



Thèse

2014

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs: état des lieux, retours d'expérience et potentiels du parc genevois

Khoury, Jad

How to cite

KHOURY, Jad. Rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs: état des lieux, retours d'expérience et potentiels du parc genevois. 2014. doi: 10.13097/archive-ouverte/unige:48085

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:48085>

Publication DOI: [10.13097/archive-ouverte/unige:48085](https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:48085)

Rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs

Etat des lieux, retours d'expérience et potentiels du parc genevois

THÈSE

Présentée à la Faculté des sciences de l'Université de Genève

Pour obtenir le grade de Docteur ès sciences, mention Sciences de l'environnement

par

Jad Khoury

de

Beyrouth (Liban)

Thèse N° 4752

GENÈVE

ReproMail

2014

La Faculté des sciences, sur le préavis de Monsieur B. LACHAL, professeur titulaire et directeur de thèse (Institut F.-A. Forel, Groupe Energie), Monsieur M. K. PATEL, professeur ordinaire (Institut F.-A. Forel, Groupe Energie), Madame L. ITARD, professeure (Research Institute OTB for the Built Environment, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands) et Monsieur O. EPELLEY, docteur (Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie, Office Cantonal de l'énergie, République et Canton de Genève, Suisse), autorise l'impression de la présente thèse, sans exprimer d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.

Genève, le 18 décembre 2014

Thèse - 4752 -



Le Doyen

Khoury J. : Rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs : Etat des lieux, retours d'expérience et potentiels du parc genevois.

Terre & Environnement, vol. 130, 341 pp. (2015)

ISBN 978-2-940472-31-4

Section des sciences de la Terre et de l'environnement, Université de Genève, 13 rue des Maraîchers, CH-1205 Genève, Suisse

Téléphone ++41-22-379.66.28 – Fax ++41-22-379.32.11

<http://www.unige.ch/sciences/terre/>

À Marie, Emile et mes parents

" La perplexité est le début de la connaissance "

Khalil Gibran (1883-1931)

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier très sincèrement mon directeur de thèse Bernard Lachal de m'avoir fait confiance et de m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce travail au sein du groupe Energie-Forel de l'Université de Genève. Ce groupe (issu du CUEPE), qui réalise depuis plus de 30 ans des recherches interdisciplinaires sur les systèmes et filières énergétiques fondées sur des retours d'expérience, m'a permis d'acquérir une large base de connaissances dans le domaine énergétique.

Merci d'avoir contribué à la formation d'un « architecte-énergéticien », profil rare à l'heure actuelle, qui sera vraisemblablement appelé à jouer un rôle important dans la transition énergétique.

C'est pour moi l'occasion de remercier aussi mes collègues chercheurs du groupe Energie-Forel pour leur grande disponibilité et leurs conseils éclairés, et plus particulièrement :

- *Jean-Luc Bertholet* pour ses compétences en statistique et son aide précieuse dans l'obtention de données qui m'ont été fort utiles, *Daniel Cabrera* pour son expérience professionnelle dans le domaine du bâtiment, *Catherine Cooremans* pour les échanges que nous avons eus sur les systèmes de management de l'énergie, *Jérôme Faessler* pour sa connaissance pointue des filières à ressource locale et son esprit critique, *Carolina Fraga* et *Théodora Seal* pour leur aide en anglais, *Pierre Hollmuller* pour sa force tranquille en physique, son amitié et ses critiques constructives, *Pierre Ineichen* pour son soutien informatique et sa connaissance approfondie de la ressource solaire, *Bernard Lachal* pour son enthousiasme inépuisable, son potentiel humain et ses vastes connaissances dans les différentes disciplines, *Floriane Mermoud* pour ses compétences dans le domaine du suivi énergétique de systèmes jugées indispensables à la réalisation de tels retours d'expérience, *Eric Pampaloni* pour le support technique du monitoring et *Loïc Quiquerez* pour ses compétences en systèmes d'information géo-référés.

Je remercie également les membres du jury pour leur temps précieux consacré à la lecture et à l'examen de cette thèse :

- Dr Olivier Epelly, directeur de l'Office cantonal de l'énergie de Genève ;
- Prof Dr Laure Itard, département OTB, Delft University of Technology ;
- Prof Dr Bernard Lachal, groupe Energie-Forel, Université de Genève ;
- Prof Dr Martin Patel, chaire en efficacité énergétique, Université de Genève.

Ce travail n'aurait pas pu être possible sans le soutien de nombreuses personnes et la collaboration avec les services de l'Etat de Genève. Je tiens à remercier particulièrement :

- de l'Office cantonal de l'énergie (OCEN) : Christian Freudiger, chef du secteur assainissement énergétique des bâtiments, de cette agréable collaboration, ainsi que Olivier Epelly, Myriam Garbely, Rémy Beck, Emile Spierer et toute l'équipe pour la confiance que vous m'avez accordée ;

- de l'Office cantonal de la statistique (OCSTAT) : Dominique Frei, ancien directeur, et Carol Daverio, statisticienne, pour la mise à disposition de données ;
- de l'Office du patrimoine et des sites (OPS) : Maurice Lovisa, ancien directeur du Service des monuments et des sites, pour son ouverture d'esprit et les échanges enrichissants que nous avons eus.
- de l'Office des autorisations de construire (OAC) : Laurence Dejean et Stefan Curtet pour la mise à disposition des dossiers d'autorisation de construire.
- du Service de l'énergie de la Ville de Genève (ENE) : Valérie Cerda, cheffe de service, et Jean-Marc Santines, adjoint de direction technique, pour les informations fournies.

Mes remerciements vont également aux personnes suivantes pour leur contribution directe ou indirecte à ce travail, en espérant n'avoir oublié personne :

- François Baud, Pauline Calame, Yann Demont, Gilles Deperraz, Charles Favre, Guillaume Ferraris, Jean-François Freudiger, Peter Gallinelli, Gilles Garazi, Alain Grobet, Peter Haefeli, Anthony Haroutunian, André Mermoud, Maxime Raynaud, Vera Slaveykova, Pascal Thomann, Jennifer Tschopp, Pierre-Alain Viquerat, Willi Weber, Martin Weill-Sermet, Jean-Marc Zraggen, Carlo Zumbino.

Last but not least, je remercie les partenaires qui ont contribué au financement de cette étude, notamment l'OCEN dans le cadre du mandat d'évaluation de la performance du bâtiment rénové Gros-Chêne, l'OFEN dans le cadre du projet de recherche Compare-Renove (2013-2016) et la CTI dans le cadre du SCCER FEEB&D (CTI.2014.0119).

Enfin, un MERCI tout particulier à mon épouse Marie et à mes parents pour leurs encouragements et leur soutien continu durant ces années de recherche ; ainsi qu'à la famille Douçot pour l'accueil chaleureux qu'ils m'ont réservé.

Résumé

La réalisation des objectifs fixés par la nouvelle stratégie énergétique suisse à l'horizon 2050 implique d'améliorer les connaissances sur l'efficacité énergétique du parc immobilier, qui restent aujourd'hui insuffisantes au niveau local. Cette étude a porté sur la rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs genevois, en intégrant au mieux les aspects techniques, économiques, financiers, environnementaux et de conservation du patrimoine.

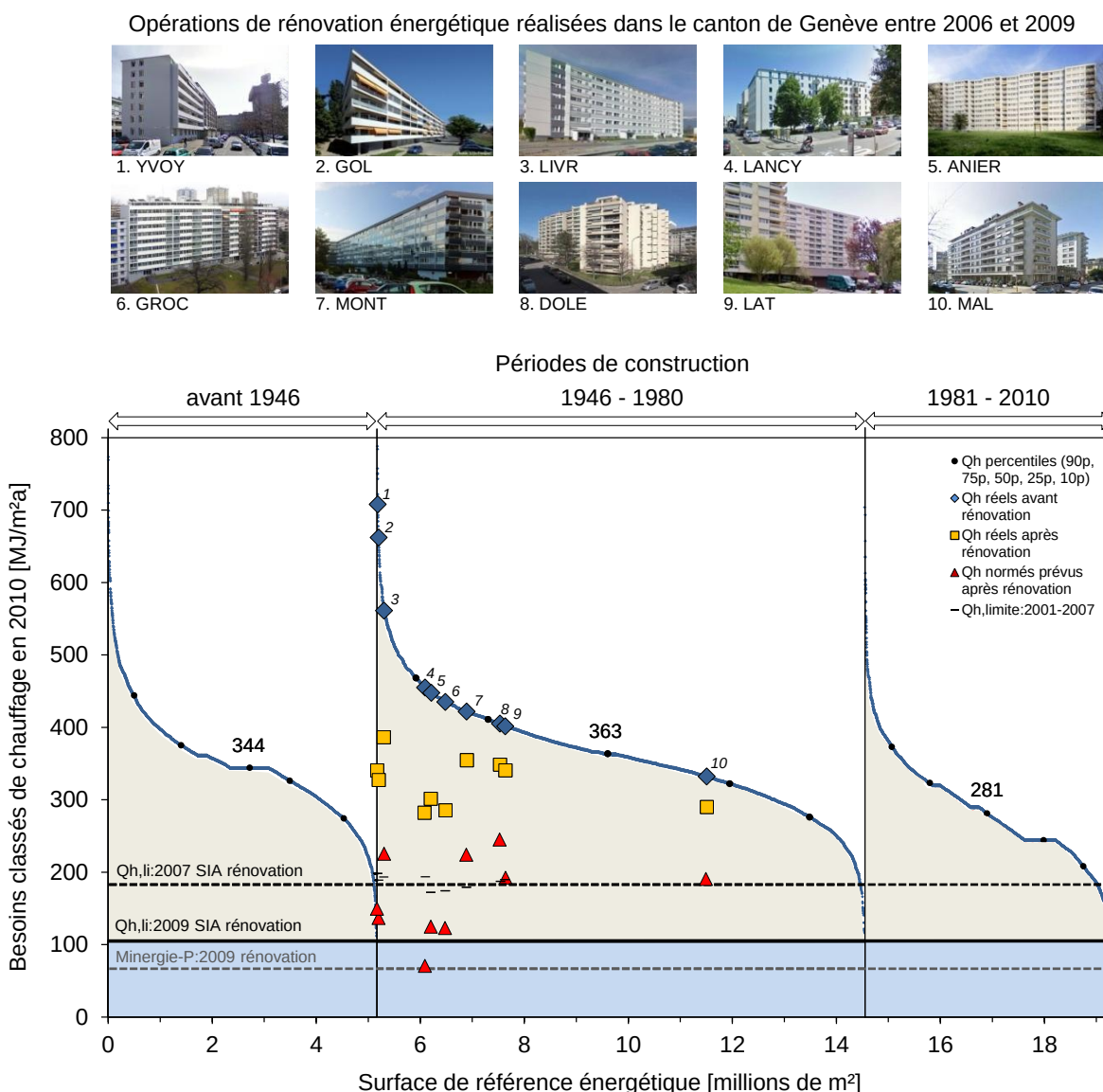
L'état des lieux détaillé établi dans la première partie de cette étude montre que les bâtiments destinés à l'habitat collectif sont responsables à eux seuls de près de la moitié de la consommation thermique du canton et des émissions de CO₂ du parc immobilier genevois. Environ la moitié de cette consommation et de ces émissions est imputée aux immeubles d'habitation construits après-guerre entre 1946 et 1980, qui arrivent aujourd'hui en période de rénovation et recèlent un fort potentiel d'économie d'énergie et de réduction des émissions de CO₂. L'analyse de la dynamique des rénovations enregistrées entre 2004 et 2012 dans le canton de Genève a mis en évidence une augmentation significative depuis 2010 des rénovations énergétiques d'immeubles d'habitation (augmentation du nombre et de la proportion énergie par rapport au total des rénovations énergie et non énergie). Le taux annuel moyen de rénovation énergétique de ces bâtiments a quadruplé entre les périodes 2004-2010 et 2011-2012, notamment en raison de l'arrivée de la vague de rénovations des ensembles résidentiels d'après-guerre et du durcissement de la réglementation sur l'énergie. Des pratiques différentes de rénovation selon le type de propriétaire ont pu être identifiées.

