



HAL
open science

Inertie des isolants : mythe ou réalité ?

Lisa Combes, Edouard Walther

► **To cite this version:**

Lisa Combes, Edouard Walther. Inertie des isolants : mythe ou réalité ?. IBPSA France, La Rochelle, France, mai 2024, May 2024, La Rochelle, France. hal-04697074

HAL Id: hal-04697074

<https://hal.science/hal-04697074v1>

Submitted on 13 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Inertie des isolants : mythe ou réalité ?

Lisa Combes^{1,*}, Edouard Walther^{1,2}

¹ INSA Strasbourg, 24 Boulevard de la Victoire - 67000 Strasbourg

² Université de Strasbourg, INSA Strasbourg, CNRS, ICube Laboratory UMR 7357, Strasbourg, France

*lisa.combes@insa-strasbourg.fr

RESUME. Les documentations commerciales de certains isolants vantent les mérites du déphasage et de l'inertie thermique de tels matériaux (e.g. la laine de chanvre ou la laine de bois). Le travail présenté ici vise à établir l'impact de la capacité thermique plus importante de ces matériaux sur l'inertie globale d'un bâti. Pour ce faire, une comparaison quantitative entre différents isolants disponibles est présentée, tout en tenant compte d'autres paramètres liés aux systèmes constructifs tels que le taux d'infiltration et l'inertie des autres composants du bâti, pour deux structures typiques. L'étude montre que les isolants dits biosourcés n'engendrent pas de températures plus basses en période chaude. En revanche l'analyse du cycle de vie menée en conclusion de l'étude montre un net avantage par rapport aux solutions traditionnelles.

MOTS-CLÉS : inertie, isolant biosourcé

ABSTRACT. Sales documentation of some bio-based insulation claim the advantage of thermal inertia and delay of such materials, such as wood and hemp wool insulation. The present work deals with the truthfulness of this claim and aims at characterizing the impact of a higher thermal capacity on the indoor thermal comfort. Retrofitting scenarios of typical heritage buildings of Alsace serves as a base for a quantitative comparison between different bio-based and classical insulation materials. The study shows that bio-based insulation does not lead to lower indoor temperatures during the hot season. Regarding the carbon life cycle analysis however, they exhibit a large advantage compared to traditional insulation materials.

KEYWORDS: inertia, bio-based insulation

1. INTRODUCTION

Les documentations commerciales de nombreux fabricants de matériaux isolants biosourcés ou classiques vantent le “déphasage” de leurs produits, généralement en quantifiant cette grandeur à l'aide d'une durée en heures. Sans être à charge contre ce type d'isolation, ce travail vise à évaluer la réalité de l'argument en établissant une base de comparaison quantitative.

S'agissant de déphasage, on peut considérer soit le flux transmis à travers la paroi depuis l'extérieur, soit la capacité de la couche intérieure à limiter la rapidité de l'échauffement lorsqu'il est soumis à un flux, représentée par son inertie thermique et son effusivité (Chahwane, 2011). Ces phénomènes sont également connus sous le nom d'inertie de transmission et d'inertie d'absorption (Izard, 2006).

Pour le cas du flux extérieur, un rapide calcul flux dans le cas 1D avec une paroi comportant 20 cm d'isolation extérieure et 20 cm de béton, soumise à une variation périodique des conditions limites en température et en flux montre que le déphasage existe mais n'a pas d'utilité pratique car l'amortissement

sur le flux transmis est très important. On ne détaille pas ici le calcul numérique dont les résultats sont représentés sur la Figure 1 et qui montre le flux solaire arrivant sur la paroi extérieure (courbe grise) ainsi que le flux transmis sur la paroi intérieure, qui est une sinusoïde d'amplitude 0.8 W/m^2 (courbe rouge), ce qui représente un amortissement d'un facteur ~ 100 . Ainsi le déphasage existe mais l'amortissement est tel qu'en pratique le flux transmis est négligeable dans ce cas.

