



Sujet de thèse

« *Approche environnementale de la requalification d'un bâtiment industriel – Interactions entre les matériaux issus de l'économie circulaire mis en œuvre, l'enveloppe existante et l'optimisation du pilotage énergétique du bâtiment* »

LGCgE – Université d'Artois

Faculté des Sciences Appliquées, rue Gérard Philipe, 62400 Béthune, France

Direction de thèse : Emmanuel Antczak (50%), Didier Defer (50%)

Co-encadrement : Pierre Tittlein (MCF), Franck Brachelet (IGR)

Financement : 50% Région Hauts de France – 50% Université d'Artois

Contacts : emmanuel.antczak@univ-artois.fr; didier.defer@univ-artois.fr; pierre.tittlein@univ-artois.fr; franck.brachelet@univ-artois.fr

Candidature : [cliquez ici](#)

Résumé du sujet de thèse

Par leur histoire industrielle et économique riche, les départements du Nord et du Pas-de-Calais ont vu se développer de nombreuses zones industrielles et commerciales. Certaines ont mieux vécu que d'autres, elles sont l'image de l'évolution économique de notre région, fluctuante dans le temps. On s'intéresse dans ce projet aux bâtiments commerciaux qui ont été abandonnés puis cédés et qui offrent des possibilités de requalification intéressantes grâce à leur surface importante et leur enveloppe existante permettant l'aménagement de locaux. La politique actuelle liée à la décarbonation des bâtiments veut que l'on favorise l'économie circulaire, le réemploi des matériaux, l'intégration de matériaux bio-sourcés, l'utilisation de systèmes thermiques utilisant les énergies renouvelables, l'optimisation de la gestion énergétique des bâtiments... La difficulté réside dans la combinaison efficace de ces différentes exigences. L'étude proposée concerne un ancien bâtiment commercial situé à Noeux-les-Mines (62290), acquis par l'association Noeux-environnement qui, après réhabilitation, y installera ses bureaux ainsi que des zones d'accueil du public pour la formation et la réinsertion sociale. Une instrumentation du bâtiment sera réalisée pour un suivi dans le temps des consommations énergétiques, du fonctionnement des systèmes thermiques, du comportement hygrothermique des parois et du confort de l'ambiance. Un modèle numérique de comportement sera développé afin de le comparer avec les mesures effectuées, fortement dépendantes du comportement des usagers, l'objectif étant d'optimiser la gestion énergétique de différentes parties du bâtiment et d'étudier l'efficacité de l'enveloppe et des systèmes thermiques associés.

With their rich industrial and economic history, the Nord and Pas-de-Calais départements have seen the development of numerous industrial and commercial zones. Some have fared better than others, reflecting the changing economic fortunes of our region. This project focuses on commercial buildings that have been abandoned and then sold off, and which offer interesting possibilities for redevelopment thanks to their large surface area and existing shells that allow premises to be fitted out. Current policy on the decarbonisation of buildings is to promote the circular economy, the re-use of materials, the integration of bio-sourced materials, the use of thermal systems based on renewable energies, the optimisation of energy management in buildings, and so on. The difficulty lies in effectively combining these different requirements. The proposed study concerns a former commercial building in Noeux-les-Mines (62290), acquired by the Noeux-environnement association, which will renovate it to house its offices and public reception areas for training and social reintegration. The building will be instrumented to monitor energy consumption over time, the operation of the thermal systems, the hygrothermal behaviour of the walls and the comfort of the environment. A digital behavioural model will be developed for comparison with the measurements taken, which are highly dependent on user behaviour, the aim being to optimise energy management in different parts of the building and to study the efficiency of the envelope and associated thermal systems.

DESCRIPTIF DU SUJET

1) Le sujet de recherche choisi et son contexte scientifique et économique :

La décarbonation de l'industrie du bâtiment et de la construction est une évidence aujourd'hui au regard des problématiques liées au dérèglement climatique et à la raréfaction des énergies et ressources fossiles. A cela s'ajoute l'augmentation de la population, ce qui accélère l'urbanisation et impacte la quantité de surfaces agricoles disponibles. La région des Hauts-de-France, et plus particulièrement les départements du Nord et du Pas-de-Calais, a vu son paysage évoluer depuis le XIX^{ème} siècle avec les grandes périodes industrielles liées à l'exploitation du charbon, au développement des industries métallurgiques et textiles, jusqu'à aujourd'hui avec l'implantation de giga-factories et de plate-formes logistiques. L'augmentation de la densité de population est corrélée à ces activités, elle a impacté l'aménagement du territoire, rogné sur les terres agricoles qui sont censées la nourrir. L'urbanisation s'est développée pendant tout ce temps, les activités commerciales se sont développées et sont venues s'ajouter au besoin de surfaces artificielles. Malheureusement, les différentes crises économiques et industrielles qui ont touché la région ont fait apparaître un nombre croissant de friches industrielles et commerciales.

