m =15 mm	e_m =20 mm
$\lambda_{isolant} = 0.040$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.016	0.015	0.014	0.021	0.020	0.020	0.026	0.025	0.024	0.030	0.029	0.028
Maç. cour. $\lambda_{eq} = 0.70$ W/(m.K)	0.018	0.017	0.017	0.023	0.022	0.022	0.027	0.026	0.025	0.030	0.029	0.029
Maç. isol. type b $\lambda_{eq} = 0.40$ W/(m.K)	0.021	0.020	0.020	0.024	0.024	0.024	0.028	0.027	0.027	0.031	0.030	0.030
Maç. isol. type a $\lambda_{eq} = 0.20$ W/(m.K)	0.026	0.026	0.026	0.028	0.028	0.028	0.031	0.030	0.030	0.033	0.032	0.032
$\lambda_{isolant} = 0.035$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.014	0.013	0.013	0.019	0.018	0.018	0.023	0.022	0.022	0.026	0.026	0.025
Maç. cour. $\lambda_{eq} = 0.70$ W/(m.K)	0.016	0.015	0.015	0.020	0.019	0.019	0.024	0.023	0.022	0.027	0.026	0.026
Maç. isol. type b $\lambda_{eq} = 0.40$ W/(m.K)	0.018	0.018	0.017	0.021	0.021	0.021	0.025	0.024	0.024	0.027	0.027	0.026
Maç. isol. type a $\lambda_{eq} = 0.20$ W/(m.K)	0.023	0.022	0.022	0.025	0.024	0.024	0.027	0.026	0.026	0.029	0.028	0.028
$\lambda_{isolant} = 0.030$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.013	0.012	0.011	0.017	0.016	0.016	0.020	0.019	0.019	0.023	0.022	0.022
Maç. cour. $\lambda_{eq} = 0.70$ W/(m.K)	0.014	0.013	0.013	0.018	0.017	0.016	0.021	0.020	0.020	0.023	0.023	0.022
Maç. isol. type b $\lambda_{eq} = 0.40$ W/(m.K)	0.016	0.015	0.015	0.019	0.018	0.018	0.021	0.021	0.020	0.024	0.023	0.023
Maç. isol. type a $\lambda_{eq} = 0.20$ W/(m.K)	0.019	0.019	0.018	0.021	0.021	0.021	0.023	0.023	0.022	0.025	0.025	0.024

(1) épaisseur totale de l'isolant derrière l'appui de fenêtre,

(2) épaisseur de l'isolant entre la partie arrière de l'appui de fenêtre et le début de l'isolant du mur, en partie courante (ITI)

(3) épaisseur de l'isolant du mur, en partie courante (ITI)

(4) épaisseur du mortier de pose de l'appui de fenêtre

Tableau 15 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] - Pose en tunnel

 Mortier d'arase épaisseur e_m 10, 15 et 20 mm et $\lambda = 0.54$ W/(m.K)

Mur λ ou λ_{equ} [W/(m.K)]	Isolation par l'intérieur (ITI)											
	$e_{isolant} = 140$ mm ⁽¹⁾ (40 ⁽²⁾ mm + 100 ⁽³⁾ mm)			$e_{isolant} = 160$ mm (40 mm + 120 mm)			$e_{isolant} = 180$ mm (40 mm + 140 mm)			$e_{isolant} = 200$ mm (40 mm + 160 mm)		
	$e_m^{(4)}=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm	$e_m=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm	$e_m=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm	$e_m=10$ mm	$e_m=15$ mm	$e_m=20$ mm
$\lambda_{isolant} = 0.040$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.016	0.015	0.014	0.021	0.020	0.020	0.026	0.025	0.024	0.030	0.029	0.028
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.018	0.017	0.017	0.022	0.022	0.021	0.026	0.026	0.025	0.030	0.029	0.028
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.021	0.020	0.020	0.024	0.024	0.023	0.028	0.027	0.026	0.030	0.030	0.029
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.026	0.026	0.026	0.028	0.028	0.027	0.030	0.030	0.030	0.033	0.032	0.032
$\lambda_{isolant} = 0.035$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.014	0.013	0.013	0.019	0.018	0.018	0.023	0.022	0.022	0.026	0.026	0.025
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.016	0.015	0.015	0.020	0.019	0.019	0.024	0.023	0.022	0.027	0.026	0.025
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.018	0.017	0.017	0.021	0.021	0.020	0.024	0.024	0.023	0.027	0.026	0.026
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.022	0.022	0.022	0.024	0.024	0.024	0.027	0.026	0.026	0.029	0.028	0.028
$\lambda_{isolant} = 0.030$ [W/m.K]												
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.013	0.012	0.011	0.016	0.016	0.015	0.020	0.019	0.019	0.023	0.022	0.022
Maç. cour. $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.014	0.013	0.013	0.017	0.017	0.016	0.021	0.020	0.019	0.023	0.023	0.022
Maç. isol. type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.015	0.015	0.015	0.018	0.018	0.017	0.021	0.021	0.020	0.024	0.023	0.023
Maç. isol. type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.019	0.018	0.018	0.021	0.020	0.020	0.023	0.022	0.022	0.025	0.024	0.024