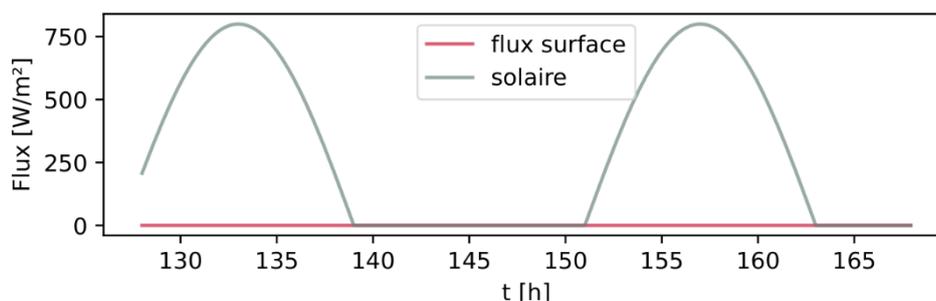


Figure 1 : Illustration du déphasage

L'épaisseur d'isolant intérieur mise en œuvre rend l'inertie par transmission négligeable devant l'inertie par absorption. Il s'agit donc de savoir si les biosourcés occasionnent un déphasage plus important vis-à-vis du flux provenant de l'intérieur, charges internes ou flux solaires incidents. On s'intéresse ici au cas de la rénovation du bâti traditionnel alsacien et aux structures en voile béton. Après une étude bibliographique fournie qui aura servi à déterminer les caractéristiques des isolants biosourcés choisis, notamment en termes de masse volumique et de capacité thermique massique, des simulations thermiques dynamiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Pléiades-COMFIE afin de quantifier l'inconfort pour plusieurs variantes constructives représentatives du bâti existant.

2. CONDITIONS D'ETUDE

2.1. DESCRIPTION DES CAS D'ETUDE ET INDICATEURS

Afin de se positionner dans des cas représentatifs du bâti existant et dans une optique de rénovation, on se base sur deux cas typiques de structure (CEREMA et Atelier ODM, 2014) :

- Structure « légère » : Pan de bois et remplissage en torchis, bâti ancien (alsacien). Composition (extérieur vers intérieur) : enduit chaux 2 cm, pan de bois (chêne radial) et torchis 15 cm, enduit plâtre 2 cm
- Structure « lourde » : Voile béton, bâti moderne. Composition (extérieur vers intérieur) : enduit ciment 2 cm, voile béton 20 cm, enduit plâtre 2 cm

Les épaisseurs de maçonneries ont été établies à partir de confrontation de sources sur le bâti local de la région Grand Est (DREAL, 2018). Les compositions des différentes parois sont indiquées dans le Tableau 1.

TYPE DE PAROI	BATI ANCIEN	BATI MODERNE
Plancher bas	Non modélisé (adiabatique)	Non modélisé (adiabatique)
Plancher intermédiaire	Bois massif – 2,5 cm Hourdis briques pleines – 15 cm	Bois léger – 2,5 cm Béton armé – 15 cm

Plancher de combles	Ouate de cellulose – 21 cm Hourdis briques pleines – 15 cm	Ouate de cellulose – 21 cm Béton armé – 15 cm
Toiture	Non modélisé (adiabatique)	Non modélisé (adiabatique)
Refend	Torchis – 15 cm	Parpaings – 20 cm
Cloisons distributives	Torchis – 10 cm	BA 13 – 0,125 cm Lame d'air – 5 cm BA 13 – 0,125 cm
Vitrages	Double vitrage	Double vitrage

Tableau 1 : récapitulatif des propriétés des parois

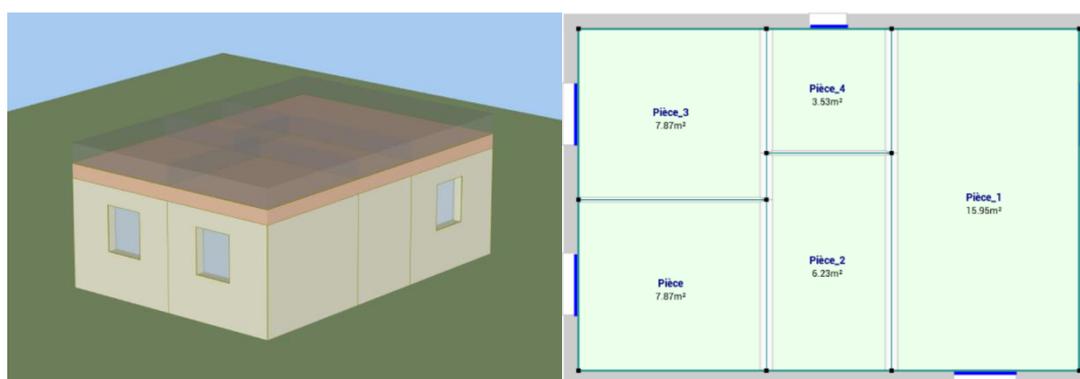


Figure 2 : Vue en perspective du modèle Pléiades (gauche) et plan des zones étudiées (droite)