Selon un rapport de janvier 2021 du ministère de la Transition écologique sur les friches en France, le foncier non agricole (établissements, entreprises des zones commerciales, entrepôts) couvre 30% des surfaces artificialisées, il progresse plus vite que le foncier résidentiel. La réhabilitation des friches constitue dans ce contexte un enjeu majeur d'aménagement durable des territoires pour répondre aux objectifs croisés de maîtrise de l'étalement urbain, de revitalisation urbaine et de limitation de la consommation des espaces naturels, agricoles et forestiers et de protection des sols contre leur artificialisation. Dans les Hauts de France, 16290 ha d'espaces naturels agricoles ou forestiers ont été consommés par l'urbanisation entre 2011 et 2020, dont 55% pour l'habitat et 37% pour les activités commerciales et industrielles.

L'estimation de la surface représentée par les friches industrielles et commerciales est difficile à faire, néanmoins on dénombre 2 400 friches industrielles (certaines estimations vont de 4 000 à 10 000), couvrant entre 90 000 et 150 000 hectares du territoire national, les chiffres concernant les friches commerciales et administratives sont inconnus.

Il est évident que la requalification des friches industrielles et commerciales est une nécessité, d'ailleurs dans le cadre de l'objectif " Zéro artificialisation nette" (ZAN) fixé par le plan Biodiversité de 2018, il s'agit de diviser par deux les terres artificialisées dans les dix années à venir. Ce rapport défend l'intérêt environnemental et économique de réhabiliter les friches.

Le projet de recherche proposé se place dans ce contexte de requalification de bâtiments existants, on s'intéresse plus précisément aux bâtiments commerciaux non utilisés. Dans le cadre de la cession de ce type de bâtiments par des grands groupes commerciaux, l'association Noeux-Environnement s'est fixé l'objectif de reconverter une friche commerciale de 4000 m² de surface foncière (dont 1200 m² de bâti), Il s'agit d'un ancien supermarché de Noeux-les-Mines (62290), fermé en 2018 et situé 22 bis route Nationale. Le chantier concernant le bâtiment se présente comme exemplaire en misant sur la sobriété énergétique puisque sont prévus un puits bioclimatique, une toiture en panneaux photovoltaïques, des toilettes sèches, une chaudière en bio-masse avec un poêle à bois complémentaire, des parois rayonnantes en terre crue, l'utilisation de matériaux bio-sourcés... Il est également prévu de travailler au réemploi des surfaces bitumées des anciens parkings et de conserver l'enveloppe existante en « bac acier » double peau du bâtiment. Il s'agit d'une structure sandwich composée de deux tôles métalliques séparées d'un isolant de type polyuréthane classiquement utilisé pour les bâtiments industriels et commerciaux. Une démarche REV3 est appliquée au projet, cela se traduit par de fortes ambitions tant au niveau de la performance de l'enveloppe et des choix énergétiques que sur l'aspect environnemental. Noeux-Environnement est une structure d'insertion basée sur l'éducation à l'environnement, elle emploie des personnes en insertion dans le domaine du maraîchage bio et de la menuiserie. Le bâtiment requalifié et réhabilité abritera la partie administrative de l'association ainsi que les différents locaux destinés à la formation, à l'insertion et à l'accueil du public. La philosophie environnementale et socio-économique de ce projet est parfaitement cohérente.

