

# Étude numérique de l'impact de différents scénarios de rénovations sur le confort d'été des logements sur le territoire toulousain

Lucas Estay\*, Charbel Abboud, Marion Bonhomme, Claire Oms, Stéphane Ginestet

LMDC, Université de Toulouse, INSA, UPS, Toulouse, France  
135 Av. de Rangueil, 31400 Toulouse,  
\* [estay@insa-toulouse.fr](mailto:estay@insa-toulouse.fr),

---

*La rénovation est le levier le plus important de l'efficacité énergétique du parc de bâtiments existant. C'est un des enjeux majeurs du succès des objectifs de maîtrise énergétique européens.*

*L'objectif de ce travail a été d'étudier l'impact et d'estimer la qualité de différentes solutions de rénovations pour un parc de logements avec les caractéristiques propres à la région toulousaine. Les bâtiments ont été simulés sur Energy+ et ont été sélectionnés pour être les plus représentatifs du territoire.*

*Plusieurs scénarios de travaux ont été simulés numériquement et comparés pour obtenir un compromis afin de limiter les consommations énergétiques liées au chauffage et d'optimiser le confort thermique estival. Les conclusions obtenues permettent de prioriser les opérations de rénovation pour éviter le recours à la climatisation.*

*MOTS-CLÉS : Rénovation énergétique, Confort thermique estival, Simulation énergétique.*

---

*Renovation is the most important driver of energy efficiency in the existing building stock. It is one of the major challenges for the success of the European energy targets.*

*The objective of this work was to study the impact and to estimate the quality of different renovation solutions for a housing stock with characteristics specific to the Toulouse region. The buildings have been simulated on Energy+ and have been selected to be the most representative of the territory.*

*Several scenarios of renovation were numerically simulated and compared to obtain a compromise in order to reduce the energy consumption related to heating and to optimize the thermal comfort in summer. The conclusions obtained help to prioritize the renovation operations to avoid the use of air conditioning.*

*KEYWORDS: Energy renovation, Summer thermal comfort, Energy simulation.*

---

## 1. INTRODUCTION

La commission européenne estime que les bâtiments résidentiels sont responsables de 68% de la consommation énergétique du parc immobilier, soit 27% de la consommation européenne globale (Marina Economidou, 2011). En France, on estime que les  $\frac{3}{4}$  du parc de logements de 2050 existent déjà, et pourtant plus de 35% des logements ont plus de 50 ans (Desogus et al. 2013). Le facteur clé de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment est donc la rénovation thermique du parc immobilier existant.

Réduire les consommations énergétiques d'un bâtiment est un processus qui ne se limite pas uniquement à installer une isolation sur les parois ou remplacer le système de chauffage par un système plus performant. Pour que le projet soit une réussite il est important de tenir compte des enjeux transverses :

transferts hydriques, confort thermique, rentabilité financière, impact environnemental, acoustique, éclairage etc.

Les principaux postes de consommations étant liés au chauffage, les réglementations qui se sont succédées depuis 1975 ont largement incité à l'isolation thermique. Si en hiver, il est bénéfique de conserver la chaleur à l'intérieur du bâtiment, il existe un risque d'inconfort en été. De plus, la modification du climat et la multiplication des épisodes chauds ont tendance à amplifier ce phénomène. Ainsi, ne pas prendre en compte le confort thermique estival au moment d'une rénovation peut engendrer le recours à un système de climatisation.

L'objectif de cet article est de comparer les différentes solutions techniques de rénovation envisageables sur le territoire de Toulouse Métropole en fonction de différents critères : Thermique, Énergétique et Confort thermique d'été. Ce travail a été mené dans le cadre du projet de recherche I-HEROS. Ce projet européen porté par la mairie de Toulouse, vise la création d'un service d'accompagnement à la rénovation des logements particuliers du type « Guichet unique ».

## 2. CLASSEMENT DES LOGEMENTS DU PARC TOULOUSAIN

### 2.1. APPROCHE PROPOSEE

Pour étudier les caractéristiques d'un parc de bâtiment et comprendre les enjeux liés à la rénovation de son territoire, il est nécessaire d'en avoir une représentation aussi fiable que possible : géométrie des bâtiments, composition de leur enveloppe, équipements, usages, etc. Or, étant donné la quantité de bâtiments considérée, il est difficile d'obtenir toutes ces informations pour l'ensemble du parc bâti. Il est alors nécessaire de faire un certain nombre d'hypothèses simplificatrices.