La seconde partie de l'étude s'intéresse à la performance réelle (énergétique et économique) des opérations de rénovation dans une perspective d'amélioration et de diffusion des bonnes pratiques. L'étude se base sur un retour d'expérience d'un bâtiment locatif construit en 1963 à Onex (GE) et rénové en 2008 selon le standard Minergie, et sur un benchmark d'un ensemble de 50 immeubles (10 opérations) rénovés à Genève entre 2006 et 2009. L'analyse énergétique a révélé que les besoins réels en chauffage des bâtiments rénovés étaient systématiquement supérieurs à ceux prévus par calcul. Les dépassements varient entre 43% et 142%, à l'exception d'une opération dont le dépassement a atteint 310%. Il ressort aussi que plus le potentiel prévu d'économie de chauffage est important, plus la part effectivement réalisée de ce potentiel est importante. Sur la base des observations effectuées, le coût global (travaux énergétiques et non énergétiques) à consacrer pour rénover au standard Minergie tous les immeubles d'habitation d'après-guerre à Genève serait de l'ordre de 10 milliards de CHF HT, soit près de 300 millions CHF par an d'ici à 2050 (sans considérer le surcoût lié à la conservation du patrimoine). Cela nécessite par conséquent un effort financier considérable de la part des propriétaires, des locataires et de l'Etat.

Dans la dernière partie de l'étude, nous évaluons le potentiel théorique d'économie d'énergie pour le chauffage du secteur résidentiel collectif genevois et proposons une série de recommandations concrètes visant à mobiliser plus efficacement ce potentiel. Cette étude arrive à la conclusion que l'atteinte des objectifs ambitieux fixés par la Confédération, en particulier ceux visant à réduire de moitié la consommation de chauffage à l'horizon 2050, s'avère très difficile sans une amélioration des pratiques de l'ensemble des acteurs de la filière de la rénovation, depuis l'audit jusqu'à l'usage des bâtiments par les occupants et les gestionnaires de l'énergie. Cela requiert également une stratégie globale et cohérente de rénovation des bâtiments à l'échelle du canton et des moyens supplémentaires pour assurer le suivi et le pilotage de la performance énergétique du parc immobilier cantonal.

La Figure 0.1 récapitule les principaux résultats obtenus dans le cadre de cette étude.

Figure 0.1. Schéma de synthèse illustrant les besoins classés de chauffage de l'ensemble des bâtiments résidentiels collectifs genevois en 2010, selon les trois grandes périodes de construction. Sont également indiqués les besoins réels et prévus de chauffage des 10 opérations de rénovation (50 immeubles) analysées, ainsi que le potentiel théorique d'économie d'énergie de chauffage calculé en utilisant la valeur limite $Q_{h,li}$ pour la rénovation selon la norme SIA 380/1:2009



Secteur résidentiel collectif genevois		Périodes de construction			
Situation en 2010		avant 1946	1946-1980	1981-2010	TOTAL
Nombre de bâtiments	[-]	3'831	5'240	3'531	12'602
Surface énergétique	[mio m²]	5.17	9.37	4.75	19.30
Besoin de chauffage	[GWh/a]	502 (27%)	945 (52%)	378 (21%)	1'825 (100%)
Potentiel théorique d'économie d'énergie de chauffage*	[GWh/a]	354 (28%)	677 (53%)	241 (19%)	1'272 (100%)

*Hypothèse : $Q_{h,li}$:2009, facteur d'enveloppe $A_{th}/A_E=0.7$

Mots-clés : rénovation énergétique, bâtiments résidentiels collectifs, Genève, état des lieux, retour d'expérience, Minergie, performance, potentiel d'économie d'énergie, comportement des usagers, coût, financement, parc immobilier, logement, stratégie énergétique suisse 2050

Abstract

A better understanding of energy efficiency in the Swiss building stock, currently insufficient at the local level, is fundamental to achieve the goals of the Swiss energy strategy 2050. This study focuses on energy retrofitting of multi-family residential buildings in Geneva, integrating technical, economical, financial and environmental aspects, as well as preservation of cultural heritage.

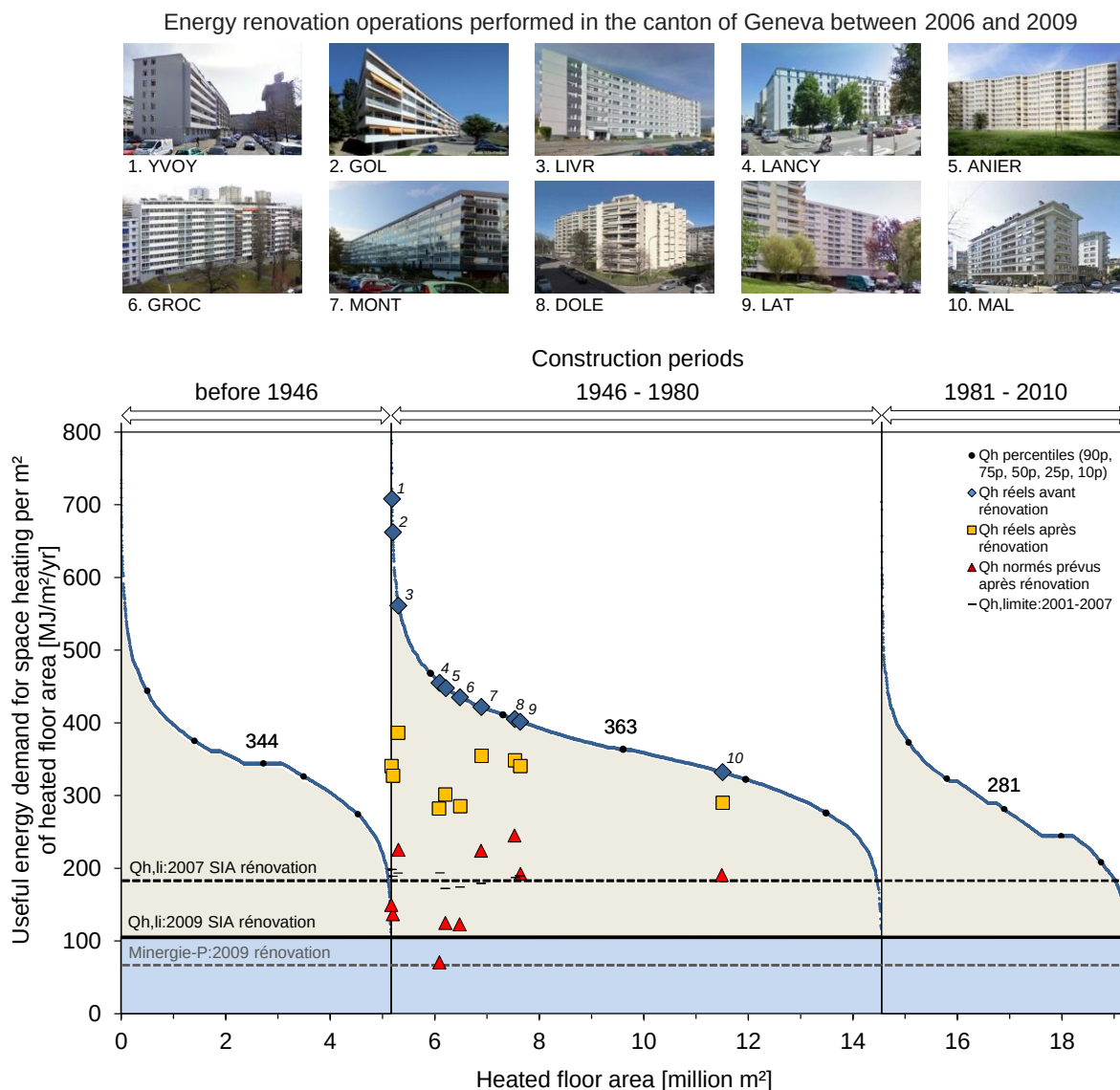
The current state of Geneva's building stock, presented in detail in the first part of this study, shows that multi-family residential buildings are responsible for almost half of the thermal energy consumption of the canton as well as half of the CO₂ emissions of all the building stock. About half of this consumption and these emissions are caused by post-war multi-family dwellings built between 1946 and 1980, which are nowadays in need of retrofit and possess a strong energy saving potential and CO₂ emissions reduction. The analysis of retrofit dynamics registered between 2004 and 2012 in the canton of Geneva shows a significant increase in energy retrofitting of residential buildings since 2010 (increase in number and share of energy retrofit in total of energy and non-energy retrofit). The average annual energy retrofit rate of these buildings has quadrupled between 2004-2010 and 2011-2012, due to the renovation boom of the post-war residential buildings and a tighter energy regulation.

The second part of this study deals with the real performance of retrofit actions with a focus on energy and economic aspects. The aim is to improve the actions undertaken and disseminate the best practices. The study is based on a monitoring campaign implemented in a multi-family building built in 1963 in Onex (GE) that was retrofitted according to the Minergie standard in 2008 and a benchmark study over 50 buildings (10 actions) retrofitted in Geneva between 2006 and 2009. The assessment of the energy performance of these actions shows that the real space heating demand of the retrofitted buildings is 43% to 142% higher than the expected calculated value, with one exception that has exceeded 310%. It also shows that the higher the predicted space heating saving potential is, the higher share of this potential will be reached in reality. On the basis of the observations made, the global retrofit cost (including energy related and non-related works) according to Minergie standard of the post-war multi-dwelling buildings in Geneva would be around 10 billion CHF before tax, which corresponds to around 300 million CHF per year until 2050 (without taking into account the extra cost related to heritage conservation). Therefore, achieving these goals will need a considerable financial effort from the owners, tenants and the State.