D'un point de vue scientifique, on s'intéressera plus particulièrement à la réutilisation de l'enveloppe existante et de son couplage avec une ossature rapportée, basée sur l'utilisation de matériaux bio-sourcés et recyclés, au fonctionnement des systèmes thermiques installés (mur rayonnant, puits canadien) et de leur impact sur le confort intérieur. En premier lieu l'objectif est de s'assurer de la performance thermique des parois rénovées. Si les éléments neufs rapportés ont des propriétés connues, la réutilisation de matériaux existants (laine minérale) sur certaines parois horizontales doit être étudiée afin de quantifier leur réel apport lié à leur état de conservation (dégradation, tassement...). Concernant les éléments de l'enveloppe, dans le cadre de la réhabilitation de bâtiments, une attention est portée sur l'état de l'existant et de son vécu. Les structures à ossatures métalliques et enveloppes bac acier sont étanches aux transferts de vapeur et présentent potentiellement des risques liés à la présence de ponts thermiques qui peuvent privilégier l'apparition de zones de condensation en fonction des sollicitations thermiques imposées (saisons, orientation du bâtiment, chauffage, humidité relative...). Au contact de matériaux bio-sourcés, on peut se poser la question l'impact de la présence d'eau potentielle sous forme liquide sur le comportement et la durabilité des parois. Une comparaison du comportement thermique des parois verticales sera possible du fait de la mise en œuvre de parois à ossatures bois au niveau du nouvel accès principal, ainsi qu'au niveau de zones appelées patios ou d'autres matériaux bio-sourcés et recyclés seront mis en œuvre. Concernant les systèmes thermiques, les études porteront principalement sur le fonctionnement d'un mur rayonnant à base de terre crue, alimenté par la chaufferie bio-masse, dans la partie bureau et un puits canadien qui contribuera à la ventilation de la zone accueil du public. Ces systèmes seront couplés à des ventilation simple ou double-flux dont les débits seront ajustés en fonction des saisons et des besoins de refroidissement ou de chauffage. Le but est de comprendre et d'optimiser leur fonctionnement, afin d'assurer le confort nécessaire aux occupants.

La démarche scientifique s'appuiera tout d'abord sur une approche multi-échelle de l'étude des transferts couplés chaleur/masse dans les matériaux et parois du bâtiment, tant en laboratoire qu'in situ. Les matériaux seront caractérisés physiquement et thermiquement en laboratoire afin de pouvoir alimenter des modèles numériques de comportement permettant de simuler les transferts dans certaines parties de l'enveloppe en fonction de l'environnement micro-climatique. La difficulté réside dans l'étude des transferts 2D et 3D liés aux jonctions structurelles où des ponts thermiques peuvent apparaître et être siège de condensation et dans le couplage avec des matériaux bio ou agro-sourcés. Pour les simulations à l'échelle macroscopique, on s'appuiera sur un logiciel de modélisation de type Comsol Multiphysics; à l'échelle de la paroi, le logiciel Wufi permet de simuler les transferts de vapeur sur plusieurs années d'exploitation, ce qui permettra de se projeter sur la notion de durabilité de la paroi. Une modélisation thermique et énergétique d'une partie du bâtiment et de ses systèmes sous Dymola permettra d'étudier les risques de condensation dans les parois en fonction de la gestion de l'ambiance intérieure du bâtiment. D'un point de vue expérimental, le bâtiment sera en partie instrumenté, sur les aspects confort notamment (température, humidité relative, CO₂). Certaines parois feront l'objet d'une instrumentation spécifique (flux thermique, température et hygrométrie): couplage bardage acier/isolant bio-sourcé, paroi à ossature bois, plancher haut avec réemploi d'isolant minéral par exemple. La mise en place de l'instrumentation sera pensée pour permettre la confrontation aux modèles numériques qui auront été créés. Le mur rayonnant en terre crue positionné dans la partie administrative fera l'objet d'une étude spécifique du fait de son lien avec une ventilation double-flux. Les débits et températures du fluide l'alimentant seront mesurés en continu, des mesures par thermographie infra-rouge permettront de contrôler l'uniformité de l'émission de chaleur. Les objectifs se situent donc dans la compréhension du fonctionnement des systèmes thermiques et de ventilation, dans la connaissance des transferts couplés dans l'enveloppe en s'appuyant sur une démarche à la fois numérique et expérimentale, permettant de mieux comprendre la qualité de l'ambiance intérieure.