Le renouvellement d'air est considéré de manière simplifiée : on suppose $\tau = 0.6$ [vol/h] en continu de mi-septembre sauf durant les périodes d'inoccupation du logement dans la semaine en journée où $\tau = 0.2$ [vol/h]. Ces valeurs supposent une ventilation hygiénique et des infiltrations maîtrisées, par exemple après avoir suivi une démarche de qualité de la perméabilité à l'air. Une variante de simulation consiste en l'ajout d'un scénario d'occultation durant les heures chaude de la journée en été (70% en journée).

Les épaisseurs des isolants ont été déterminées pour atteindre les valeurs de résistances thermiques « R » minimales imposées par la Prime CCEE¹ et le Label BBC rénovation résidentielle 2024 (JORF, 2023) pour une isolation thermique par l'intérieur (ITI), à savoir $R \geq 3,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (les conductivités thermiques et les épaisseurs des isolants sont données dans le Tableau 2). L'hypothèse a été faite que l'isolant permet à lui seul d'atteindre cette valeur minimale.

En termes de conditions limites météorologiques, on se base sur un climat futur à l'horizon 2100 avec le fichier de la ville de Nancy et le scénario RCP 4.5 issu du logiciel Meteonorm. On utilisera les degrés-heures d'inconfort comme indicateur de comparaison des résultats entre variantes, ainsi que des comparaisons des maxima de températures.

2.2. PROPRIETES DES ISOLANTS BIOSOURCES

Si les tables de la réglementation thermique (RT, 2005) donnent les propriétés thermophysiques des matériaux de construction usuels, il est souvent délicat de trouver une valeur consolidée pour les matériaux qui nous intéressent ici, notamment du fait de leur hygroscopicité marquée qui modifie la valeur de la capacité thermique massique et de la masse volumique. La détermination des propriétés des

¹<https://www.ecologie.gouv.fr/coup-pouce-renovation-dampneur-des-maisons-et-appartements-individuels>

isolants biosourcés a donc été réalisée en croisant plusieurs sources, afin de déterminer une valeur consolidée de chaque paramètre notamment avec la très complète (Fraunhofer IBP, 2024), la documentation du logiciel WUFI, les résultats issus de (Hygroba, 2013) et (Moya, 2018).

Isolant	λ [W/(m.K)]	ρ [kg/m ³]	C_p [J/(kg.K)]	e pour $R \geq 3.7 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}$ [cm]
Laine de bois	0,038	60	2100	0,145
Laine de chanvre	0,04	40	1800	0,140
Laine de mouton	0,03897	20	1650	0,145
Ouate de cellulose	0,042	55	2544	0,160
Laine de coton	0,039	20	1600	0,145
Béton de chanvre	0,0796	325	1600	0,300
Terre-chènevotte	0,0893	319	1500	0,330
<i>Laine de roche</i>	0,035	36	1030	<i>0,130</i>
<i>Laine de verre</i>	0,032	30	840	<i>0,120</i>

Tableau 2 : Caractéristiques utilisées pour les isolants évalués

Les courbes de température des variantes constructives sont données sur les Figures 1 et 2 respectivement pour le voile béton et le pan de bois. Elles présentent l'évolution de la température de la zone durant la semaine la plus chaude, du 13 au 20 août. L'analyse du graphique montre que :

- L'ordre de grandeur des températures atteintes dans les cas du voile béton et du pan de bois non isolés est le même, avec toutefois ~ 1 K d'écart pour le voile béton.
- Les variantes d'ITI permettent toutes d'abaisser le niveau de température par rapport à la situation non isolée.
- On constate de plus qu'un scénario d'occultation, représenté en pointillés permet d'abaisser les niveaux de température atteints.