Pour cela, notre approche se base sur des travaux réalisés dans le cadre du projet de MApUCE (Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme : Climat urbain et Energie (Nathalie Tornay 2015)). Dans une première étape de ce projet, les formes urbaines ont été classées en archétypes à partir de données géo-spatiales et d'indicateurs morphologiques (voir Figure 1). Une deuxième étape du projet MApUCE a permis de recouper cette typologie et l'année de construction pour associer à chaque bâtiment des techniques de construction. Cette deuxième étape a pris la forme d'une base de données dans laquelle on retrouve des données sur les parois, les toitures, les planchers, les vitrages, ainsi que sur la présence ou le type de ventilation mécanique.

### 2.2. CLASSEMENT DES DIFFERENTS BATIMENTS

Plusieurs études proposent des classements de bâtiments en fonction des formes de bâti, de dates de constructions ou de méthodes de constructions pour étudier leur efficacité environnementale. Dans le cadre du travail dont cet article fait l'objet, nous nous basons sur la typologie urbaine et les classes d'âge du projet MAPuCE.

#### 2.2.1. Répartition par classe d'âge :

D'après les travaux de Mailhac (Adelaide Mailhac 2021) et Tornay *et al* (Nathalie Tornay 2015), il est généralement admis que, en France, l'évolution des techniques de construction a été fortement impactée par l'évolution du coût de l'énergie et la succession des différentes réglementations thermiques. Par conséquent, sept périodes sont retenues pour étudier la matérialité des parcs immobiliers (voir Figure 1)

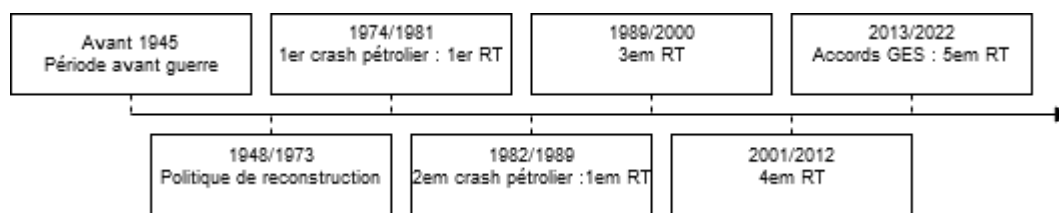


Figure 1 : Grandes périodes constructives en France

### 2.2.2. Répartition par forme architecturale :

Dans le projet MApUCE, Tornay (Nathalie Tornay 2015) reprend les typologies déjà préétablies dans la littérature. Le parc de bâtiments est réparti en 10 types de morphologies, elles-mêmes réparties dans 4 classes. Les différentes typologies de bâtiments toulousains peuvent être classés sous :

- La classe Pavillon : elle comprend les bâtiments dont la forme et la taille correspond à du logement individuel
- La classe Immeuble : elle s'intéresse aux bâtiments dont la forme et la taille correspond à du logement collectif ou à des immeubles de bureaux
- La classe Immeuble de Grande Hauteur (IGH) : ce sont des bâtiments qui ont au minimum 12 étages.
- La classe des bâtiments d'activités : elle correspond aux bâtiments avec des volumes importants, correspondant à des usages industriels, agricoles ou commerciaux.

La *Figure 2* présente la répartition typologique par quartier, pour la ville de Toulouse. Le centre de la ville est principalement composé de bâtiments historiques de type immeuble continu. La petite couronne est principalement composée d'un mélange d'immeubles continus et discontinus. Une faible part de résidences pavillonnaires est également présente sur cette zone. Le reste du territoire est composé majoritairement de pavillons discontinus ou d'immeubles discontinus. La part respective de chaque typologie peut varier en fonction de la commune. On constate néanmoins que les terrains les plus éloignés du centre de Toulouse sont ceux comportant le plus de pavillons discontinus. Cette répartition typologique est cohérente avec le gradient de densité de population généralement observé dans les villes monocentriques comme Toulouse.