The last part of this study evaluates the theoretical energy saving potential for space heating in Geneva's multi-family building stock and provides concrete recommendations to mobilize efficiently this potential. The main conclusion is that the achievement of the ambitious goals set by the federal government, particularly those which aim to reduce by half the space heating demand by 2050, is hardly possible without an improvement of the current practices regarding the actors involved in building retrofit process (process that starts with the energy audit and ends with the use of the buildings by the occupants and energy managers). This also requires a global and coherent building retrofit strategy at cantonal level, as well as additional resources to ensure monitoring of the building stock energy performance.

A summary of the main results achieved may be found in the synthetic scheme below.

Figure 0.1. Synthetic scheme illustrating space heat use distribution of all multi-family residential buildings in the Canton of Geneva in 2010, according to the three major periods of construction. Also shown are effective and expected heating needs of the 10 retrofit actions (50 buildings) analysed, as well as the theoretical potential of energy saving for space heating by applying SIA 380/1:2009



Multi-dwelling buildings in Geneva		Period of construction			TOTAL
Situation in 2010		before 1946	1946-1980	1981-2010	
Number of buildings	[-]	3'831	5'240	3'531	12'602
Heated floor area	[mio m ²]	5.17	9.37	4.75	19.30
Total space heat use	[GWh/yr]	502 (27%)	945 (52%)	378 (21%)	1'825 (100%)
Theoretical energy savings potential (space heating)*	[GWh/yr]	354 (28%)	677 (53%)	241 (19%)	1'272 (100%)

*Hypothesis : Q_{h,li}:2009, compactness factor A_{th}/A_E=0.7

Keywords : energy retrofit, multi-family residential buildings, Geneva, current state, case studies, Minergie, renovation, performance, energy savings, energy efficiency potential, occupant behaviour, costs, financing, building stock, housing, Swiss energy strategy 2050

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	v
Abstract.....	vii
Table des matières	x
Acronymes.....	xiv

Chapitre 1 - Introduction générale	1

1.1 Contexte et enjeux	1
1.2 Objectifs et organisation de la thèse	4

Chapitre 2 - Etat des lieux du parc résidentiel collectif genevois en 2010.....	7

2.1 Introduction	7
2.2 Base documentaire et méthodologie.....	7
2.2.1 Année de référence	7
2.2.2 Révision de la statistique du domaine bâti en 2010.....	8
2.2.3 Données et documentation utilisées.....	9
2.3 Structure du parc immobilier genevois et périmètre de l'étude	11
2.3.1 Structure du parc immobilier genevois.....	11
2.3.2 Périmètre de l'étude : le secteur résidentiel collectif.....	14
2.4 Caractéristiques physiques du parc résidentiel collectif genevois	15
2.4.1 Surface de référence énergétique.....	15
2.4.2 Epoque de construction.....	25
2.4.3 Situation et typologie.....	27
2.5 Caractéristiques énergétiques du parc résidentiel collectif genevois.....	36
2.5.1 Données de base et hypothèses.....	36
2.5.2 Consommation thermique connue du secteur et flux d'énergie	43
2.5.3 Consommation thermique unitaire IDC en 2010.....	48
2.5.4 Consommation thermique globale estimée du secteur en 2010.....	62
2.5.5 Emissions de CO ₂ liées à la consommation thermique globale du secteur .	68
2.5.6 Demande thermique globale du secteur (chauffage et ECS).....	71
2.6 Autres caractéristiques du parc genevois.....	86
2.6.1 Conservation du patrimoine bâti.....	86
2.6.2 Statut d'occupation et type de propriété	101
2.6.3 Taux de rénovation global	105
2.7 Conclusions	107

Chapitre 3 - Dynamique récente des rénovations des immeubles résidentiels dans le canton de Genève (2004-2012) 111

3.1 Introduction	111
3.2 Contexte et objectifs	111
3.3 Base documentaire et méthodologie	113
3.3.1 Méthode de sélection des requêtes d'autorisation	113
3.3.2 Base documentaire.....	116
3.3.3 Codification des travaux soumis à autorisation.....	117
3.3.4 Définitions : « Energie » et « non Energie »	119
3.4 Présentations des résultats.....	119
3.4.1 Répartition des rénovations soumises à autorisation selon la nature des travaux « énergie » et « non énergie »	119
3.4.2 Répartition des rénovations énergétiques selon l'époque de construction des bâtiments et le type de travaux envisagés	122
3.4.3 Evolution du taux de rénovation énergétique entre 2004 et 2012	125
3.4.4 Qui rénove à Genève et quels travaux les propriétaires ont-ils envisagés ?	127
3.5 Conclusions	130

Chapitre 4 - Retour d'expérience sur un bâtiment rénové Minergie à Onex (GE).....133

4.1 Contexte de l'étude	133
4.1.1 Analyse bibliographique.....	133
4.1.2 Cadre de l'étude et contributions des auteurs.....	134
4.1.3 Contenu.....	135
4.2 Le bâtiment « Gros-Chêne 40-42 »	136
4.2.1 Contexte géographique : La Cité-Nouvelle d'Onex	136
4.2.2 Description du bâtiment	137
4.2.3 Concept de rénovation	143
4.2.4 Concept énergétique	145
4.2.5 Concept de mesure.....	149
4.3 Analyse énergétique	150
4.3.1 Hypothèses retenues	150
4.3.2 Performance énergétique avant travaux (période 2003-2007)	150
4.3.3 Performance énergétique après travaux (période 2008-2010).....	158
4.3.4 Evolution de la performance énergétique suite à la rénovation	163
4.3.5 Performance réelle versus prévue.....	171
4.3.6 Performance des systèmes techniques.....	175
4.3.7 Performance de l'enveloppe thermique	181
4.3.8 Influence du comportement des usagers sur la performance des loggias en hiver.....	190
4.3.9 Conclusions de l'analyse énergétique.....	203

4.4 Analyse technico-économique et aspects financiers	206
4.4.1 Introduction.....	206
4.4.2 Coût de la rénovation.....	207
4.4.3 Evaluation économique des solutions d'efficacité énergétique.....	210
4.4.4 Baisse effective des charges énergétiques	220
4.4.5 Répercussion du coût des travaux sur les loyers	223
4.4.6 Conclusions de l'analyse économique et financière	234
4.5 Mise en perspective des résultats avec d'autres opérations de rénovation	236
4.5.1 Introduction.....	236
4.5.2 Présentation des opérations sélectionnées	236
4.5.3 Performances énergétiques	240
4.5.4 Performances économiques	246
4.5.5 Conclusions de l'analyse comparative.....	250

Chapitre 5 - Potentiels d'économie d'énergie de chauffage des immeubles d'habitation : enjeux et propositions	253

5.1 Introduction	253
5.2 Evaluation du potentiel théorique d'économie d'énergie de chauffage en 2010	253
5.2.1 Potentiel théorique du secteur résidentiel collectif.....	253
5.2.2 Potentiel théorique des bâtiments d'après-guerre (1946-1980).....	256
5.3 Enjeux et propositions pour une meilleure mobilisation du potentiel.....	258
5.3.1 Aspects techniques et d'usage	258
5.3.2 Aspects de conservation du patrimoine	264
5.3.3 Aspects économiques et financiers	266
5.3.4 Aspects organisationnels et de gouvernance	274
5.4 Synthèse, limites et perspectives.....	277
5.4.1 Synthèse des propositions.....	277
5.4.2 Limites et perspectives	279

Chapitre 6 - Conclusions générales	281

Liste des Figures.....	287
Liste des Tableaux	295
Bibliographie	299
Annexes	305

Acronymes

AIE	Agence Internationale de l'Energie
APA	Demande d'autorisation de construire en procédure accélérée
CAD	Chauffage à distance
CADIOM	Chauffage à distance par l'incinération des ordures ménagères
CFC	Code des Frais de la Construction
CHF (HT)	Franc suisse (hors taxes)
CO ₂	Dioxyde de carbone (CO ₂ -éq : CO ₂ -équivalent)
COP	Coefficient de performance qui représente le rapport entre la chaleur fournie et l'électricité consommée
DAC	Direction des autorisations de construire de Genève
DALE	Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie
DCTI	Département des constructions et des technologies de l'information de l'Etat de Genève (actuellement DALE)
DIFC	Décompte individuel des frais de chauffage
DD	Demande définitive d'autorisation de construire
DJ	Degrés-jours de chauffage
ECS	Eau chaude sanitaire
EGID	Identifiant fédéral du bâtiment
EPFL	École polytechnique fédérale de Lausanne
FCBL	Fichier cantonal des bâtiments, des logements et des surfaces non résidentielles
IDC	Indice de dépense de chaleur (cf. définition 2.5.3.2)
IDPADR	Identifiant cantonal du bâtiment
IPMVP	Protocole de mesure et de vérification de l'efficacité énergétique
LCI	Loi sur les constructions et les installations diverses
LDTR	Loi sur les démolitions, transformations et rénovations de maisons d'habitation
LEn	Loi sur l'énergie
LPMNS	Loi sur la protection des monuments, de la nature et des sites
MoPEC	Modèle de prescriptions énergétiques des cantons
Natch	Surface totale non résidentielle estimée chauffée et/ou climatisée
Natot	Surface totale non résidentielle
OBLF	Ordonnance sur le bail à loyer et le bail à ferme d'habitations et de locaux commerciaux
OCEN	Office cantonal de l'énergie de Genève
OCSTAT	Office cantonal de la statistique de Genève
OFEN	Office fédéral de l'énergie
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFS	Office fédéral de la statistique
OPS	Office cantonal du patrimoine et des sites de Genève
PAC	Pompe à chaleur

pce	Pièce genevoise, y compris la cuisine
PCI	Pouvoir calorique inférieur d'un combustible
PCS	Pouvoir calorique supérieur d'un combustible (y compris la chaleur latente de vaporisation de l'eau produite par la combustion)
Q_h	Besoin de chaleur pour le chauffage (cf. définition 2.5.1.5)
$Q_{h,li}$	Valeur-limite des besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1
$Q_{h,ta}$	Valeur-cible des besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1
Q_{hww}	Besoin de chaleur pour le chauffage et l'ECS (cf. définition 2.5.1.5)
R	Résistance thermique en m^2K/W
RegBL	Registre fédéral des bâtiments et des logements
RFP	Recensement fédéral de la population
SIA	Société suisse des ingénieurs et des architectes
SITG	Système d'information du territoire à Genève
SMS	Service cantonal des monuments et des sites de Genève
SRE (ou A _E)	Surface de référence énergétique selon SIA 416/1 (cf. définition 2.4.1.1)
S _{res}	Surface habitable des logements
STAT-TAB	Banque de données statistiques interactive de l'OFS
U	Coefficient de transmission thermique en W/m^2K (cf. définition 4.3.7.1)
UC	Unité de consommation standard d'ECS définie comme la consommation moyenne journalière de 50 litres d'eau chaude à 55°C par personne, équivalent à 900 kWh par an et par personne
UE	Union Européenne
UNIGE	Université de Genève
VDF	Ventilation à double-flux