Les courbes ont été regroupées car leur degré de similarité ne permet pas de discerner les variantes constructives ainsi deux types « ITI 1 » et « ITI 2 » se dégagent :

- L'appellation « ITI 1 » regroupe les isolants suivants : laine de bois, laine de chanvre, laine de mouton, ouate de cellulose en vrac, laine de coton, laine de roche et laine de verre. On constate que les températures suivent une évolution quasi-identique.
- L'appellation « ITI 2 » regroupe le béton de chanvre et le mélange terre-chènevotte, qui présentent 1 à 2 [K] d'écart avec le groupe ITI 1 et montrent donc un meilleur comportement en période estivale.

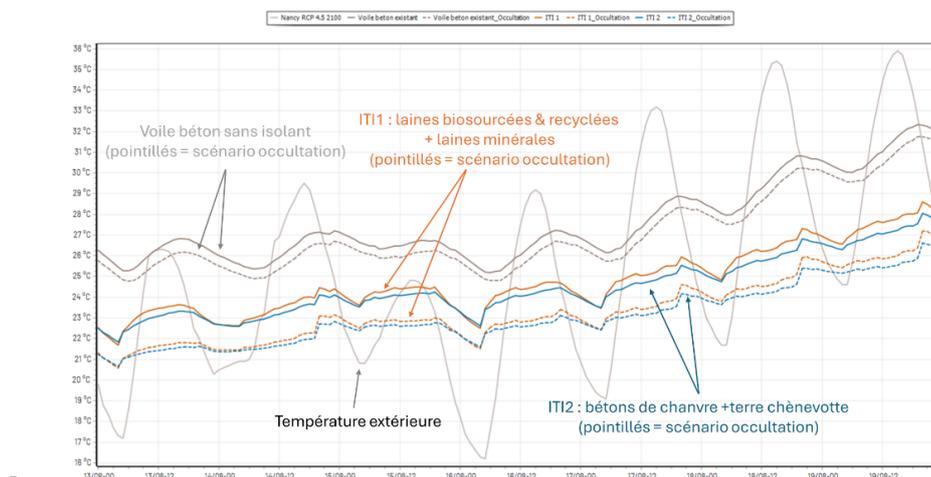


Figure 1 : Voile béton - Températures intérieures durant la semaine la plus chaude (13-20 août)

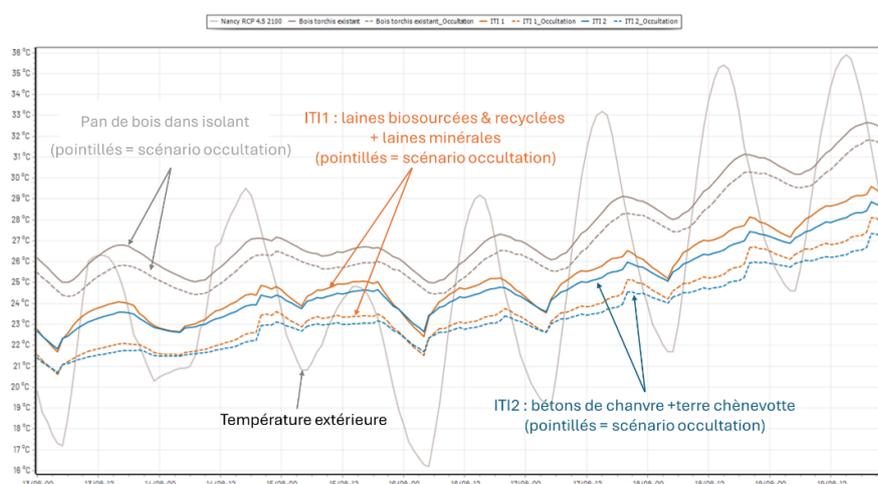


Figure 2 : Pan de bois, remplissage torchis - Températures intérieures durant la semaine la plus chaude (13-20 août)

2.3. RESULTATS QUANTITATIFS

La comparaison en termes de degrés-heures d'inconfort (somme des écarts positifs entre l'intérieur et 27°C) est résumée dans la Figure 3 qui suit pour les deux variantes de structure, avec un scénario de ventilation de 0.6 vol/h constant durant les périodes d'occupation, sans occultation des vitrages. On constate que le voile béton présente globalement un niveau d'inconfort plus faible que la structure en pan de bois-torchis. Le comportement des isolants biosourcés (laine de chanvre, de bois, de mouton, de coton, ouate de cellulose) est similaire aux isolants classiques (laine de verre, de roche) : les résultats ne montrent pas de différence en termes d'inconfort d'été. Le béton de chanvre et de terre-chènevotte sont quant à eux plus lourds et présentent un nombre de degrés-heures légèrement moins élevés avec ~150 K.h de moins pour environ 2300 K.h d'inconfort pour les autres isolants, soit ~6% de moins.