(1) épaisseur totale de l'isolant derrière l'appui de fenêtre,

(2) épaisseur de l'isolant entre la partie arrière de l'appui de fenêtre et le début de l'isolant du mur, en partie courante (ITI)

(3) épaisseur de l'isolant du mur, en partie courante (ITI)

(4) épaisseur du mortier de pose de l'appui de fenêtre

A2.3 Étude paramétrique pour une pose en tunnel

Le cas présenté au chapitre ITI.5.1.3 « Appui aligné ou déporté avec ébrasement côté intérieur » des Th-Bat (voir également chapitre 2.1.4 du présent rapport) semble correspondre à une pose en feuillure avec ou sans embrasement, mais semble également applicable à une pose en tunnel de faible longueur (présence d'un faible retrait ou d'une faible pénétration de l'appui de fenêtre dans l'isolation du mur).

Afin de mieux comprendre les écarts observés entre les calculs CERIB et les valeurs Th-Bat pour la pose en feuillure (voir aussi Annexe 1 du présent rapport) et afin d'étudier plus précisément le comportement de la pose en tunnel, une étude paramétrique spécifique a été réalisée pour ce type de montage. Le modèle retenu est présenté à la Figure 17 suivante.

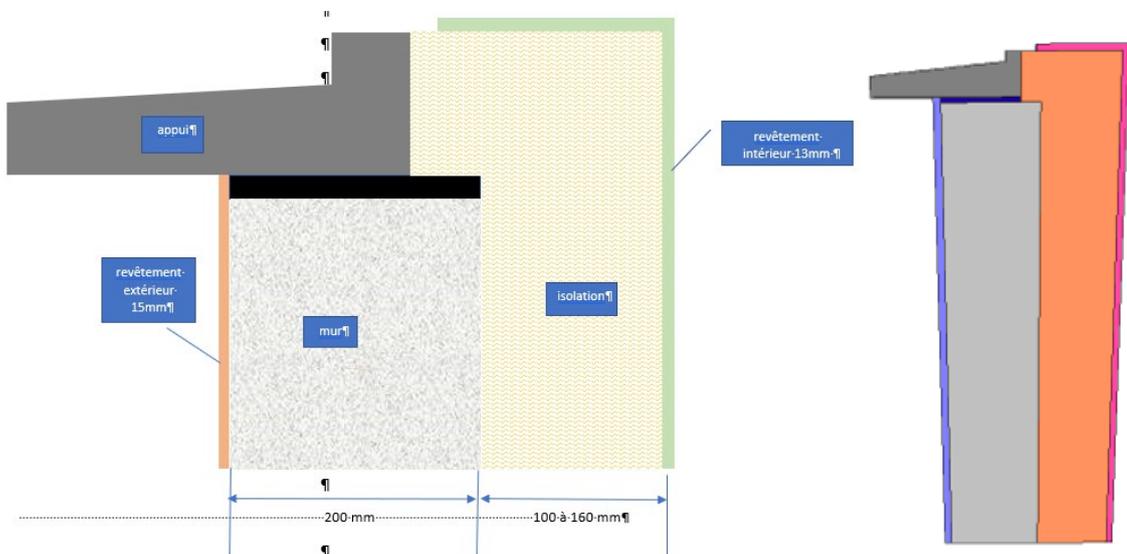


Figure 17 - Modèle CERIB de pose en tunnel

Dans cette étude paramétrique, deux paramètres sont modifiés :

- la largeur du rejingot : elle est portée de 30 mm, par défaut, à 60 mm. Cela signifie que dans le deuxième cas, la surface adiabatique correspondant au contact entre l'appui et le dormant de la menuiserie correspond exactement à la surface du rejingot, alors que dans le 1^{er} cas elle empiétait de 30 mm sur le doublage intérieur et ;
- le retrait de l'appui (distance entre l'arrière de l'appui et la face intérieure de la maçonnerie) : il est réduit à 10 mm, au lieu de 40 mm par défaut.

Le Tableau 16 suivant récapitule les valeurs de ponts thermiques ψ (en W/(m.K)) ainsi obtenus.