Normes SIA utilisées

SIA 380/1	L'énergie thermique dans le bâtiment
SIA 416/1	Indices de calcul pour les installations du bâtiment
SIA 381/3	Les degrés-jours en Suisse

Cahiers techniques SIA utilisés

SIA 2031	Certificat énergétique des bâtiments
SIA 2039	Mobilité - Consommation énergétique des bâtiments en fonction de leur localisation
SIA 2028	Données climatiques pour la physique du bâtiment, l'énergie et les installations du bâtiment

Unités de mesure énergie

1 KiloWatt heure (kWh)	=	3.6 Mégajoules (MJ)
1 MégaWatt heure (MWh)	=	3.6 Gigajoule (GJ)
1 GigaWatt heure (GWh)	=	1000 MégaWatt heure (MWh)
1 TéraWatt heure (TWh)	=	1000 GigaWatt heure (GWh)

Chapitre 1 - Introduction générale

1.1 Contexte et enjeux

L'accident nucléaire survenu à la centrale de Fukushima en mars 2011 a conduit certains pays, comme l'Allemagne, le Japon et la Suisse à revoir leur stratégie énergétique. En Suisse, le Conseil fédéral et le Parlement ont décidé quelques mois après l'accident la sortie progressive de l'énergie nucléaire. Cette décision nécessite d'ici 2050 de transformer par étapes le système énergétique du pays, en réduisant la consommation finale d'énergie et d'électricité, en promouvant les énergies renouvelables et en diminuant progressivement les émissions de CO₂. Il s'agit de tendre à long terme vers une société à 2000 watts¹ sans nucléaire.

Parmi les 3 variantes étudiées, le Conseil Fédéral a retenu pour la nouvelle Stratégie énergétique 2050, le scénario « Nouvelle politique énergétique (NPE) » qui représente à la fois le scénario le plus exigeant au niveau énergétique et celui qui permet de réduire d'ici à 2050 les émissions annuelles de CO₂ à un niveau compris entre 1 et 1.5 tonne par habitant.

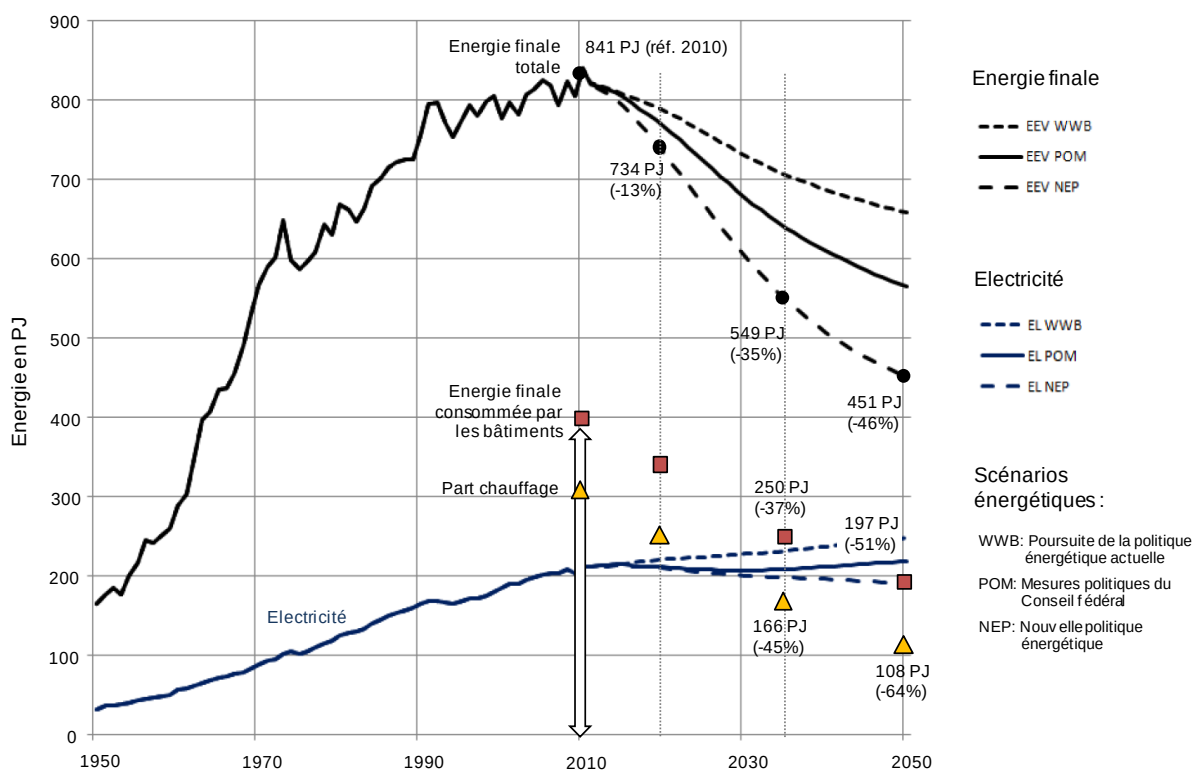
Les objectifs énergétiques fixés à l'horizon 2050 sont les suivants [1]:

- Une réduction de la consommation nationale d'énergie finale par rapport à 2010, de 35% jusqu'en 2035 à 549 PJ (152 TWh) et de 46% jusqu'en 2050 pour atteindre 451 PJ (125 TWh) ;
- Une légère augmentation de la demande d'électricité jusqu'en 2020 avant de fléchir à 191 PJ (53 TWh) à l'horizon 2050.

La Figure 1.1 illustre l'évolution de la consommation d'énergie finale et d'électricité en Suisse exprimée en pétajoule (PJ) à l'horizon 2050 pour les scénarios suivants : Poursuite de la politique énergétique actuelle (WWB), Mesures politiques du Conseil fédéral (POM) et Nouvelle politique énergétique (NEP). Cette figure représente également l'énergie finale consommée par le secteur du bâtiment et celle consacrée au chauffage des pièces selon le scénario retenu « Nouvelle politique énergétique ».

¹ Vision à long terme, développée dans les années 90 par l'Ecole polytechnique de Zurich et Novatlantis, d'une société dans laquelle la consommation moyenne annuelle par tête d'habitant ne dépasse pas 2'000 watts en continu ou 17'500 kWh. Pour plus d'infos, consulter la publication de Novatlantis [96].

Figure 1.1. Evolution de la consommation d'énergie finale et d'électricité en Suisse de 1950 à 2010 et projections sur la période 2011-2050 pour les scénarios : Poursuite de la politique énergétique actuelle (WWB), Mesures politiques du Conseil fédéral (POM) et Nouvelle politique énergétique (NEP), en PJ (3.6 PJ = 1 TWh). Les projections ont été réalisées par Prognos AG [2] et le graphique a été repris et adapté du rapport explicatif sur la stratégie énergétique 2050 de l'OFEN [1]



Pour y parvenir, il est impératif d'agir rapidement en Suisse sur le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire), qui représente à la fois le plus grand consommateur d'énergie finale et un des plus importants émetteurs de CO₂. En 2010, il représentait à lui seul 46% de l'énergie finale consommée, soit près de 400 PJ (110 TWh). Le secteur résidentiel (collectif et individuel) est responsable de 28% de la consommation totale d'énergie et de près du quart des émissions de CO₂ de la Suisse [3].

Les bâtiments jouent de ce fait un rôle clé dans la réalisation des objectifs de la Stratégie énergétique 2050. Par rapport à 2010, il est prévu de réduire la consommation d'énergie finale (électricité comprise) de ce secteur de 37% jusqu'en 2035 à 250 PJ (70 TWh) et de 51% jusqu'en 2050 pour atteindre 197 PJ (55 TWh) [1]. Pour le chauffage, les objectifs de réduction fixés sont respectivement de 45% et 64%, et ce malgré l'augmentation de la surface chauffée du parc en raison notamment de l'accroissement démographique attendu. Les résultats sont représentés graphiquement sur la Figure 1.1.

Si la volonté de tendre vers ces objectifs d'économie d'énergie est certaine au niveau fédéral, la trajectoire à suivre mérite toutefois d'être analysée de plus près. A ce sujet, plusieurs questions se posent :

- Dans quelles mesures, à quels coûts et dans quels délais ses prévisions d'économie d'énergie sont-elles atteignables ?
- Quels sont les leviers et les outils les plus adaptés pour lever les obstacles encore existants et exploiter pleinement le potentiel d'économie d'énergie ? Y-a-t-il une vitesse critique pour l'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'existant ?

- Les connaissances actuelles sur les caractéristiques physiques et énergétiques des bâtiments, sur la dynamique du marché de rénovation énergétique et sur les pratiques des acteurs impliqués, sont-elles suffisantes pour pouvoir piloter ce changement ?

De manière générale, l'atteinte de tels objectifs ambitieux à l'horizon 2050 nécessitera d'améliorer en priorité l'efficacité énergétique en utilisant moins d'énergie pour le même service énergétique, et cela par des actions techniques et comportementales à tous les niveaux, de la production à l'utilisation, en passant par la distribution ; de changer les pratiques et les comportements à l'égard de l'utilisation de l'énergie (sobriété énergétique) ; et enfin de valoriser efficacement les ressources renouvelables et les rejets thermiques sur le territoire.

Ce travail a essentiellement porté sur l'efficacité énergétique et l'usage de l'énergie dans les bâtiments, en intégrant au mieux les aspects techniques, sociaux, économiques, financiers, politiques, environnementaux et de conservation du patrimoine. Le troisième pilier, à savoir le recours aux énergies renouvelables et à la valorisation des rejets de chaleur, est indispensable à l'atteinte des objectifs fixés en matière de politique énergétique et climatique. Même s'il ne constitue pas le corps de ce travail, il a néanmoins été abordé aussi bien dans l'étude de cas que dans l'état des lieux. Etant donné que la mise en œuvre de la politique énergétique dans le bâtiment relève essentiellement de la compétence des cantons en Suisse, nous avons choisi de limiter le périmètre géographique de l'étude à celui du canton de Genève.

Compte tenu du faible taux de renouvellement du parc de logements genevois (< 1%/an) et du renforcement des réglementations thermiques pour les constructions neuves, les principaux efforts d'amélioration de l'efficacité énergétique doivent se concentrer sur les bâtiments existants, en particulier sur le parc résidentiel collectif construit avant l'introduction des premières réglementations thermiques.

Les bâtiments d'habitation construits à Genève durant la période d'après-guerre, entre 1946 et 1980, arrivent aujourd'hui en période de rénovation. Ils présentent un indice moyen de dépense de chaleur (IDC) élevé qui se situe à 513 MJ/m²a en 2010, et qui dépasse ainsi celui des bâtiments édifiés avant 1946 (IDC moyen de 481 MJ/m²a). Le défi majeur consiste dès lors à réussir la rénovation énergétique de ces bâtiments qui constituent un gisement important d'économie d'énergie et de réduction des émissions de CO₂.