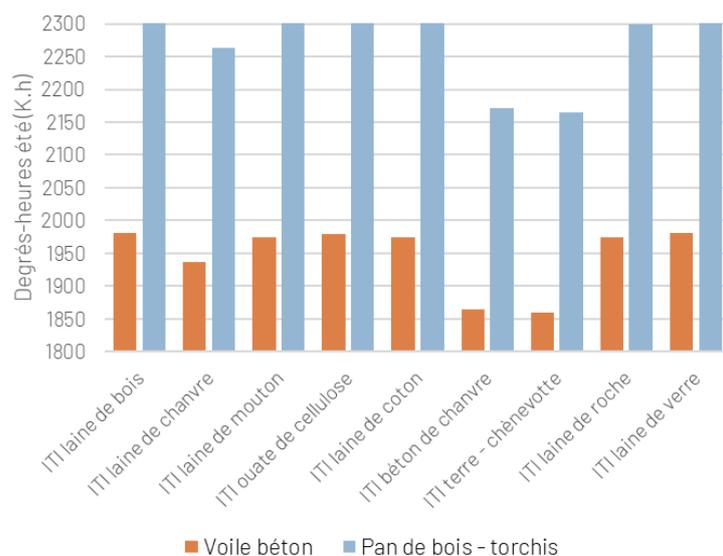


Figure 3 : Degrés-heures par variante d'ITI pour le voile béton et le pan de bois – Scénario 0,6 vol/h sans occultation.

L'ajout du scénario d'occultation permet de diviser par environ quatre le nombre de degrés-heure d'inconfort, comme l'indique la Figure 4. On constate également que le voile béton est moins inconfortable que le pan de bois-torchis. Les variantes d'ITI classiques montrent le même niveau d'inconfort que les biosourcées, à l'exception du béton de chanvre et de la terre chènevotte.

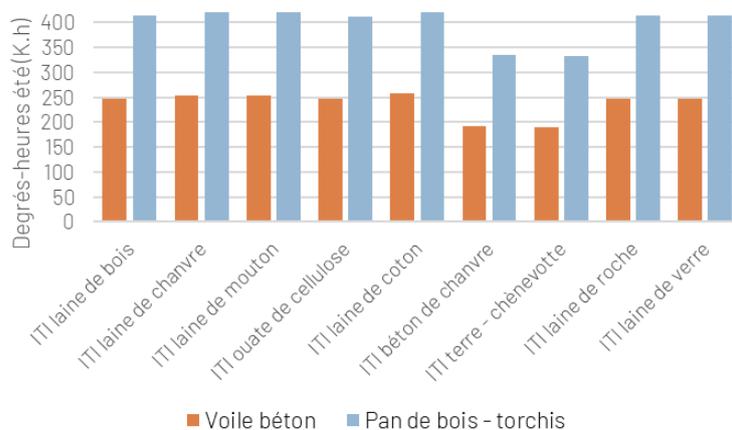


Figure 4 : Degrés heures par variante d'ITI pour le voile béton et le pan de bois – Scénario 0,6 vol/h avec occultation.

Ainsi les isolants biosourcés présentent le même degré d'inconfort que les isolants classiques lorsqu'ils sont sous forme de laine et on ne distingue pas de comportement particulier.

Il est à noter que d'autres variantes ont été testées, notamment avec de la surventilation nocturne estivale et permettent d'atteindre des valeurs négligeables de degrés-heures d'inconfort : ainsi la rénovation en ITI n'est pas gage de surchauffe.