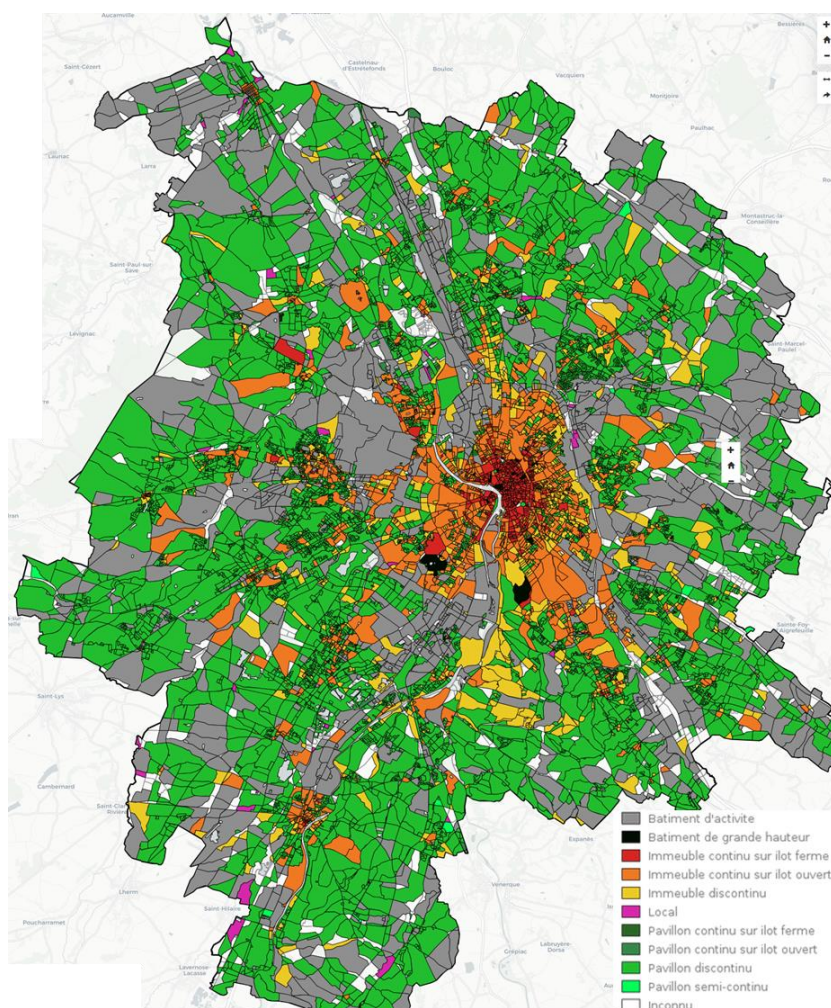


Figure 2 : Répartition typologique des différentes morphologies de bâtiment à Toulouse

Comme cela a été fait dans le projet MAPUCE (Nathalie Tornay 2015), nous proposons de croiser la date de construction et la morphologie pour définir des classes de bâtiments représentatives du parc toulousain. Ce sont d'ailleurs des critères retenus par Le Néchet et Sahraoui et al. pour quantifier les espaces urbains et leurs espaces résidentiels (Le Néchet 2015; Sahraoui 2014). Il est alors désormais possible d'attribuer des caractéristiques moyennes pour chaque classe de bâtiments : matériaux de construction, équipements, etc. ; nous permettant de modéliser le comportement énergétique des bâtiments et des scénarios de rénovation.

La Figure 3 représente les proportions de logements par classes énergétique et environnementale DPE en fonction des typologies et des classes d'âges. Les classes énergétiques et environnementales correspondent aux consommations de chauffage, climatisation et eau chaude sanitaire. Les données obtenues proviennent d'un croisement avec la base de données des DPE.

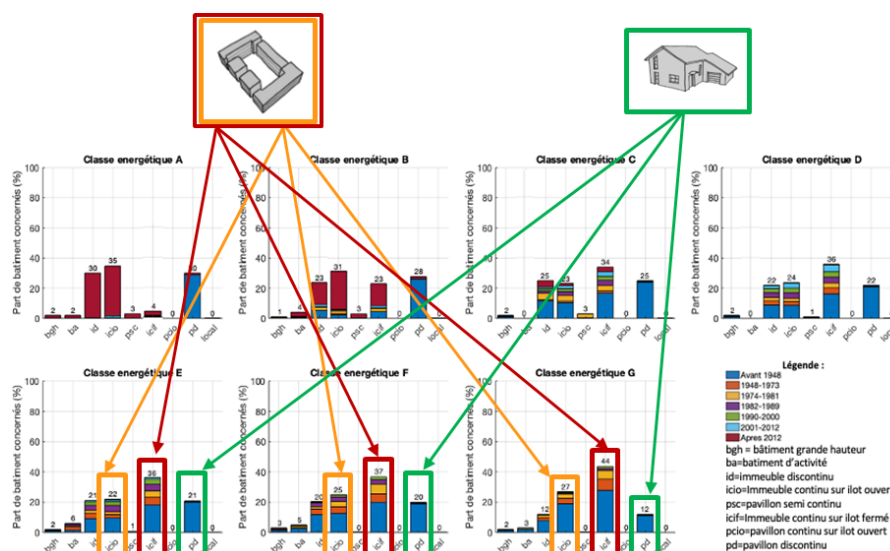


Figure 3 : Répartition des classes énergétiques DPE des bâtiments toulousains en fonction de l'âge et la typologie