Certains de ces bâtiments ont déjà subi des travaux d'amélioration énergétique. Dès lors, il serait du plus grand intérêt de savoir quelles ont été les solutions d'efficacité énergétique retenues, les motivations et difficultés rencontrées, ainsi que les performances réelles énergétiques et économiques de ces rénovations, dans une perspective d'amélioration des pratiques et de leur promotion.

Le potentiel d'économie d'énergie issu de l'amélioration énergétique de ces bâtiments est particulièrement important, mais reste encore largement sous-exploité. A l'heure actuelle, les données statistiques publiées au niveau cantonal ne permettent toutefois pas de déterminer le taux de rénovation énergétique, ni d'évaluer la qualité des rénovations effectuées. On note aussi que les rénovations énergétiques de bâtiments destinés à l'habitat collectif font encore très peu l'objet de retours d'expérience.

Si l'on considère le taux de rénovation énergétique de 0.9% estimé par les experts [4] pour l'ensemble des bâtiments au niveau national, il faudra à ce rythme plus de 100 ans pour rénover énergétiquement le parc existant. On constate aussi que les bâtiments résidentiels rénovés énergétiquement et certifiés selon le label de haute performance énergétique Minergie ne constituent que 6% du total des bâtiments certifiés en Suisse durant l'année 2013 (202 bâtiments sur un total de 3'340 bâtiments, tous standards confondus). Le reste concerne des constructions neuves [5]. Cela met en évidence le faible taux de pénétration du label dans l'existant.

Pour satisfaire les objectifs de réduction fixés à l'horizon 2050, il est nécessaire d'accélérer le rythme annuel des rénovations ainsi que la qualité des opérations de rénovation énergétique. Cela nécessite de lever un certain nombre de contraintes, qui sont notamment d'ordre technique, d'usage, de conservation du patrimoine, d'ordre économique et financier ou encore organisationnel et de gouvernance. Ces contraintes sont par ailleurs relativement bien connues et documentées dans des études comme celles menées par le BPIE [6] et par Itard et al. au sein de l'Université de technologie de Delft [7].

S'agissant du parc de logements collectifs genevois, nous pensons qu'il est urgent dans un premier temps d'accroître les connaissances actuelles sur :

- les caractéristiques physiques, énergétiques et structurelles du parc existant, sur la dynamique du marché de rénovation énergétique et sur les pratiques des acteurs impliqués ;
- l'amplitude et la nature des écarts observés entre les performances énergétiques prévues et atteintes lors de travaux de rénovation énergétique ;
- le potentiel réalisable d'efficacité énergétique pour le chauffage des bâtiments existants et les principaux leviers à utiliser pour mobiliser davantage ce potentiel.

1.2 Objectifs et organisation de la thèse

Dans un contexte énergétique, réglementaire et économique en pleine évolution et compte tenu des nombreux enjeux et défis liés à la rénovation énergétique du parc immobilier, les principaux objectifs de ce travail consistent à :

- améliorer les connaissances actuelles sur les caractéristiques physiques, énergétiques et structurelles du parc résidentiel collectif genevois, sur la dynamique du marché de la rénovation énergétique et sur les pratiques des acteurs de cette filière ;
- confronter les performances énergétiques réelles atteintes par les bâtiments rénovés avec celles prédites par calcul (évaluations *ex-post* versus *ex-ante*). Les écarts sur les économies d'énergie gagneront à être connus afin d'orienter au mieux les politiques énergétiques dans le domaine du bâtiment et de rendre plus robuste les prédictions d'économie d'énergie à l'horizon 2050 ;
- évaluer le potentiel théorique d'économie d'énergie pour le chauffage des bâtiments du secteur résidentiel collectif genevois et proposer des recommandations concrètes visant à mobiliser davantage ce potentiel.

Ce premier chapitre introductif présente la problématique générale de notre étude ainsi que le contexte dans lequel s'inscrit ce travail de thèse.

Le Chapitre 2 dresse un état des lieux des caractéristiques physiques et des performances énergétiques du parc résidentiel collectif genevois en 2010, fondé sur des données récupérées auprès de l'administration genevoise. Il couvre également les aspects liés à la conservation du patrimoine et ceux associés au statut d'occupation et au type de propriété. L'état des lieux établi dans cette partie nous semble indispensable pour mieux comprendre les enjeux liés à la rénovation thermique de ces bâtiments.

Le Chapitre 3 analyse la dynamique des rénovations des immeubles résidentiels collectifs à Genève, en se basant sur les requêtes d'autorisation entrant à l'Office cantonal de l'énergie entre 2004 et 2012. Il renseigne sur l'évolution du taux de rénovation énergétique des bâtiments sur cette période, ainsi que sur la nature et le type de travaux envisagés, l'époque de construction des bâtiments concernés et le type de propriétaires impliqués.

Le Chapitre 4 s'intéresse à la performance réelle des opérations de rénovation dans une perspective d'amélioration et de diffusion des bonnes pratiques. L'étude se base d'une part sur un retour d'expérience d'un bâtiment locatif construit en 1963 à Onex (GE) et rénové en 2008 selon le standard Minergie, et d'autre part sur un benchmark d'un ensemble de 50 immeubles (10 opérations) rénovés à Genève entre 2006 et 2009. L'analyse se concentre dans cette partie sur les bâtiments d'habitation construits après-guerre entre 1946 et 1980 qui arrivent aujourd'hui en période de rénovation et recèlent un gisement important d'économie d'énergie et de réduction des émissions de CO₂.

Le retour d'expérience, effectué sur deux années complètes du 1^{er} octobre 2008 à fin septembre 2010, a porté aussi bien sur les aspects énergétiques qu'économiques. Après une description du bâtiment étudié et des travaux de rénovation effectués, ce chapitre présente :

- d'abord, une analyse énergétique approfondie comprenant une évaluation de la performance énergétique du bâtiment avant et après rénovation, ainsi qu'une analyse des écarts constatés entre les objectifs énergétiques fixés et les résultats atteints. Nous analyserons aussi la performance des sous-systèmes (enveloppe thermique, système de ventilation à double-flux et installation solaire thermique) ainsi que l'influence du comportement des usagers sur la performance des balcons vitrés.
- ensuite, une analyse technico-économique et des aspects financiers comprenant une récapitulation des coûts de l'opération et une évaluation économique des sous-systèmes. Une analyse de l'incidence des coûts de rénovation sur les loyers et de la répartition du financement entre propriétaire, locataire et Etat, selon l'ancienne et la nouvelle LDTR (Loi sur les démolitions, transformations et rénovations de maisons d'habitation) sera également proposée.
- enfin, une analyse comparative de la performance énergétique et économique du bâtiment étudié avec neuf autres opérations de rénovations réalisées récemment à Genève vient compléter ce chapitre.

Le Chapitre 5 évalue le potentiel théorique d'économie d'énergie de chauffage des bâtiments résidentiels collectifs, en particulier ceux construits entre 1946 et 1980 à Genève. Ce chapitre aborde aussi les grands enjeux et défis liés à la mobilisation de ce potentiel et propose sur la base des résultats obtenus dans ce travail et de l'expérience acquise au cours de ce parcours de recherche douze recommandations pour exploiter plus efficacement ce potentiel.

Enfin, le dernier chapitre expose les conclusions générales de ce travail.

Chapitre 2 - Etat des lieux du parc résidentiel collectif genevois en 2010

2.1 Introduction

Ce chapitre dresse un état des lieux des caractéristiques physiques et des performances énergétiques du parc résidentiel collectif genevois en 2010, fondé sur des données récupérées auprès de l'administration genevoise. Le champ de l'étude couvre également les aspects liés à la conservation du patrimoine et ceux associés au statut d'occupation et au type de propriété.

Cette première étape nous semble indispensable pour mieux comprendre les enjeux liés à la rénovation thermique de ces bâtiments, et d'ainsi pouvoir proposer à la fin de ce travail des pistes d'action pour mobiliser l'important potentiel d'économie d'énergie qui est offert.

2.2 Base documentaire et méthodologie

2.2.1 Année de référence

L'état des lieux présenté dans ce chapitre porte sur l'année de référence 2010. Plus en détail, la statistique des bâtiments et des logements se réfère à la situation au 31 décembre de l'année considérée, tandis que la consommation énergétique des bâtiments s'étend sur 12 mois consécutifs et correspond habituellement à la saison de chauffage, du 1er mai 2009 au 30 avril 2010. Trois raisons principales justifient le choix de cette année charnière :

- Au niveau cantonal, l'année 2010 a été marquée par l'entrée en vigueur, le 5 août, de la nouvelle loi sur l'énergie et de son règlement d'application. Dans ce cadre, le mode de calcul de l'indice de dépense de chaleur IDC² a été modifié en 2011 et les nouveaux indices sont désormais calculés sur la base de la nouvelle directive. A l'heure actuelle (janvier 2014), les données énergétiques les plus complètes qui existent sont celles de l'année 2010, retenues dans ce travail.
- Au niveau national, de nombreux règlements, normes et statistiques ont été modifiés et sont entrés en vigueur entre 2009 et 2010. Nous citerons à titre d'exemple, la

² L'IDC est un indicateur de la consommation d'énergie d'un bâtiment (chauffage et eau chaude sanitaire). Il est défini et discuté au point 2.5.3 de ce chapitre.

révision du Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC), le renforcement des exigences thermiques pour les nouvelles constructions et les rénovations avec l'entrée en vigueur de la nouvelle norme SIA 380/1 (édition 2009) « L'énergie thermique dans les bâtiments » et l'ajustement par conséquent des exigences du standard Minergie. Enfin, la révision totale de la statistique nationale et cantonale du domaine bâti en 2010, présentée au point 2.2.2, a été un facteur déterminant dans le choix de l'année.

- Au niveau international, la période post-2010 a été marquée par une réorientation « majeure » des politiques énergétiques dans plusieurs pays (Allemagne, Suisse, Japon, etc.) à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima en mars 2011. Dans sa nouvelle stratégie, le Conseil fédéral a décidé l'abandon progressif du nucléaire, visant à transformer par étapes le système énergétique suisse d'ici 2050. Ainsi, l'établissement d'un état des lieux en 2010 pourrait servir comme situation de référence pour cette période de transition.

2.2.2 Révision de la statistique du domaine bâti en 2010

Au niveau fédéral, les relevés des bâtiments et des logements étaient établis tous les dix ans à partir d'une enquête exhaustive menée auprès des propriétaires et des gérants d'immeubles et faisaient partie intégrante des recensements de la population (RFP). Lors du dernier recensement de 2000, l'Office fédéral de la statistique (OFS) a mis en place un Registre fédéral des bâtiments et des logements (RegBL) qui permet de fournir des résultats plus fréquents et compatibles sur le plan européen. Le premier recensement fédéral par registre a vu le jour en décembre 2010.