Tableau 16 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] Pose en tunnel – Impact de la largeur et du positionnement du rejingot

Mur λ ou λ_{equ} [W/(m.K)]	Isolation par l'intérieur (ITI) $\lambda_{isolant} = 0.040$ [W/(m.K)]			
	$e_{isolant} = 140$ mm (40 mm + 100 mm)		$e_{isolant} = 110$ mm (10 mm + 100 mm)	
	40 mm de retrait de l'appui de fenêtre par rapport à la face intérieure du mur		10 mm de retrait de l'appui de fenêtre par rapport à la face intérieure du mur	
	largeur du rejingot $l_r = 30$ mm	largeur du rejingot $l_r = 60$ mm	largeur du rejingot $l_r = 30$ mm	largeur du rejingot $l_r = 60$ mm ⁽¹⁾⁽²⁾
Béton plein $\lambda = 2.00$ W/(m.K)	0.016	0.079	0.013	0.076
Maç. courante $\lambda_{equ} = 0.70$ W/(m.K)	0.018	0.080	0.017	0.078
Maç. isolante type b $\lambda_{equ} = 0.40$ W/(m.K)	0.021	0.082	0.021	0.082
Maç. isolante type a $\lambda_{equ} = 0.20$ W/(m.K)	0.026	0.087	0.028	0.089

À noter en complément, que si l'isolation de façade passe de 100 à 200 mm, les valeurs de la dernière colonne du Tableau 12 (retrait de 10 mm et rejingot de 60 mm) augmentent toutes à 0.094 W/(m.K).

Si dans la configuration de la dernière colonne du Tableau 12, les 10 mm derrière l'appui de fenêtre sont remplis de béton au lieu d'isolant, les ponts thermiques augmentent respectivement à 0.129 / 0.130 / 0.133 / 0.140 W/(m.K). Cette variante revient à augmenter la largeur du rejingot à 70 mm sans changer la position globale de l'appui.

Conclusions

Toutes ces valeurs peuvent être comparées aux valeurs tabulées issues du Tableau du cas ITI.5.1.3 des Th-Bat ($\psi = 0.11$ W/(m.K) pour un mur en béton ou en maçonnerie courante).

En relatif, on peut en conclure que les écarts constatés au chapitre A2.2 entre les calculs CERIB et les valeurs du cas ITI.5.1.3 des Th-Bat peuvent s'expliquer par une différence d'hypothèses :

- sur la largeur du rejingot ;
- et/ou
- sur le positionnement du rejingot par rapport à la surface adiabatique de contact avec la menuiserie.

Dans l'absolu, un pont thermique d'appui de fenêtre peut donc devenir :

- non négligeable, si le dormant de la menuiserie, de largeur conventionnelle de 60 mm, n'est pas entièrement en contact avec l'isolation de façade ;
- important, si le dormant de la menuiserie se trouve au niveau d'un rejingot de grande largeur.

Index des figures

Figure 1 – Calcul du flux thermique avec appui de fenêtre	8
Figure 2 - Calcul du flux thermique sans appui de fenêtre	8
Figure 3 - Dimensions minimales du profil d'un appui de fenêtre figurant dans la norme NF P 98 052	9
Figure 4 - Pose en applique (Source : UFME).....	10
Figure 5 - Pose en feuillure (Source : UFME).....	10
Figure 6 - Pose en tunnel (Source : UFME).....	11
Figure 7 - Extrait des règles Th - Bat - Fascicule Ponts thermiques -	14
Figure 8 - Montage d'un appui de fenêtre pour pose en applique (ITI) et modèle géométrique TRISCO en 3D correspondant.....	21
Figure 9 - Pose en applique d'un appui de fenêtre de largeur 360 mm.....	23
Figure 10 - Modèles géométriques et courbes isothermes pour les modèles avec appuis de fenêtre de largeur 300mm et 360 mm	24
Figure 11 - Pose en applique d'un appui de fenêtre de différentes largeurs et différentes épaisseurs d'isolant derrière l'appui	25
Figure 12 - Modèles géométriques et courbes isothermes - Appuis de fenêtre de largeur 300, 360 et 400 mm - Maçonnerie courante et maçonnerie de type a.	26
Figure 13 - Pose en applique d'un appui de fenêtre de différentes largeurs et différentes épaisseurs de l'espace derrière l'appui.....	28
Figure 14 - Exemples d'équerres de renfort à bords tombés	31
Figure 15 - Modèle d'équerres pour ITI 100 mm (à gauche) et pour ITI 160 mm (à droite).....	32
Figure 16- Modèle TRISCO de la liaison mur/menuiserie : coupe verticale et plan 3D de la liaison (d'une longueur de 600 mm, pour tenir compte de l'espacement habituel entre 2 équerres)	33
Figure 17 - Modèle CERIB de pose en tunnel	52