Bien que les résultats de la Figure 3 soient conditionnés par le couplage de deux bases de données, ils semblent cohérents avec l'étude de préfiguration menée par la ville de Toulouse (Toulouse Métropole 2017). Ces graphiques mettent en avant les bâtiments pour lesquels la rénovation thermique est un enjeu sur le territoire Toulousain : il s'agit des bâtiments pavillonnaires et des immeubles continus datant d'avant 1980.

### 2.3. IDENTIFICATION DES BATIMENTS A MODELISER

La suite de cet article s'intéresse à la modélisation numérique de ces deux types de bâtiment et à l'étude de solutions de rénovation. De manière à ce que les modélisations puissent être généralisées au parc de logements toulousains, nous avons mené une analyse statistique. Celle-ci nous a permis de sélectionner deux cas d'études représentatifs : un bâtiment de type « pavillon » et un bâtiment de type « immeuble ».

Dans le cadre du projet MApUCE (Nathalie Tornay 2015), les bases de données de l'IGN et de l'INSEE ont permis de caractériser les bâtiments toulousains par des indicateurs morphologiques. A partir de ces indicateurs, nous avons identifié les bâtiments « médoïdes », c'est-à-dire les bâtiments réels les plus proches de la moyenne pour chaque typologie. De cette façon, le bâtiment le plus représentatif de sa classe a été identifié parmi les plus de 136 000 autres bâtiments de sa morphologie.

## 3. HYPOTHESES DE SIMULATIONS : CONSTRUCTION DU MODELE

En France, plusieurs projets ont eu pour objectifs de définir les matériaux de construction d'un bâtiment en fonction de son âge et de sa classe architecturale pour une zone géographique donnée. Le guide ABC : Amélioration thermique des bâtiments collectifs construits de 1850 à 1974, la classification TABULA : projet EPISCOPE, les deux rapports rédigés dans le cadre des accords du Grenelle de l'environnement : le programme RAGE et le projet PACTE sont quelques exemples de ces travaux.

Dans le cadre de ce travail, nous utiliserons comme référence les données de la base Matériaux utilisée dans le cadre du projet MApUCE (Nathalie Tornay 2015). En parallèle, les échanges organisés

par Envirobât dans le cadre du projet I-HEROS ont permis de réunir un grand nombre de professionnels de la rénovation à Toulouse pour discuter du sujet. Ces échanges nous ont notamment permis de préciser certains points de la base de données pour qu'ils soient représentatifs du bâti toulousain des années 80.

Les différents scénarios et paramètres internes sont issus des valeurs forfaitaires de la littérature (norme ISO 17772-1 (*ISO 17772-1*, s. d.), norme EN 16798-1 (*EN 16798-1*, s. d.), Les travaux de Ahmed et.al (Ahmed et al. 2017)). Les résultats obtenus pour la simulation initiale coïncident avec les chiffres de la base de données des DPE et le document d'une étude de préfiguration du territoire (Toulouse Métropole 2017).

## 4. RESULTATS

### 4.1. ÉTUDE DU CONFORT D'ÉTÉ

Les modèles de Confort Thermique Adaptatif prédisent les conditions dans lesquelles les gens sont susceptibles d'être en situation de confort dans les bâtiments. Cet indice dynamique est une approche du confort basée sur les adaptations comportementales des occupants. Cette adaptation est considérée comme un processus à double sens. Les gens s'adaptent à leur environnement thermique en modifiant leurs vêtements, leurs postures ou leurs activités. Ils adaptent également leur environnement thermique à leurs besoins par des actions telles que l'ouverture des fenêtres, le réglage des stores... Pour toutes les journées d'étés, le confort estival est testé heure par heure avec ce modèle. Tout dépassement de la limite supérieure sera jugé comme une heure d'inconfort.