Ce changement méthodologique au niveau fédéral (passage de l'enquête directe au relevé des registres) a amené en 2010 à la révision totale de la statistique du domaine bâti à Genève. Depuis, l'Office cantonal de la statistique (OCSTAT) de Genève fonde la statistique du parc immobilier sur le fichier cantonal des bâtiments et des logements, indiqué ci-après fichier FCBL, mise en production en décembre 2010.

Ce fichier est établi à partir des informations collectées lors du recensement de la population, des bâtiments et des logements de 2000 et mises à jour chaque trimestre par l'administration sur la base de la statistique de la construction et des logements, ainsi que des échanges entretenus avec les gérants d'immeubles. Il convient de souligner que les résultats publiés par l'OCSTAT dès la fin de l'année 2010 ne sont pas comparables avec les données antérieures.

Avant 2010, l'OCSTAT établissait les statistiques sur la base de deux fichiers séparés : le premier contenait les données sur les bâtiments d'habitation et les logements associés, alors que le second fournissait des renseignements sur les locaux non résidentiels. Ainsi, un même bâtiment d'habitation avec usage annexe (commerce, etc.) pouvait être décrit différemment dans chacun des deux fichiers ; ce qui nécessitait de coupler ces fichiers.

Etant donné que la mutation statistique est parvenue au milieu de la thèse, l'analyse du parc résidentiel fondée sur les fichiers statistiques d'avant 2010 a été interrompue au cours de l'année 2011 et le travail a été repris en 2013 en utilisant le nouveau fichier FCBL.

2.2.3 Données et documentation utilisées

Les données utilisées pour établir le diagnostic du parc résidentiel collectif genevois ont été recueillies auprès des autorités cantonales compétentes et de personnes ressources. Parmi les sources les plus utilisées, on citera :

- Le fichier FCBL (fichier cantonal des bâtiments et des logements) transmis par l'Office cantonal de la statistique de Genève, état à juin 2012 (version révisée des données).

Ce fichier contient « l'ensemble des bâtiments d'habitation comportant au moins un logement habité ou habitable ainsi que les bâtiments destinés à une activité économique, pour peu que leur emprise au sol soit égale ou supérieure à 20 m², les logements et les surfaces destinées à une activité des secteurs secondaire et tertiaire³ » [8].

- Les publications de l'Office cantonal de la statistique de Genève (domaines consultés : population, énergie, construction et logement), téléchargeables à l'adresse suivante : <http://www.ge.ch/statistique/>.
- La banque de données statistiques interactive STAT-TAB de l'Office fédéral de la statistique (OFS), en particulier les thèmes liées à la rubrique : Bâtiments et logements.
- Le fichier "énergie" transmis par l'Office cantonal de l'énergie (OCEN), état à juin 2012. Ce fichier contient les données énergétiques pour l'année 2010 des bâtiments regroupant au moins cinq preneurs de chaleur à Genève: agent énergétique, quantité d'énergie consommée, indice de dépense de chaleur IDC, surface de référence énergétique, etc.
- Les fichiers contenant la liste des installations solaires thermiques ayant fait l'objet d'une demande de subvention auprès de l'OCEN entre 1999 et 2009, et de celles installées par la Ville de Genève sur son parc de bâtiments entre 1984 et 2011 (données communiquées par le Service de l'énergie de la Ville de Genève).
- Un recensement des bâtiments touchés par des mesures de conservation du patrimoine, qui se base sur un décompte tiré du SITG réalisé dans le cadre d'un travail de master à l'UNIGE [9], ainsi qu'une évaluation chiffrée fournie par le directeur du Service cantonal des monuments et des sites [10].

Nous tenons à remercier sincèrement toutes les personnes qui nous ont aidées à obtenir ces données, sans quoi il n'aurait pas été possible de réaliser ce travail. Ces données ont été analysées, puis compilées en utilisant les identifiants cantonal et fédéral des bâtiments (EGID et IDPADR).

³ Sont exclus par exemple du fichier FCBL, les piscines, les vérandas, les cabanes de jardin et les garages privés.

Remarque sur la cohérence des données

A fin 2010, le fichier FCBL se compose de 47'139 bâtiments qui se répartissent comme suit : 41'382 bâtiments à usage d'habitation et 5'757 bâtiments exclusivement destinés à une activité économique. Ce résultat est très proche des 47'156 bâtiments recensés par l'OCSTAT dans sa version révisée à fin 2010 [11].

Une comparaison entre les données du fichier FCBL et celles publiées par l'Office cantonal de la statistique OCSTAT est présentée pour les différentes catégories du parc immobilier genevois dans le tableau de synthèse à l'Annexe A2.

De manière générale, les écarts entre les données sont minimes (moins de 4%). En ce qui concerne les bâtiments partiellement à usage d'habitation, les différences observées peuvent s'expliquer par le fait que le fichier FCBL (état à juin 2012) tient compte des dernières modifications apportées à cette catégorie après la publication officielle de 2010. De ce fait, nos données sont plus proches des valeurs indiquées dans la statistique 2011 que celle de 2010.

Après vérification de la cohérence de nos données avec les publications officielles, tous les résultats présentés dans ce chapitre seront générés à partir du fichier FCBL.

Quelques définitions

Les principaux termes utilisés dans ce chapitre concernant le bâtiment, le logement et le non résidentiel sont définis dans le glossaire présenté à l'Annexe A1. Ces définitions proviennent essentiellement du catalogue des caractères du fichier cantonal des bâtiments et des logements publié par l'OCSTAT [12]. Nous citons brièvement ces deux définitions :

- Par « *bâtiment d'habitation* », on entend toute construction indépendante ou séparée d'une autre par un mur mitoyen, habitée ou habitable. Dans le cas de maisons jumelées, en groupe ou en rangée, chaque construction ayant son propre accès depuis l'extérieur et séparée des autres par un mur mitoyen porteur vertical allant du rez-de-chaussée au toit est considérée comme un bâtiment à part.
- Par « *logement* », on entend l'ensemble des pièces constituant une unité de construction qui a un accès autonome depuis l'extérieur ou depuis un espace commun à l'intérieur du bâtiment (cage d'escaliers) et qui dispose d'un équipement de cuisine (cuisine, cuisinette ou coin cuisine), sinon il s'agit de pièce d'habitation indépendante. Une maison individuelle comporte un seul logement.

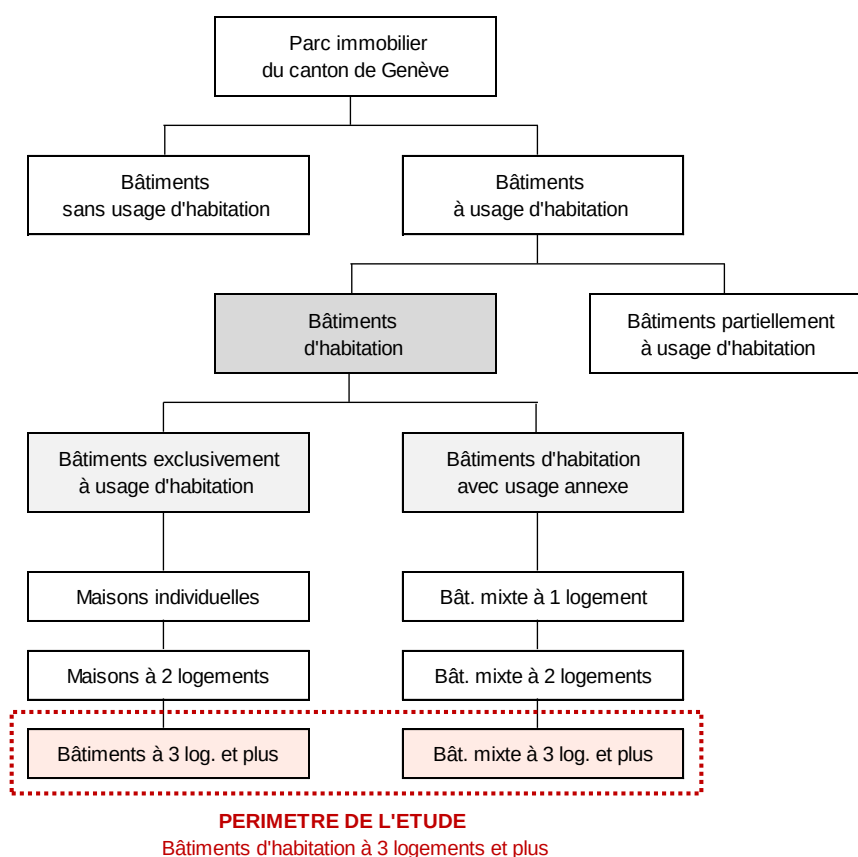
Enfin, nous définissons le « *secteur résidentiel collectif* » comme l'ensemble des bâtiments exclusivement destinés à l'habitation et des bâtiments mixtes (principalement destinés à l'habitation avec usage annexe) composés de 3 logements et plus.

2.3 Structure du parc immobilier genevois et périmètre de l'étude

2.3.1 Structure du parc immobilier genevois

A la fin de l'année 2010, le canton de Genève compte un peu plus de 47'000 bâtiments répartis en deux grandes catégories : les bâtiments sans usage d'habitation et les bâtiments à usage d'habitation. La Figure 2.1 présente la structure du parc immobilier genevois selon la catégorie de bâtiments, comme définie par l'Office fédéral de la statistique [13], et montre le périmètre de l'étude : le secteur résidentiel collectif.

Figure 2.1. Structure du parc immobilier genevois



Le Tableau 2.1 donne la répartition de l'ensemble des bâtiments du canton de Genève par catégories selon le nombre de bâtiments et la surface de référence énergétique (SRE) pour l'année 2010. Les résultats obtenus sont également illustrés sur la Figure 2.2 (bâtiments à gauche et surface à droite) et montrent une répartition par catégorie bien différente selon le choix de l'indicateur.

On note que la répartition des bâtiments se fonde sur les données du fichier FCBL, tandis que les méthodes utilisées pour calculer les surfaces sont présentées et explicitées au point 2.4.1 de ce chapitre. Un ensemble d'informations (bâtiments, logements, population résidente et SRE) relatives aux différentes catégories du domaine bâti à Genève figurent aussi dans le tableau de synthèse à l'Annexe A2.