2) L'état du sujet dans le laboratoire d'accueil

L'ER5 du LGCgE développe depuis de nombreuses années une expertise sur l'étude des transferts couplés de chaleur, de vapeur et/ou de masse au sein des matériaux utilisés dans la construction, du comportement hygrothermique des parois de bâtiments et de l'efficacité énergétique des bâtiments. Les approches sont aussi bien expérimentales (caractérisation thermique, hygrothermique en laboratoire, instrumentation in situ) que numériques (traitement des données, méthodes inverses, modélisation (Matlab, Comsol)). Les applications portent sur la valorisation des matériaux isolants naturels de type agro-sourcés (lin, chanvre, bois...), recyclés (tissus, ouate de cellulose) ou structurels naturels (pierre, terre cuite ou crue...), et l'étude de leur impact sur les consommations énergétiques du bâtiment, qu'il soit neuf ou ancien. Le développement de ces thématiques s'appuie sur des partenariats avec des entreprises, des collectivités locales et des institutions. Dans ce cadre, 4 conventions de partenariat de recherche récentes et en rapport avec le sujet de thèse ont fait l'objet de travaux récents : Rénochanvre (2018-2021-rénovation de l'habitat minier ancien à l'aide de matériaux bio-sourcés, avec le Bailleurs social Maisons et cités), Réhafatur 2 (2018-2022-utilisation des matériaux bio-sourcés dans la rénovation, CD2E pôle de compétitivité), PNR (2019-2023 - construction d'un bâtiment en isolant paille, Parc Naturel Régional du Boulonnais), Fleming (2020-2025, gestion des consommations énergétiques d'une pépinière d'entreprises, Communauté d'agglomération Béthune-Bruay). Un projet Ademe EMIBIO (2018-2022), en partenariat avec le CEREMA, l'IMT Lille Douai, l'IMT Atlantique et l'Université Picardie Jules Verne, qui concerne les émissions des composés organiques volatils des isolants bio-sourcés dans les bâtiments et leur couplage avec les transferts hygrothermiques dans les parois a également été réalisé. Dans le cadre du projet Réhafatur 1 (CAP'EM, programme Nord-Ouest Européen, 2016/2019) qui concernait la réhabilitation de bâtiments miniers à partir d'isolants bio-sourcés, incluant l'impact des systèmes de ventilation sur la qualité de l'air et le confort l'habitat, en partenariat avec la Soginorpa (bailleur social, plus de 60000 logements) et le CD2E (pôle de compétitivité régional – Création Développement Eco-Entreprise), le but était d'optimiser les systèmes de ventilation et de chauffage (2 thèses et un post-doc ont été le support de ce travail). L'étude de la qualité de l'air intérieur ainsi que l'analyse du cycle de vie des matériaux sont des paramètres importants de ces projets, qui se caractérisent notamment par un suivi expérimental in situ des performances des parois de bâtiment, des systèmes de ventilation simple flux et double flux (mesures de débits, températures, CO₂...) et des systèmes de chauffage associés sur plusieurs années. Les différentes thèses réalisées au sein de l'équipe et ayant un lien avec le sujet proposé sont les suivantes : Mounir Asli, 2017, « Etude des transferts couplés de chaleur et de masse dans les matériaux bio-sourcés : approches numérique et expérimentale », Tristan Pestre, 2021 : « La pierre naturelle dans un contexte d'évolution réglementaire environnementale de la construction, étude des transferts hygrothermiques au sein de composants d'enveloppes de bâtiments », Joelle Al Fakhoury, 2022, « Utilisation des déchets recyclés pour l'amélioration des performances thermiques des blocs de parpaing dans les constructions Libanaises », Radhouane Derbal, 2014, « Développement d'une méthode inverse de caractérisation thermique : application à l'estimation des propriétés thermophysiques et hydriques des matériaux de construction », Elorn Biteau, 2022, « Méthode thermique active pour la caractérisation in situ de matériaux isolants dans une paroi », Rina Bitar (en cours), « Eco&Home : Etude de Consommation énergétique et Optimisation thermique d'une maison individuelle avec prise en compte du confort de l'utilisateur », Rana Loubani, en cours, « Multimodèle statistique pour l'efficacité énergétique des bâtiments ». Le laboratoire a donc une forte expérience sur la rénovation de bâtiments de logements ouvriers de la région, la particularité du sujet de recherche proposé ici est liée à la nature de la structure existante (ossature métallique), à ses dimensions imposantes et à son origine (local commercial) qu'il faut requalifier tant d'un point de vue utilisation (locaux administratifs, formation) que de son enveloppe et de ses systèmes. L'association de matériaux spécifiques (enveloppe acier/matériaux bio-sourcés), le couplage de systèmes thermiques multiples (ventilation simple et double flux, puits canadien, mur rayonnant) peut rendre complexe l'optimisation des consommations énergétiques futures du bâtiment.

3) Les objectifs visés, les résultats escomptés.