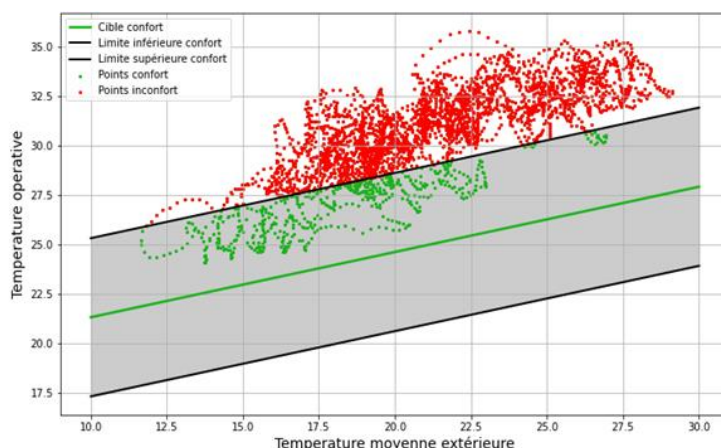


Figure 4 : Gamme de température acceptables pour des espaces non climatisés

L'expression de la zone de confort (Figure 4) correspond à une ambiance de confort idéale, soit un pourcentage de satisfaction maximal. Plus la température opérative s'écarte de la zone théorique, plus la part d'insatisfaits sera élevée. Il existe un grand nombre d'indices et de façons de calculer la zone de confort en fonction des différents pays et climats. Le modèle retenu est celui issu de l'étude SCATs (Smart Controls and Thermal Comfort) qui est plus représentatif des climats européens (Carlucci et al. 2018).

### 4.2. ÉTUDE DES DIFFÉRENTES SIMULATIONS DE RÉNOVATION

Nous avons choisi de présenter ici les résultats de 3 simulations (voir Figure 5). La première correspond à une rénovation de faible envergure concernant la reprise des parois avec une isolation par l'intérieur (jusqu'à 14% d'EE sur les consommations initiales). La deuxième correspond à une rénovation globale avec isolation par l'extérieur et remplacement du système de chauffage (jusqu'à 46%



EE sur les consommations initiales). La troisième intègre des éléments susceptibles d'améliorer le confort thermique d'été (réduction du temps de dépassement de la limite de confort de 48%).

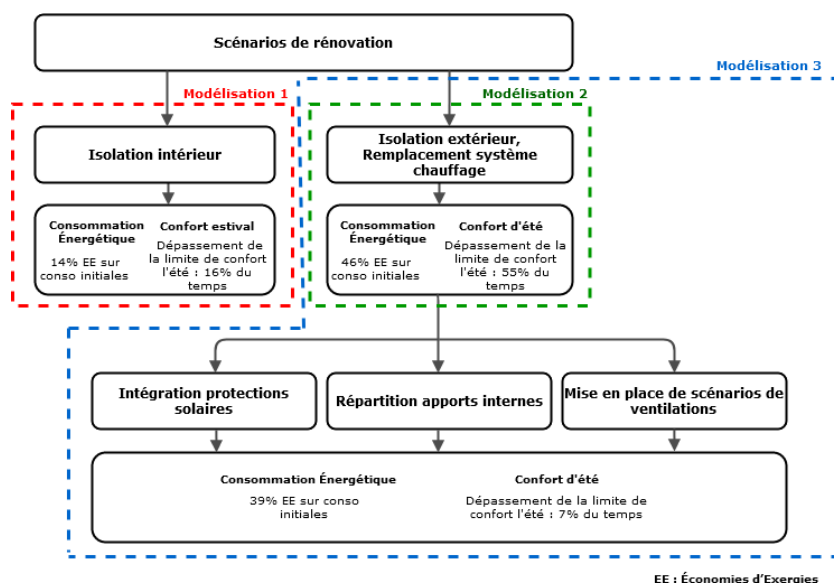


Figure 5 : Paramètres et résultats des simulations de rénovation pour les bâtiments pavillonnaires Toulousain

L'étude de ces différents scénarios a permis de conclure sur les éléments suivants :