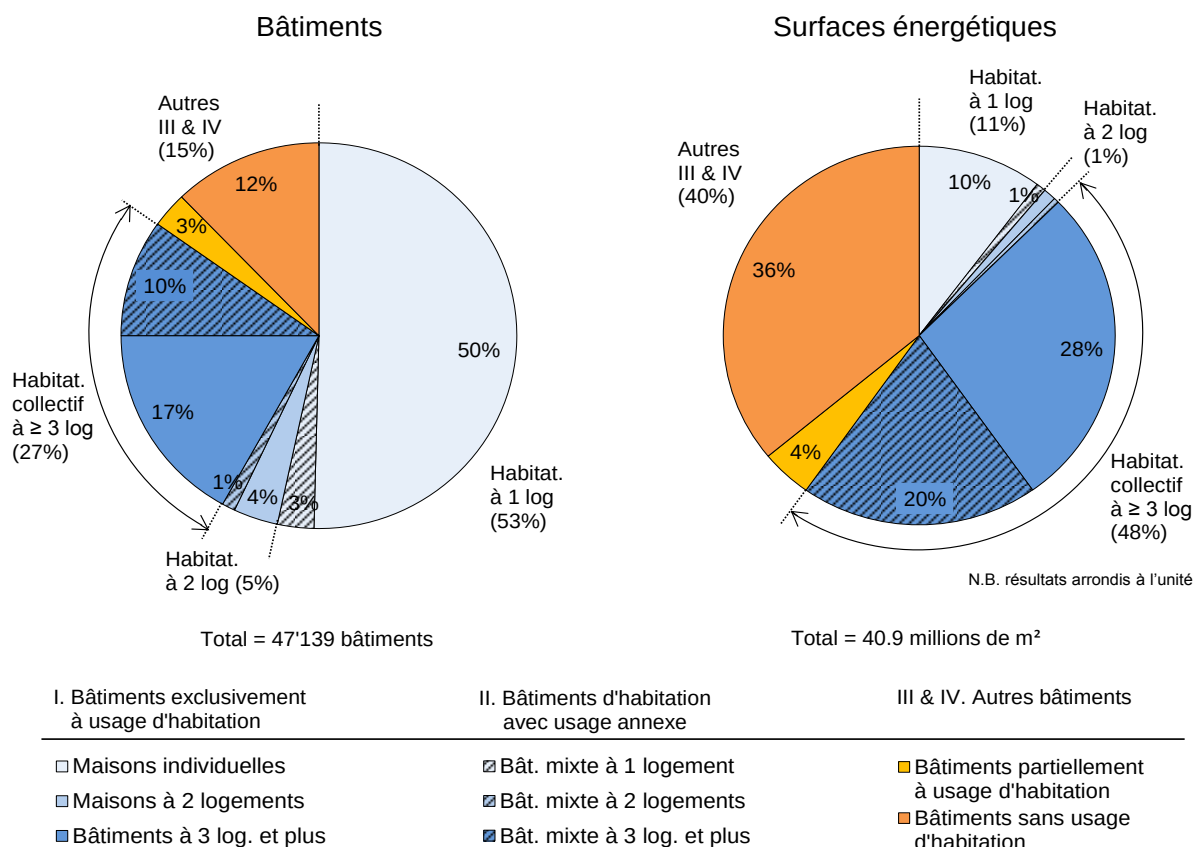
Tableau 2.1. Segmentation du parc immobilier genevois par catégories en 2010

Catégories de bâtiment en 2010	Bâtiments (1)		SRE (2)	
	Nombre	[%]	[mio m ²]	[%]
I+II+III. Bâtiments à usage d'habitation	41'382	88%	26.2	64%
I+II. Bâtiments d'habitation	39'987	85%	24.4	60%
I. Bâtiments exclusivement à usage d'habitation	33'443	71%	15.9	39%
I.A. Maisons individuelles	23'758	50.4%	4.2	10.3%
I.B1. Maisons à 2 logements	1'715	3.6%	0.4	1.1%
I.B2. Bâtiments à 3 log. et plus	7'970	16.9%	11.3	27.6%
II. Bâtiments d'habitation avec usage annexe	6'544	14%	8.5	21%
II.A. Bât. mixte à 1 logement	1'404	3.0%	0.3	0.8%
II.B1. Bât. mixte à 2 logements	508	1.1%	0.2	0.4%
II.B2. Bât. mixte à 3 log. et plus	4'632	9.8%	8.0	19.6%
III. Bâtiments partiellement à usage d'habitation	1'395	3%	1.7	4%
IV. Bâtiments sans usage d'habitation	5'757	12%	14.7	36%
Total des bâtiments dans le canton de Genève	47'139	100%	40.9	100%

(1) Résultats générés à partir du fichier FCBL

(2) Se référer au point 2.4.1 pour le calcul de la SRE

Figure 2.2. Structure du parc immobilier genevois par catégories selon le nombre de bâtiments (à gauche) et la surface de référence énergétique SRE (à droite) en 2010



Bâtiments sans usage d'habitation (Catégorie IV)

Les bâtiments sans usage d'habitation représentent 12% des bâtiments du canton en 2010. Cette catégorie regroupe près de 5'700 bâtiments non résidentiels exclusivement destinés à une activité économique des secteurs secondaire et tertiaire. Leur surface de référence énergétique est estimée à 14.7 millions de m², soit environ un tiers de la surface totale énergétique du parc immobilier genevois. Entre 2000 et 2010, la surface nette totale de ces locaux (y compris les surfaces non énergétiques) a augmenté de 10%, atteignant 16.7 millions de m² à fin 2010 [14].

Les locaux non résidentiels sont très hétérogènes et se répartissent en 16 types d'affectation précisés dans le glossaire à l'Annexe A1. Les locaux administratifs représentent plus du quart (26%) de la surface totale, suivis par les locaux de stockage et d'entreposage (13%), les parkings privés (11%), les locaux industriels (9%) et les locaux commerciaux (8%). Enfin, les locaux destinés à l'éducation et à la recherche, ainsi que ceux destinés à la restauration et l'hôtellerie représentent chacun près de 7% de la surface totale (le reste étant sous la barre des 4%).

Bâtiments à usage d'habitation (Catégories I, II et III)

Le canton compte à fin 2010 près de 41'000 bâtiments à usage d'habitation (88% du total), dont la grande majorité (97%) sont des bâtiments d'habitation (cf. Tableau 2.1). Ces derniers réunissent les bâtiments exclusivement à usage d'habitation (maisons individuelles et maisons à plusieurs logements) et les bâtiments avec usage annexe (bâtiments mixtes utilisés principalement à des fins d'habitation).

Les résultats montrent que les maisons individuelles, qui représentent près de la moitié de l'ensemble des bâtiments, ne constituent qu'environ 10% de la surface totale énergétique à Genève (cf. Figure 2.2). Tandis que les bâtiments résidentiels collectifs (habitation pur et habitation mixte à 3 logements et plus) bien que moins nombreux (27% du total), représentent presque la moitié (47%) des planchers chauffés du parc immobilier genevois.

Finalement, les bâtiments partiellement à usage d'habitation forment une part très modeste du parc genevois : 3% des bâtiments et 4% de la surface totale. Ces bâtiments sont principalement destinés à une activité économique comprenant au moins un logement ou des locaux pour les ménages collectifs et l'habitat communautaire.

Dans l'ensemble, la structure du parc de bâtiments à usage d'habitation à Genève est assez similaire à celle du parc suisse. Le Tableau 2.2 permet de montrer que dans les deux cas les bâtiments exclusivement à usage d'habitation dominent avec 81% à Genève et 83% en Suisse. Dans cette catégorie, les parts respectives de maisons individuelles et de bâtiments comprenant deux logements et plus s'élèvent à 71% et 29% à Genève, contre 69% et 31% en Suisse.

En considérant la population résidente associée à la catégorie « bâtiment à usage d'habitation », la surface énergétique moyenne s'élève à 57 m² par habitant à Genève. Cette valeur est très proche des 60 m²/personne utilisée dans la norme SIA 2039 pour estimer la surface de référence énergétique du parc résidentiel suisse.

Tableau 2.2. Structure du parc des bâtiments à usage d'habitation à Genève et en Suisse

Catégories de bâtiment en 2010	Suisse		Genève	
	Nombre	[%]	Nombre	[%]
I+II+III. Bâtiments à usage d'habitation	1'642'622	100%	41'382	100%
I+II. Bâtiments d'habitation	1'560'195	95%	39'987	97%
I. Bâtiments exclusivement à usage d'habitation	1'364'833	83%	33'443	81%
I.A. Maisons individuelles	945'110	58%	23'758	57%
I.B1+I.B2. Maisons à plusieurs logements (≥2 log.)	419'723	26%	9'685	23%
II. Bâtiments d'habitation avec usage annexe	195'362	12%	6'544	16%
III. Bâtiments partiellement à usage d'habitation	82'427	5%	1'395	3%
Surface énergétique des bâtiments à usage d'habitation (I+II+III)	472.2 mio m ² (1)		26.2 mio m ² (2)	

Source : Suisse [OFS] et Genève [OCSTAT- FCBL]

(1) Estimation de la surface de référence énergétique (SRE) des immeubles d'habitation suisse en 2010, en se basant sur la surface moyenne par personne utilisée dans la norme SIA 2039, p28.

(2) Se référer au point 2.4.1 pour le calcul de la SRE

2.3.2 Périmètre de l'étude : le secteur résidentiel collectif

Après avoir mis en évidence les caractéristiques structurantes du parc immobilier genevois, notre analyse portera en particulier sur le secteur résidentiel collectif qui représente à lui seul près de la moitié de la surface chauffée du canton.

A fin 2010, ce secteur comprend 12'602 bâtiments d'habitation à trois logements et plus. Environ deux tiers de ces bâtiments sont des bâtiments exclusivement destinés à l'habitation et le reste des bâtiments mixtes (principalement destinés à l'habitation avec usage annexe).

Bien que les bâtiments destinés à l'habitat collectif ne représentent que 32% des bâtiments d'habitation, ils comprennent 86% du parc de logements et abritent 78% de la population à Genève. La surface de référence énergétique estimée du secteur est de 19.3 millions de m² et représente 79% de la surface totale du parc résidentiel genevois. Le Tableau 2.3 fournit les principales caractéristiques du secteur considéré.

Tableau 2.3. Caractéristiques du secteur résidentiel collectif

Secteur résidentiel collectif (≥ 3 log.) à fin 2010		Total	[%] Remarques
Nombre de bâtiments	[-]	12'602	32% du parc résidentiel 27% du parc genevois
Nombre de logements	[-]	185'155	86% du parc résidentiel 85% du parc genevois
Population résidente	[-]	362'958	81% du parc résidentiel 78% du parc genevois
Surface de référence énergétique	[mio m ²]	19.3	79% du parc résidentiel 47% du parc genevois

2.4 Caractéristiques physiques du parc résidentiel collectif genevois

Cette partie présente les principales caractéristiques physiques des bâtiments destinés à l'habitat collectif à Genève. Il s'agit dans un premier temps de décrire les méthodes adoptées et les hypothèses retenues pour déterminer la surface de référence énergétique de ce secteur, ainsi que celle du parc immobilier genevois en 2010. Ensuite, les parties suivantes contiennent des informations sur l'âge, la situation géographique et la typologie du parc résidentiel collectif.

2.4.1 Surface de référence énergétique

Le travail réalisé dans cette partie est novateur dans le sens où il n'a jamais encore été effectué sous l'angle proposé pour le parc genevois.