Les objectifs sont de comprendre les mécanismes de transferts thermiques et hygriques au sein des parois spécifiquement construites dans le cadre du type de rénovation décrit, ayant la particularité de coupler une enveloppe existante en bac acier double peau à des isolants bio-sourcés, et d'identifier les risques potentiels liés à la condensation. Généralement, dans le cadre d'une réhabilitation avec des matériaux bio-sourcés, le pare-vapeur ou frein-vapeur est placé au 1/3 de l'épaisseur de l'isolant côté intérieur, ici la présence de l'enveloppe en « bac acier », paroi étanche à la vapeur d'eau, côté extérieur modifiera cette configuration, la durabilité de l'enveloppe peut en dépendre. L'étude hygrothermique des planchers hauts comportant de la laine minérale réemployée est également importante, elle permettra d'étudier le comportement de ce matériau et de son efficacité en réemploi. Les parois à ossature bois réalisées à l'entrée du bâtiment sont contiguës aux parois bac acier/isolant biosourcé, la comparaison du comportement hygrothermique des deux configurations sera très intéressante à faire. En ce qui concerne les systèmes thermiques, certains seront étudiés individuellement puis replacés dans le contexte du bâtiment pour en estimer les performances énergétiques.

L'approche expérimentale en laboratoire et in situ permettra d'étudier les différences possibles entre les mesures de laboratoire et les conditions spécifiques sur site (stockage, mise en œuvre des isolants), à partir de méthodes inverses. Les études réalisées sur les composants d'enveloppe et les systèmes permettront de remonter à l'échelle globale du bâtiment et d'étudier ses consommations énergétiques, à la fois expérimentalement et numériquement, en fonction des saisons.

4) Programme de travail

Le plan de travail sera décomposé de la manière suivante :

Phase 1. Etude Bibliographique

L'étude bibliographique concerne l'étude des transferts thermiques et le confort de l'habitat, le comportement hygrothermique des matériaux biosourcés, la gestion et l'efficacité énergétique des bâtiments, la requalification des bâtiments industriels

Phase 2. Caractérisation en laboratoire de différents matériaux (physique, hygrothermique)

Les matériaux existants et rapportés seront caractérisés thermiquement en laboratoire. Les matériaux bio-sourcés seront spécifiquement étudiés d'un point de vue hygro-thermique. Les données obtenues permettront d'alimenter des modèles numériques.

Phase 3. Modèle de comportement, simulation

Le comportement hygro-thermique des parois (plafond, mur à ossature bois et mur rapporté) sera modélisé sous Comsol Multiphysics, une salle du bâtiment sera étudiée globalement, en fonction des conditions limites intérieures et des saisons.

Phase 4. Mesures in situ : récupération des données, exploitation, interprétation

Certaines parois seront instrumentées avec des capteurs de flux, température et hygromètres. Cela concerne une paroi à ossature bois à l'entrée, une paroi réhabilitée et un plafond léger. Les différents volumes fermés du bâtiment seront équipés de capteurs de température/humidité relative/CO2 afin d'en étudier le confort thermique en fonction des saisons. Le mur chauffant fera l'objet d'une étude spécifique sur son fonctionnement et son impact en termes de confort (mesures de température/débit sur le réseau, thermographie infra-rouge). Des mesures ponctuelles de débits seront réalisées au niveau des VMC et du puits canadien.

Phase 5. Comparaison mesures in situ/simulation, analyse et optimisation.

Une analyse des données de mesures sera faite à intervalles réguliers, en fonction des saisons. En fonction des conclusions et des comparaisons mesure/modèle des orientations pourront être données pour l'amélioration du confort thermique.

Planning prévisionnel :

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
Etude bibliographique	■	■	■	■	■	■																																
Caractérisation en laboratoire				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																			
Modélisation							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mesures in situ								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Optimisation																																						
Rédaction thèse/rapports																																						

Les différentes phases peuvent se dérouler en parallèle. L'étude bibliographique est une veille scientifique qui permettra de récolter suffisamment d'informations pour aborder, entre autres, la partie caractérisation en laboratoire. Certains protocoles de mesure sont longs mais ne nécessitent pas de veille permanente car maîtrisés dans le laboratoire, c'est le cas de la caractérisation des grandeurs hygro-thermiques des matériaux bio-sourcés. Les mesures in-situ sont dépendantes de l'avancement des travaux de réhabilitation. Leur démarrage dépendra de la livraison du bâtiment normalement prévue à l'hiver 2024/2025. Cela permettra de pouvoir suivre deux saisons d'hiver et deux saisons d'été sur la durée de la thèse et ainsi obtenir de éléments comparatifs. La partie optimisation/modélisation pourra débuter dès que les données d'entrée seront connues, c'est-à-dire après au moins 6 mois de mesures in situ et à la connaissance des caractéristiques des matériaux d'enveloppe.