- Impact des apports internes : l'utilisation du bâtiment et des équipements par les occupants est un élément susceptible de générer de la chaleur (par exemple : four, ampoules, machine à laver, etc.). Couplée avec une isolation thermique performante, la chaleur générée est piégée à l'intérieur du bâtiment. Pour éviter les surchauffes, il est nécessaire de limiter et de dissiper ces apports (utilisation de la ventilation).
- Impact des apports externes : bien que les apports solaires soient nécessaires en hiver pour profiter d'apports naturels gratuits, en été ils réchauffent le bâtiment. Couplés avec l'isolation thermique performante, un inconfort thermique peut alors être généré. Un compromis entre le dimensionnement de protections solaires et l'accès à la lumière naturelle doit être recherché. En effet un mauvais dimensionnement des protections solaires peut engendrer un recours à des solutions d'éclairage artificiel qui engendreront alors des apports internes et des consommations d'électricité.
- Impact de l'inertie thermique : si l'inertie est trop importante et que la température nocturne est trop élevée, la chaleur stockée tout au long de la journée n'a pas le temps de se dissiper. Le bâtiment va alors monter en température : au lieu d'amortir le pic de température journalier, l'inertie joue le rôle d'amplificateur. C'est le cas lors des épisodes caniculaires répétés du climat toulousain. Agrandir les espaces de vie permet de répartir les apports internes élevés du logement et de limiter les quantités de parois verticales, ce qui permet ainsi de réduire la masse thermique du logement. Une autre solution peut être liée à l'utilisation de la ventilation : mettre en place une ventilation traversante permet de limiter le stockage de chaleur.

## 5. CONCLUSION

Ce travail a permis de s'intéresser à différentes solutions de rénovations, appliquées à un bâtiment représentatif du parc immobilier toulousain existant. L'objectif était de dresser un bilan des caractéristiques du parc de bâtiment toulousain et d'évaluer certaines méthodes de rénovation utilisées classiquement. Du point de vue thermique et énergétique, une isolation performante et le choix d'équipements efficaces suffisent à obtenir des résultats énergétiques convaincants. Du point de vue du confort d'été, une attention doit être portée à l'inertie thermique, à la ventilation et aux apports internes afin d'éviter un recours systématique aux systèmes de climatisation.

Pour les entités qui mettent en place des services d'accompagnement à la rénovation, il n'est pas rare d'avoir recours à des solutions de rénovation génériques. Il est primordial d'avoir une vision globale de l'impact de ces solutions (économie d'énergie, confort d'été, ...) afin de proposer un conseil pertinent aux problématiques de rénovation du territoire, dans le cadre d'un guichet unique par exemple.

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet européen I-HEROS. Les auteurs remercient l'ADEME pour son soutien financier.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

- Adelaide Mailhac. 2021. *Contribution au développement d'une méthodologie d'évaluation environnementale aux échelles urbaines*. Manuscrit de These. Insitut National des Sciences Appliqués de Toulouse.
- Ahmed, Kaiser, Ali Akhondzada, Jarek Kurnitski, et Bjarne Olesen. 2017. « Occupancy Schedules for Energy Simulation in New PrEN16798-1 and ISO/FDIS 17772-1 Standards ». *Sustainable Cities and Society* 35 (novembre): 134-44. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.010>.
- Carlucci, S., L. Bai, R. de Dear, et L. Yang. 2018. « Review of Adaptive Thermal Comfort Models in Built Environmental Regulatory Documents ». *Building and Environment* 137 (juin): 73-89. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.053>.
- Desogus, Giuseppe, Lorenza Di Pilla, Salvatore Mura, Gian Luca Pisano, et Roberto Ricciu. 2013. « Economic Efficiency of Social Housing Thermal Upgrade in Mediterranean Climate ». *Energy and Buildings* 57 (février): 354-60. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.016>.
- EN 16798-1. s. d. *Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - 2019*.
- ISO 17772-1. s. d. *2017 Energy performance of buildings — Indoor environmental quality — Part 1: Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings - 2017*.
- Le Néchet, Florent. 2015. « De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l'Audit Urbain ». *Cybergeo*, février. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.26753>.
- Marina Economidou. 2011. « Europe's buildings under the microscope : country-by-country review of the energy performance of building ». *BIPE*.
- Nathalie Tornay, Marion Bonhomme, Serge Faraut. 2015. « GENIUS, a methodology to integer building scale data into urban microclimate and energy consumption modelling ». Project: MApUCE - Conference: ICUCAT : 12th Symposium on the Urban Environment.
- Sahraoui, Yohan. 2014. « Essai de typologie des espaces résidentiels à partir d'indicateurs désagrégés à l'échelle du bâtiment. Application à Besançon et à Metz ». *Cybergeo*, juillet. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.26431>.
- Toulouse Métropole. 2017. « Étude de préfiguration d'une plate-forme locale de rénovation énergétique de l'habitat, Rapport d'état des lieux ». Mission Plan Climat.