



*Quantification des performances de
solutions pour la rénovation de châssis
à valeur historique en région bruxelloise*

Annexe 4 – Fiche solution détaillée #1

La maison des parlementaires



Partenaires



Subsidié par



Fiche solution n°1 : **La maison des parlementaires**

La maison des parlementaires (Bruxelles) envisage l'amélioration des fenêtres d'une aile entière du bâtiment (± 1000 fenêtres). Dans ce contexte, des prototypes de 4 solutions différentes ont été mis en œuvre et testés sur site (mêmes dimensions et mêmes orientations). Les différentes solutions envisagées sont décrites évaluées et comparées dans ce document en suivant la méthodologie développée dans le cadre du projet PERCHE.



1 STRUCTURE ET RÉSUMÉ DE LA FICHE

Cette fiche solution compare 7 scénarios entre eux. La section 2 décrit les caractéristiques techniques évaluées et les méthodes d'évaluation (tests in-situ, simulations numériques et fiches techniques fournies par le fabricant), ainsi que les critères clients considérés et comment leur évaluation est réalisée. La description des différents scénarios comparés, ainsi que les résultats individuels pour chacun d'eux, sont repris à la section 3. Les résultats généraux de la comparaison sont repris à la section 4, dont les conclusions principales sont :

- Aucune intervention ne réduit suffisamment la facture énergétique pour compenser le coût d'intervention. Parmi les interventions possible, remplacer le vitrage par un double vitrage performant est le moins cher sur 30 ans.
- Le risque d'inconfort est fortement réduit par la présence de joints d'étanchéité à l'air, quelle que soit l'intervention proposée (à condition que le joint d'étanchéité soit placé correctement).
- Le bilan carbone est fortement réduit pour toutes les interventions. Le meilleur résultat est obtenu pour la pose du double vitrage sous-vide.
- La valeur patrimoniale est globalement respectée pour l'ensemble des solutions. Le remplacement de la fenêtre complète représente malgré tout une perte par rapport au remplacement du vitrage uniquement.

Cette fiche inclut également des informations supplémentaires sur la ventilation (section 5.1), les performances acoustiques (section 5.2) et deux approches qualitatives : caméras acoustiques (section 5.3.1) et thermographie infrarouge (section 5.3.2).

2 DONNÉES ET SOURCES

Le Tableau 1 reprend l'ensemble des données nécessaires pour réaliser l'étude, ainsi que les sources choisies pour l'acquisition de ces données.

Tableau 1. Récapitulatif des données d'entrées nécessaires et des sources utilisées pour ce cas d'étude

Données d'entrée	Sources
Dimensions	Mesures sur site et informations fournies par l'architecte
Étanchéité à l'air (v_{50})	Mesures in-situ et tests antérieurs ¹ , exprimé par mètre de joint ouvrant
Coefficient de transmission thermique du cadre (U_f)	Simulations numériques via EN 10077:2
Coefficient de transmission thermique du vitrage (U_g)	Informations fournies par l'architecte ²
Coefficient de transmission linéique de l'intercalaire (ψ_g)	Valeurs par défauts de la norme EN 10077:1
Facteur solaire (g)	Données génériques de la fédération de l'industrie du verre ³
Coût d'investissement	Informations fournies par l'architecte

Le Tableau 2 reprend les critères clients utilisés pour l'analyse ainsi que les sous-critères qui sont intégrés dans chaque critère client.

Tableau 2. Récapitulatif des critères clients considérés et des sous-critères intégrés dans leur détermination

Critère client	Sous-critères
Coût (€)	Coût d'investissement (€) La facture énergétique sur 30 ans (€) ⁴
Bilan carbone (kgCO ₂ eq.)	Partie « matériaux » (kgCO ₂ eq.) ⁵ Partie « énergie » sur 30 ans (kgCO ₂ eq.) ⁶
Risque d'inconfort (%)	Inconfort à cause d'une surface froide (%) ⁷ Inconfort à cause d'un courant d'air (%) ⁸
Valeur patrimoniale	Qualité de facture (Score /5) Représentativité de l'élément (Score /5) Cohérence urbanistiques (Score /5) Authenticité de l'élément (Score /5)

¹ Les SC 0.1 et SC 1.2 sont déterminés sur base d'autres tests réalisés dans le projet.

² En l'absence de données pour la situation initiale, la valeur U_g a été définie à 2.9 W/(m².K).