Si l'on juge souhaitable de faire le lien entre paramètres physiques des isolants et performance pour le confort d'été, il peut être utile de comparer les résultats obtenus dans cette étude avec l'effusivité de l'isolant utilisé. La Figure 5 met en relation l'effusivité $e = \sqrt{\lambda \rho C_p}$ du matériau isolant et le nombre de degrés-heures d'inconfort. On constate qu'il n'est pas possible de dissocier l'inertie thermique et la

conductivité et d'autre part que les isolants biosourcés ont un comportement similaire aux isolants classiques, à l'exception des bétons de chanvre et de terre-chènevotte.

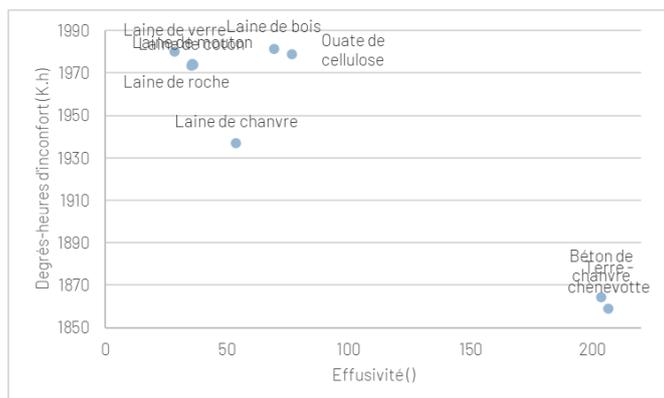


Figure 5 : Relation entre l'effusivité de l'isolant et degrés-heure d'inconfort pour les ITI étudiées.

2.4. UN MOT SUR L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV)

Afin de comparer les différentes d'ITI sur le plan de l'ACV, les hypothèses suivantes ont été faites :

- Une paroi de dimensions 2.5 m × 2.45 m en hauteur a été choisie. Elle permet de conserver un nombre fixe de montants pour la mise en place des systèmes d'ITI.

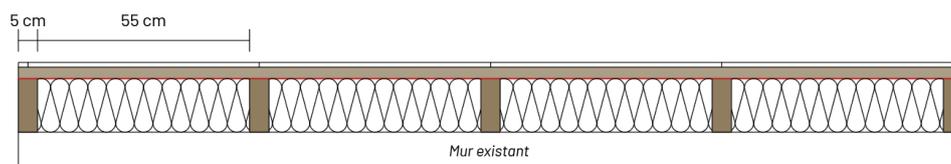


Figure 6 : Croquis de la trame choisie pour le cas des montants en bois

- Concernant les montants on se conforme aux usages de mise en œuvre. Des montants en bois sont utilisés pour les isolants biosourcés tandis qu'une ossature métallique sert à la fixation des laines de verre et de roche.
- Les FDES des fabricants ont servi à déterminer le contenu carbone. Lorsqu'une épaisseur n'était pas couverte par une FDES, on a procédé à une règle de proportionnalité à défaut, ainsi cette analyse ne revêt pas un caractère réglementaire. La laine de mouton n'a pas été étudiée car seule la donnée environnementale par défaut (DED) était disponible et sa valeur pénalisante ne permet pas de mener de comparaison avec fiabilité.

Le détail des calculs est accessible en ligne dans (Combes, 2024). La Figure 7 montre l'impact carbone de chaque système constructif. On notera que les deux bétons dits de chanvre sont en première et dernière position en matière d'impact carbone, avec le même ordre de grandeur en positif et en négatif (~250 kg_{CO2}/trame). L'usage d'un liant à partir de chaux engendre un bilan carbone important et la conductivité plus élevée de tels isolants implique d'utiliser une quantité de matière supérieure pour obtenir un R de paroi équivalent. Le béton « terre-chènevotte » a, quant à lui, l'impact carbone le plus bas (sous les hypothèses d'utilisation de terre et chènevotte locales) et présente ainsi un intérêt certain du fait de sa meilleure performance en été. Les laines de verre et laine de roche atteignent ~100 kg_{CO2}/trame, tandis que les autres isolants biosourcés sont plus intéressants sur le plan ACV.