Index des tableaux

Tableau 1 - Paramètres de l'étude	12
Tableau 2 - Coefficient (ψ) de transmission linéique (ponts thermiques) en partie courante d'un appui de fenêtre [W/(m.K)] - Pose en applique.....	16
Tableau 3 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] Pose en applique – Mortier d'arase épaisseur e_m 10, 15 et 20 mm et $\lambda = 1.30$ W/(m.K).....	19
Tableau 4 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] Pose en applique – Mortier d'arase épaisseur e_m 10, 15 et 20 mm et $\lambda = 0.54$ W/(m.K).....	20
Tableau 5 - Coefficient χ de transmission thermique ponctuelle pour un rejingot latéral d'appui de fenêtre (en W/K) – Pose en applique.....	22
Tableau 6 - Coefficient (ψ) de transmission linéique en partie courante d'un appui de fenêtre de largeur 300 mm et 360 mm (en W/(m.K))	24
Tableau 7 - Coefficient de ponts thermiques (ψ) en partie courante d'un appui de fenêtre de largeur 300 mm, 360 mm et 400 mm (en W/(m.K)).....	25
Tableau 8- Modèles géométriques, courbes isothermes et valeurs des ponts thermiques d'appui de fenêtre, pour différentes largeurs de l'espace (vide ou rempli d'isolant) derrière cet appui	30
Tableau 9 - Coefficient (ψ) de transmission linéique en partie courante d'un appui de fenêtre aligné et menuiserie au nu intérieur sur équerre (en W/(m.K)).....	34
Tableau 10 - Coefficient (ψ) de transmission linéique (ponts thermiques) en partie courante d'un appui de fenêtre [W/(m.K)] - Pose en feuillure.....	41
Tableau 11 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] Pose en feuillure – Mortier d'arase épaisseur e_m 10, 15 et 20 mm et $\lambda = 1.30$ W/(m.K).....	44

Tableau 12 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] Pose en feuillure – Mortier d’arase épaisseur e_m 10, 15 et 20 mm et $\lambda = 0.54$ W/(m.K).....	45
Tableau 13 - Coefficient (ψ) de transmission linéique (ponts thermiques) en partie courante d’un appui de fenêtre [W/(m.K)] - Pose en tunnel.....	47
Tableau 14 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] Pose en tunnel-Mortier d’arase épaisseur e_m 10, 15 et 20 mm et $\lambda = 1.30$ W/(m.K).....	50
Tableau 15 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] Pose en tunnel–Mortier d’arase épaisseur e_m 10, 15 et 20 mm et $\lambda = 0.54$ W/(m.K)	51
Tableau 16 - Coefficient ψ de transmission linéique (ponts thermiques) en appuis de fenêtre [W/(m.K)] Pose en tunnel – Impact de la largeur et du positionnement du rejingot.....	53

RAPPORT

ÉTUDES ET RECHERCHES

DÉVELOPPEMENT
DURABLE
EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

ALKISTIS PLESSIS-MOUTAFIDOU



/ Cerib - CS 10010
28233 Épernon cedex

/ 02 37 18 48 00
cerib@cerib.com

OPTIMISATION DES PONTS THERMIQUES EN APPUI DE FENÊTRE

L'étude traite des déperditions thermiques par les appuis de fenêtres et de la façon avec laquelle ces ponts thermiques sont caractérisés dans les règles Th-Bat.

Les coefficients de ponts thermiques (ψ) d'appui de fenêtres peuvent être très variables et potentiellement conséquents. Les règles Th-Bat fournissent des valeurs par défaut de ponts thermiques de menuiseries, qui ne reflètent pas toujours toute l'étendue des solutions existantes ou en cours de développement.

Dans un premier temps, des ponts thermiques (ψ) d'appuis sont calculés, pour différents types de pose, de murs et d'isolation de mur.

Ce travail est complété par des études visant à quantifier l'incidence de divers paramètres : influence de la largeur d'un appui, épaisseur de l'espace (vide ou rempli d'isolant) derrière l'appui, caractéristiques thermiques de l'isolant de façade, des caractéristiques thermiques du mortier d'appui, incidence des rejingots latéraux...

Le présent rapport contient les éléments techniques qui peuvent permettre aux fabricants d'appui de fenêtre de prescrire les solutions apportant la meilleure performance thermique.

Summary

The study deals with heat losses from window sills and how these thermal bridges are characterized in the Th-Bat rules.

The thermal bridging coefficients (ψ) of window sills can be very variable and potentially significant. Th-Bat rules provide default values for thermal bridges in joinery, which do not always reflect the full range of existing or developing solutions.

First, thermal bridges (ψ) of window sills are calculated, for different types of installation, walls and wall insulation.

This work is completed by studies aimed at quantifying the impact of various parameters: influence of the width of a window sill, thickness of the space (empty or filled with insulation) behind the window sill, thermal characteristics of the insulation of the facade, thermal characteristics of the window sill's mortar, incidence of side rejingots, etc.

This report contains the technical elements that can enable manufacturers of window sills to prescribe the solutions providing the best thermal performance.