³ <https://www.vgi-fiv.be/wp-content/uploads/2019/08/Un-regard-eclairé-sur-les-vitrages-belges-Juillet-2019.pdf>

⁴ Se base sur un calcul de consommation énergétique pour un prix de l'énergie de 0.89 €/kWh.

⁵ Inclut la mise en œuvre, production, transport et fin de vie de l'élément, et se base sur les valeurs génériques de l'outil TOTEM : <https://www.totem-building.be/>.

⁶ Même calcul de consommation énergétique que pour la facture, avec 0.202 kgCO₂eq./kWh.

⁷ Déterminé selon la norme NBN EN ISO 7730, section 6.5.

⁸ Déterminé selon la norme NBN EN ISO 7730, section 6.2. En admettant une vitesse d'air v_a proportionnelle à l'étanchéité à l'air v_{50} .

3 SCÉNARIOS COMPARÉS

3.1 SITUATION INITIALE

3.1.1 Sans joint d'étanchéité

La fenêtre existante est une fenêtre double ouvrant avec une imposte fixe. Le profil d'ouverture est de type « gueule-de-loup ». Les châssis datent de la fin du XIX^{ème} siècle et les vitrages sont des doubles vitrages datant des années 80. Les châssis semblent majoritairement en bon état (aucune dégradation n'est constatée au niveau des traverses et des montants). Les châssis ne disposent d'aucun joint d'étanchéité, et les occupants font part d'un inconfort important (courant d'air).



Dimensions

Hauteur totale : 3.45 m
Largeur totale : 1.63 m
Ratio de vitrage : 59.6%
Longueur d'intercalaire : 15.0 m
Orientation : Ouest

Caractéristiques techniques

U_f	1.80	W/(m ² K)
U_g	3.00	W/(m ² K)
g	77	%
ψ_g	0.06	W/(mK)
v_{50}	14.0	m ³ /(hm)

Critères client

Coût total estimé sur une durée de 30 ans	2295 €
Bilan carbone total estimé sur une durée de 30 ans	4699 kg CO ₂ eq.
Risque d'inconfort	71.2 %
Perte patrimoniale de l'élément	0.0 -

3.1.2 Avec joint d'étanchéité sur mesure moulé

Parmi les menuiseries existantes, certaines disposent déjà d'un joint moulé sur mesure réalisé il y a quelques années. Cette solution a pour but d'empêcher les passages d'air, et d'améliorer ainsi le confort et de réduire la consommation énergétique.



Caractéristiques techniques

U_f	1.80	W/(m²K)
U_g	3.00	W/(m²K)
g	77	%
φ_l	0.06	W/(mK)
v_{50}	1.5	m³/(hm)

Critères client

Coût total	2084 €
Bilan carbone	4267 kg CO ₂ eq.
Risque d'inconfort	1.6 %
Perte patrimoniale	0.0 -

3.2 SCÉNARIO 1 – REMPLACEMENT VITRAGE ET POSE DE JOINT

3.2.1 Double vitrage performant, joint mal posé

Le premier scénario d'intervention concerne le remplacement du vitrage existant (double vitrage des années 1980) par un double vitrage performant dans le châssis existant, ainsi que la réalisation d'une rainure pour la pose d'un joint souple au niveau de la traverse basse, au niveau des montants (noix/contre-noix) et du profil de la gueule de loup, pour l'amélioration de l'étanchéité à l'air. Lors du test, il est constaté que le joint en traverse haute est manquant (défaut dans la mise en œuvre).



Caractéristiques techniques

U_f	1.80	W/(m²K)
U_g	1.00	W/(m²K)
g	62	%
φ_l	0.06	W/(mK)
v_{50}	7.2	m³/(hm)

Critères client

Coût total	5472 €
Bilan carbone	2290 kg CO ₂ eq.
Risque d'inconfort	29.4 %
Perte patrimoniale	0.10 -

3.2.2 Double vitrage performant, joint bien posé

Une première variante du scénario est proposée en faisant l'hypothèse que le joint est posé correctement. La valeur d'étanchéité à l'air choisie est celle d'une autre variante (voir vitrage sous-vide, ci-après) ayant été mesurée avec un joint identique mais correctement posé.

Caractéristiques techniques			Critères client	
U_f	1.80	W/(m²K)	Coût total	5397 €
U_g	1.00	W/(m²K)	Bilan carbone	2137 kg CO ₂ eq.
g	62	%	Risque d'inconfort	5.3 %
φ_l	0.06	W/(mK)	Perte patrimoniale	0.10 -
v_{50}	2.3	m³/(hm)		

3.2.3 Vitrage sous-vide

Une seconde variante est testée, dans laquelle un double vitrage sous-vide est placé au lieu d'un double vitrage performant. Celui-ci est nettement moins épais et possède de meilleures performances. Il représente un coût au m² plus important.