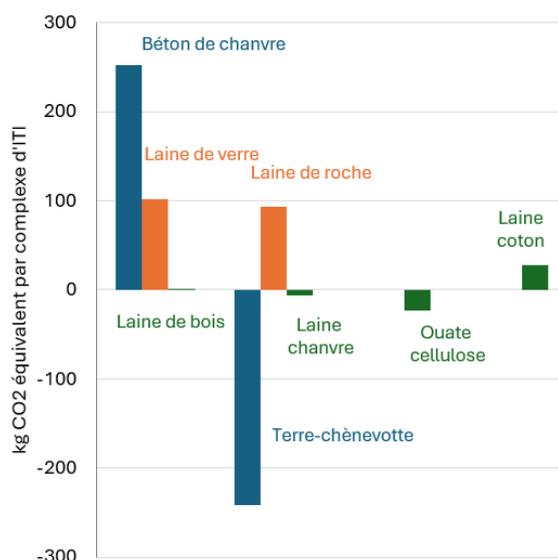


Figure 7 : Comparaison de l'impact carbone des complexes d'ITI pour une trame de $2.45 \times 2.5 \text{ m}^2$

3. CONCLUSION

L'étude menée ici traite d'un comparatif du niveau de confort estival dans le cadre de la rénovation en isolation thermique intérieure pour plusieurs variantes constructives avec des matériaux classiques et biosourcés, en se basant sur des cas représentatifs du bâti ancien alsacien. Ces travaux montrent qu'il n'y a d'écart remarquable entre isolants classiques et biosourcés ni sur le « déphasage » ni sur l'inconfort d'été, hormis pour les bétons de chanvre et béton de terre-chênevotte. D'autre part, la rénovation avec de l'ITI permet d'atteindre des niveaux acceptables de confort durant l'été.

Une analyse du cycle de vie en complément de l'étude thermique montre des disparités importantes selon le type d'isolant choisi : l'impact de la chaux comme liant dans le béton de chanvre est particulièrement élevé, tandis que les autres biosourcés sont plus performants que les isolants classiques.

L'étude a montré que le voile béton et la structure en pan de bois avaient un comportement relativement similaire pour le cas de base sans isolation (voir les courbes de températures intérieures Figures 1 et 2). Il serait cependant intéressant de mener un complément d'étude avec une structure plus « lourde » sur le plan de l'inertie thermique afin de consolider les résultats obtenus.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la DREAL Grand-Est pour leur contribution à ce travail, effectué dans le cadre du projet de fin d'étude de L. Combes à la DREAL Grand Est pour le compte du Collectif Biosourcés Grand Est ainsi que D. Burger et B. Flament de l'INSA de Strasbourg pour leur encadrement et conseils sur la structure de l'article.

BIBLIOGRAPHIE

- CEREMA et Atelier ODM. (2014). *Habitat ancien en Alsace*. Récupéré sur <https://www.culture.gouv.fr/Regions/DRAC-Grand-Est/aides/fiches-conseils-udap/Bas-Rhin-et-Haut-Rhin/Etude-Habitat-ancien-en-Alsace-amelioration-energique-et-preservation-du-patrimoine>
- Chahwane, L. (2011). *Valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments*. Université de Grenoble.

- Combes, L. (2024). *Quels outils pédagogiques pour permettre de développer les solutions biosourcées dans le bâtiment ?* INSA de Strasbourg.
- DREAL. (2018). *Habitat ancien en Alsace : amélioration énergétique et préservation du patrimoine.*
- Fraunhofer IBP. (2024). *Material Datensammlung für die energetische Altbausanierung.* Récupéré sur MASEA geprüfte Datenbank: <https://www.masea-ensan.de>
- Hygroba. (2013). *HYGROBA : Etude de la réhabilitation hygrothermique des parois anciennes.* Récupéré sur <https://www.rehabilitation-bati-ancien.fr/espace-documentaire/hygroba-etude-la-rehabilitation-hygrothermique-des-parois-anciennes>
- Izard, J. (2006). *L'inertie thermique dans le bâtiment.* Envirobat-Méditerranée.
- JORF. (2023, octobre 3). BBC rénovation résidentiel. *Article 2 de l'Arrêté du 3 octobre 2023 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label prévu à l'article R. 171-7 du code de la construction et de l'habitation.* Journal officiel de la République Française n°0237.
- Moya, J.-P. (2018). *Isolation thermique durable du bâti ancien.* Le Moniteur Editions.
- RT. (2005). *Règles Th-U Fascicule 2/5 Détermination des caractéristiques thermiques « utiles » des matériaux.*