Livrables :

Un rapport d'avancement sera réalisé chaque année, la rédaction d'un article dans une revue scientifique sera effectuée à partir de la fin de 2e année. Des communications en congrès sont également prévues.

Des rapports intermédiaires sur les mesures in situ effectuées seront fournis tous les 6 mois, afin d'avoir une vision sur les saisons caractéristiques (hiver et été) où les contraintes thermiques sont les plus fortes. Un rapport spécifique sur le fonctionnement du mur chauffant sera également réalisé à l'issue de chaque saison de chauffe, ainsi que sur la caractérisation hygro-thermique des matériaux.

5) Les collaborations prévues (préciser le cadre, la nature des collaborations, l'ancrage régional, national, international, la transdisciplinarité éventuellement).

La principale collaboration se fera avec l'association Noeux-environnement, propriétaire des locaux, qui s'investit par cette démarche dans le Plan Climat Air Energie Territorial de la communauté d'agglomération Béthune Bruay Artois Lys Romane (CABBALR), également dans le Plan Alimentaire Territorial de la CABBALR, dans l'Engagement pour le Renouveau du Bassin Minier. Elle s'est aussi engagée dans une démarche Rev3 pour le bâtiment durable en Hauts-de-France.

Le CD2e, accélérateur de l'2co-transition, est également associé à cette opération, c'est un partenaire important de cette opération qui apportera son expertise dans le domaine de l'éco-construction.

6) Bibliographie

- [Asli, M., Sassine, E., Brachelet, F., Antczak, E., Hygrothermal behavior of wood fiber insulation, numerical and experimental approach, \(2021\) Heat and Mass Transfer, DOI: 10.1007/s00231-020-03002-9](#)
- [Asli, M., Brachelet, F., Chauchois, A., Antczak, E., Defer, D., Numerical and experimental investigation of heat and mass transfer within bio-based material, \(2019\) Thermal Science, 23, 10 p. DOI: 10.2298/TSCI161019175A](#)
- [Tamara Braish, Liselotte Tinel, Laurence Depelchin, Vincent Gaudion, Yves Andres, Cécile Caudron, Emmanuel Antczak, Franck Brachelet, Nadine Locoge. Evaluation of the seasonal variation of VOC surface emissions and indoor air concentrations in a public building with bio-based insulation. Building and Environment, 2023, 238, pp.110312. \(10.1016/j.buildenv.2023.110312\).](#)
- [Sassine, E., Cherif, Y., Antczak, E., Dgheim, J., Al Fakhoury, J., & Chartier, T. 2022 May 7. Analysis of heat transfer phenomena inside concrete hollow blocks. Journal of Building Material Science. <https://doi.org/10.30564/jbms.v4i1.4500>](#)
- [Makram Abdellatif, Julien Chamoin, Jean-Marie Nianga, Didier Defer. A thermal control methodology based on a machine learning forecasting model for indoor heating. Energy and Buildings, 2022, 255, pp.111692. \(10.1016/j.enbuild.2021.111692\).](#)
- [Elorn Biteau, Didier Defer, Franck Brachelet, Laurent Zalewski. Active Thermal Method Applied to the In Situ Characterization of Insulating Materials in a Wall. Buildings, 2021, 11 \(12\), pp.578. \(10.3390/buildings11120578\). \(hal-03505527\)](#)
- [Alhaj Hasan Ola, Hassane Abouaïssa, Isam Shahrour, Didier Defer. Building energy consumption flatness-based control using algebraic on-line estimation. Energy efficiency, 2017, 10 \(3\), pp.657 - 671. \(10.1007/s12053-016-9479-y\). \(hal-01657283\)](#)
- [Radhouan Derbal, Didier Defer. Thermophysical and hydric properties estimation based on a double inverse analysis. Heat and Mass Transfer, 2017, 53 \(4\), pp.1375 - 1389. \(10.1007/s00231-016-1907-1\). \(hal-01657270\)](#)
- [Christelle Rabbat, Sary Awad, Audrey Villot, Delphine Rollet, Yves Andrès, Sustainability of biomass-based insulation materials in buildings: Current status in France, end-of-life projections and energy recovery potentials, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 156, 2022, 111962, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111962>](#)
- [Alba Torres-Rivas, Mariana Palumbo, Assed Haddad, Luisa F. Cabeza, Laureano Jiménez, Dieter Boer, Multi-objective optimisation of bio-based thermal insulation materials in building envelopes considering condensation risk, Applied Energy, Volume 224, 2018, Pages 602-614, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.079>.](#)