Caractéristiques techniques			Critères client	
U_f	1.80	W/(m²K)	Coût total	7392 €
U_g	0.7	W/(m²K)	Bilan carbone	1732 kg CO ₂ eq.
g	62	%	Risque d'inconfort	5.2 %
φ_l	0.06	W/(mK)	Perte patrimoniale	0.10 -
v_{50}	2.3	m³/(hm²)		

3.3 SCÉNARIO 2 – REPRODUCTION À L'IDENTIQUE

3.3.1 Profil Gueule de loup

Le deuxième scénario d'intervention concerne le remplacement complet de la fenêtre par une nouvelle fenêtre reproduisant la fenêtre existante à l'identique au niveau des dimensions extérieures et des matériaux. Dans cette première variante de remplacement, la quincaillerie et le profil de fermeture à gueule de loup est également conservé.

Caractéristiques techniques			Critères client	
U_f	1.67	W/(m²K)	Coût total	10491 €
U_g	1.00	W/(m²K)	Bilan carbone	2359 kg CO ₂ eq.
g	62	%	Risque d'inconfort	0.3 %
φ_l	0.06	W/(mK)	Perte patrimoniale	0.20 -
v_{50}	1.2	m³/(hm)		

3.3.2 Profil triple frappe

Une seconde variante est testée pour le deuxième scénario, dans laquelle la quincaillerie est plus récente et le profil de fermeture est un profil triple frappe à la place d'un profil à gueule de Loup.



Caractéristiques techniques

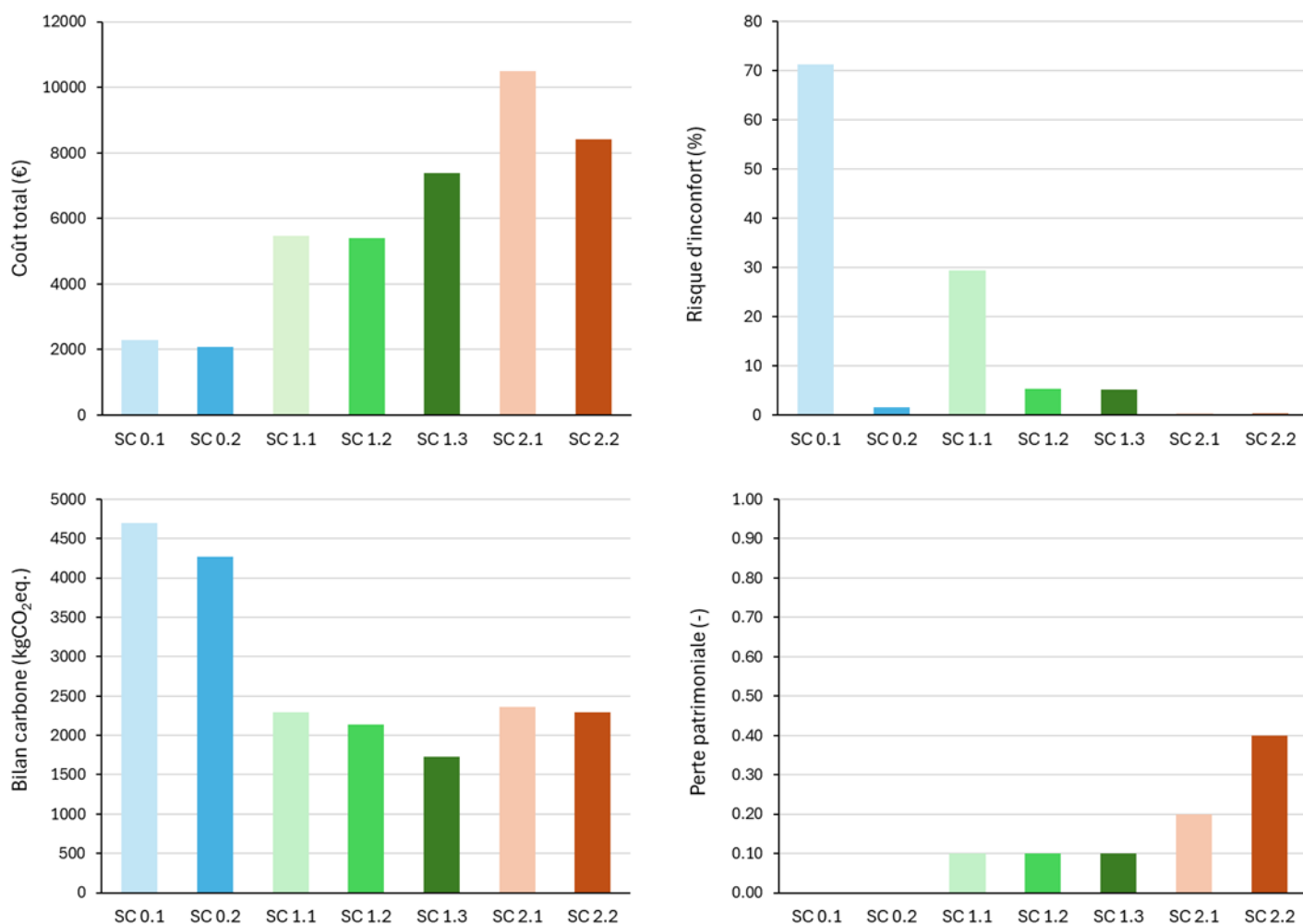
U_f	1.60	W/(m²K)
U_g	1.00	W/(m²K)
g	62	%
φ_l	0.06	W/(mK)
v_{50}	1.2	m³/(hm)

Critères client

Coût total	8418 €
Bilan carbone	2294 kg CO ₂ eq.
Risque d'inconfort	0.3 %
Perte patrimoniale	0.40 -

4 COMPARAISON GÉNÉRALE

Les résultats obtenus dans la section précédente sont représentés graphiquement ci-après pour l'ensemble des solutions :



Légende

- SC 0.1 – Situation initiale, sans joint d'étanchéité
- SC 0.2 – Situation initiale, avec joint silicone moulé sur mesure
- SC 1.1 – Remplacement par un double vitrage performant avec joint (mal posé)
- SC 1.2 – Remplacement par un double vitrage performant avec joint (bien posé)
- SC 1.3 – Remplacement par un vitrage sous vide avec joint (bien posé)
- SC 2.1 – Fenêtre neuve à l'identique, avec profil gueule-de-loup
- SC 2.2 – Fenêtre neuve à l'identique, avec profil triple frappe

Les conclusions principales qui peuvent être déduites de ces graphiques sont :

- Aucune intervention ne réduit suffisamment la facture énergétique pour compenser le coût d'intervention. Parmi les interventions possibles, remplacer le vitrage par un double vitrage performant (SC 1.2) sont les moins chères sur 30 ans.
- Le risque d'inconfort thermique est fortement réduit par la présence de joints d'étanchéité à l'air, quelle que soit l'intervention proposée (à condition que le joint d'étanchéité soit placé correctement).
- Le bilan carbone est fortement réduit pour toutes les interventions. Le meilleur résultat est obtenu pour la pose du double vitrage sous-vide (SC 1.3).
- La valeur patrimoniale est globalement respectée pour l'ensemble des solutions. Le remplacement de la fenêtre complète représente malgré tout une perte par rapport au remplacement du vitrage uniquement, en particulier si la quincaillerie n'est pas reproduite également (SC 2.2).

5 REMARQUES SUPPLÉMENTAIRES

5.1 ÉTANCHÉITÉ À L'AIR ET VENTILATION

On observe que les valeurs d'étanchéité à l'air sont sensiblement similaires entre des solutions neuves ou les interventions sur l'existant (pose de nouveaux joints d'étanchéité, ou joint moulé sur-mesure), à condition que l'intervention soit bien réalisée. Toutes représentent une amélioration considérable par rapport à la situation existante sans intervention.

Cependant il est important de noter que l'étanchéité à l'air et la ventilation sont indissociables. Une réduction des fuites d'air de $\sim 100 \text{ m}^3/\text{h}$ à 50 Pa (ce qui est le cas ici) implique également une réduction importante de la ventilation. On peut considérer que cela correspond à une réduction d'un ordre de grandeur de $6 \text{ m}^3/\text{h}$ des débits de ventilation en conditions normales. Comme point de comparaison, on conseille un débit de ventilation de $22 \text{ m}^3/\text{h}$ par personne pour les bureaux.

5.2 ACOUSTIQUE

L'inconfort acoustique ne suit pas la même règle que l'inconfort thermique : la performance acoustique maximale n'est pas forcément la meilleure. Ceci est lié au fait que les bruits venant de l'extérieurs sont généralement plus supportables que les bruits venant des espaces adjacents (ici des bureaux). Par conséquent, il n'est pas souhaitable d'avoir une isolation acoustique trop importante, ce qui renforcerait l'importance des bruits intérieurs. Dès lors, on considérera qu'une solution « passe » ou « rate » en fonction du fait que le niveau d'affaiblissement sonore nécessaire est atteint ou non.

Le Tableau 3 reprend les valeurs minimales et les valeurs obtenues pour le niveau DA_{tr} lors de tests acoustiques réalisés sur 4 des 6 scénarios.

Tableau 3. Valeurs minimales et résultats des mesures pour le niveau d'affaiblissement sonore DA_{tr}

	DA_{tr}
Valeurs minimales côté cour	28 dB
Valeurs minimales côté rue	33 dB
SC 0.2 – Cas initial avec joint moulé	32 dB
SC 1.2 – Remplacement par un double vitrage avec joint bien posé	34 dB
SC 1.3 – Remplacement par un vitrage sous-vide avec un joint bien posé	34 dB
SC 2.1 – Fenêtre neuve avec un profil gueule de loup	35 dB

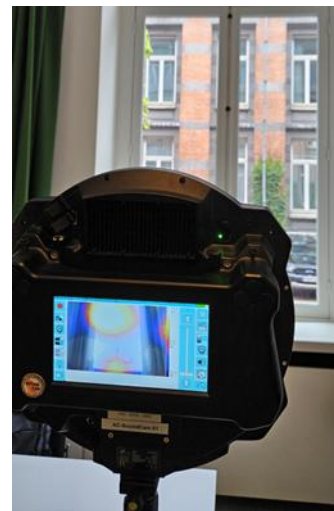
On constate que toutes les solutions testées conviennent d'un point de vue acoustique (orientation côté cour). Seules les situations existantes sans joints, ainsi que les situations existantes avec joint moulé et côté rue pourraient représenter un inconfort acoustique.

5.3 APPROCHE QUALITATIVE

5.3.1 Caméra acoustique

Dans l'objectif de visualiser les fuites d'air au niveau des châssis, une caméra acoustique a été utilisée. Le principe est qu'une source sonore est placée à l'extérieur du bâtiment, en face

de la partie de façade testée (dans l'axe de la fenêtre concernée). La caméra acoustique est munie de 64 microphones qui enregistrent et localisent les sons



Les images obtenues permettent d'identifier les fuites principalement au niveau du profil central à la hauteur des traverses hautes et basses. Il permet également d'identifier l'impact acoustique d'une quincaillerie mal fermée :

Visualisation des fuites acoustiques avec la quincaillerie bien refermée :



Visualisation des fuites acoustiques avec la quincaillerie mal refermée :

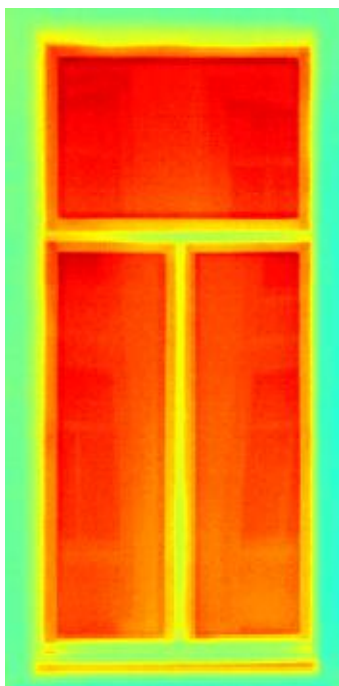


5.3.2 Thermographie Infrarouge

L'inspection thermique a été réalisée à l'aide d'une caméra thermique montée sur un drone. Elle a pour but de détecter les anomalies thermiques en comparant les différentes solutions entre elles. Cette thermographie permet d'identifier :

- la nette amélioration de la performance des vitrages pour les différentes solutions,
- la meilleure gestion des contours des vitrages (intercalaires et connexion avec le châssis) dans le cas des menuiseries neuves.

SC 0.2 – Fenêtre de référence : cas existant
avec joint moulé



SC 1.1 – maintien du châssis et pose d'un
double vitrage



SC 2.1 – remplacement complet de la fenêtre
avec un profil gueule de loup



SC 1.3 – maintien du châssis et pose d'un
vitrage sous-vide