2.4.1.1 Définition

La surface de référence énergétique (SRE ou A_E) est définie dans la norme SIA 416/1 (édition 2007) comme la somme de toutes les surfaces de plancher des étages et des sous-sols qui sont inclus dans l'enveloppe thermique et dont l'utilisation nécessite un chauffage ou une climatisation.

Cette surface comprend les surfaces utiles principales liées à l'affectation du bâtiment, les surfaces des locaux sanitaires et vestiaires qui font partie de la surface utile secondaire, les surfaces de construction, ainsi que les surfaces de dégagement qui assurent l'accès aux surfaces utiles (hall d'entrée d'immeuble, les escaliers, etc.), à condition qu'elles se trouvent à l'intérieur de l'enveloppe thermique.

2.4.1.2 Récapitulation de la SRE totale du parc immobilier genevois en 2010

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour déterminer la surface totale énergétique du parc immobilier genevois en 2010. Le Tableau 2.4 récapitule l'ensemble des résultats obtenus par catégories de bâtiments.

Pour y arriver, nous avons scindé le parc genevois en plusieurs parties. On distingue d'abord les bâtiments à usage d'habitation qui regroupent les bâtiments exclusivement destinés à usage d'habitation (catégorie I), les bâtiments d'habitation avec usage annexe (catégorie II) et les bâtiments partiellement à usage d'habitation (catégorie III).

Ensuite, nous avons scindé chacune des catégories I et II en trois sous-catégories : les maisons individuelles (colonne A), les maisons à deux logements (colonne B1) et les bâtiments à trois logements et plus (colonne B2). A noter que les sous-catégories B1 et B2 sont réunies dans les publications de l'OCSTAT sous « bâtiments à plusieurs logements ».

Enfin, la catégorie IV rassemble les bâtiments sans usage d'habitation destinés exclusivement à une activité économique.

Au total, la surface énergétique du parc genevois qui compte un peu plus de 47'000 bâtiments s'élève environ à 41 millions de m² en 2010. Près de deux tiers de la surface totale (environ 26 millions de m²) concernent des bâtiments à usage d'habitation qui regroupent les catégories I, II et III, tandis que les bâtiments sans usage d'habitation (catégorie IV) représentent environ 14.7 millions de m². Les méthodes utilisées pour déterminer la SRE de ces catégories figurent respectivement dans les Annexes A3 et A4.

Enfin, la surface du parc résidentiel collectif, encadrée en gras dans le Tableau 2.4, est estimée à 19.3 millions de m² et constitue près de la moitié de la surface totale du parc genevois. Ce secteur, qui fait l'objet de notre étude, comprend les bâtiments entièrement d'habitation (I.B2) et les bâtiments d'habitation mixtes (II.B2) composés de trois logements et plus. La méthode adoptée pour déterminer la surface énergétique de ce secteur est présentée au point suivant 2.4.1.3.

Tableau 2.4. Tableau récapitulatif des surfaces énergétiques (SRE) du parc immobilier genevois en 2010 selon la catégorie de bâtiments

	A	B1	B2		
Catégories I, II et III : Bâtiments à usage d'habitation (1)	Maisons individuelles	Maisons à 2 log.	Bâtiment à ≥3 log.	SRE par catégorie	SRE totale du parc GE
I. Bâtiments exclusivement à usage d'habitation (2)	4.20 [mio m²]	0.43 [mio m²]	19.30 [mio m²] <i>cf. 2.4.1.3</i>	26.15 [mio m²] <i>cf. Annexe A2.3</i>	40.85 [mio m²]
II. Bâtiment d'habitation avec usage annexe (3)	0.32 [mio m²]	0.17 [mio m²]			
III. Bâtiment partiellement à usage d'habitation (4)	1.72 [mio m²]				
Catégorie IV: Bâtiments sans usage d'habitation					
IV. Bâtiment sans usage d'habitation (5)	14.70 [mio m²]		<i>cf. Annexe A2.4</i>	14.70 [mio m²]	
→ SRE totale des bâtiments à usage d'habitation (catégories I, II & III) =				26'151'885	m²
→ SRE totale des bâtiments sans usage d'habitation (catégorie IV) =				14'699'025	m²
SRE totale du parc immobilier genevois (catégories I, II, III & IV) =				40'850'910	m²

- (1) Bâtiments comprenant au moins un logement ou des locaux pour les ménages collectifs ou l'habitat communautaire, sans les bâtiments exclusivement destinés à une activité économique.
- (2) Bâtiments exclusivement destinés à usage d'habitation.
- (3) Bâtiments principalement destinés à l'habitation, mais qui comprennent également des locaux liés à une activité économique.
- (4) Bâtiments principalement destinés à une activité économique, mais qui comprennent également des logements ou des locaux pour les ménages collectifs ou l'habitat communautaire.
- (5) Bâtiments exclusivement destinés à une activité économique, sans les bâtiments entièrement liés aux activités du secteur primaire, les bâtiments de moins de 20 m² de surface au sol et les garages des maisons individuelles.

Avec une surface énergétique totale d'environ 41 millions de m² et une consommation thermique de près de 6000 GWh en 2010, d'après le bilan des livraisons d'énergie aux consommateurs [15], la consommation moyenne annuelle du parc immobilier genevois atteint 147 kWh/m²_{SRE} ou 529 MJ/m²_{SRE}.

2.4.1.3 Détermination de la SRE du parc résidentiel collectif (catégories I.B2 et II.B2)

a) Méthodologie

Pour déterminer la surface énergétique du parc résidentiel collectif genevois, il nous a fallu tout d'abord compiler les données du fichier cantonal des bâtiments et des logements de l'OCSTAT avec la base de données énergie de l'OCEN. La surface de référence énergétique qui entre dans le calcul de l'indice de dépense de chaleur, est en principe effectuée par des professionnels qualifiés mandatés par les propriétaires des bâtiments et puis transmise à l'Office cantonal de l'énergie (OCEN). L'analyse des données montre que la surface des 12'602 bâtiments destinés à l'habitat collectif qui nous intéressent n'est pas entièrement recensée pour l'année 2010. La part connue s'élève toutefois à 82.7% (10'424 bâtiments) et couvre 90.8% de la surface totale énergétique estimée du secteur résidentiel collectif⁴.

L'objectif de cette partie consiste à utiliser ces données pour établir des modèles qui décrivent des relations entre la surface énergétique des bâtiments résidentiels collectifs et les variables connues. Ces modèles serviront ensuite à estimer les surfaces énergétiques manquantes, ce qui nous permettra de déduire la SRE totale du secteur.

La Figure 2.3 illustre la méthodologie utilisée pour déterminer les surfaces manquantes de ce secteur. Nous distinguons d'emblée les bâtiments entièrement d'habitation appelés « Hab-pur » des bâtiments d'habitation avec usage annexe appelés « Hab-mixte ». Pour chaque catégorie, nous avons recherché des corrélations entre la surface énergétique (SRE) connue et les variables explicatives suivantes: surface résidentielle (Sres), surface non résidentielle chauffée (Natch), surface au sol multipliée par le nombre de niveaux hors-sol (Ssol*Ne), nombre de logements (Nlog) et nombre de pièces (Npce).

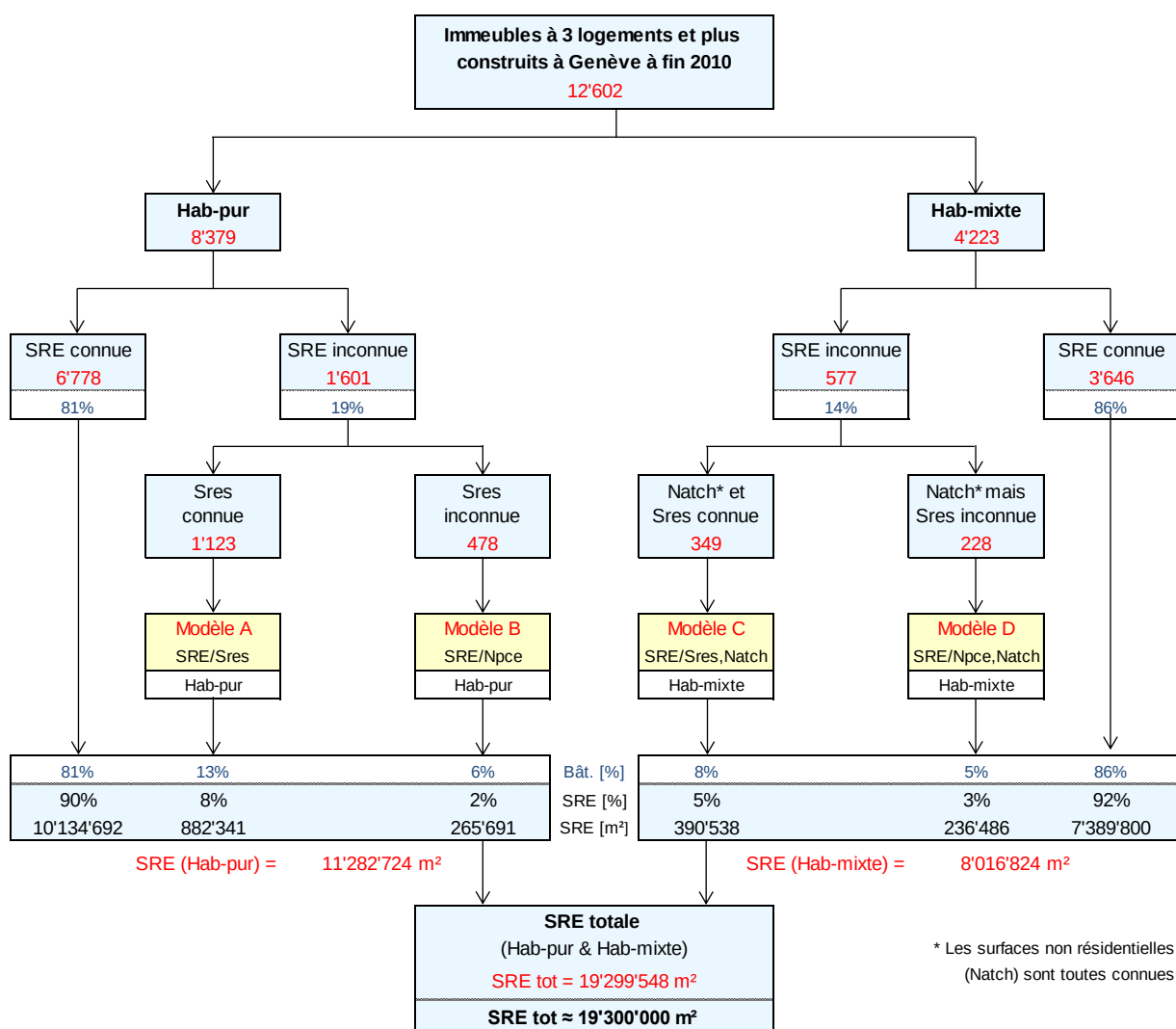
Les différentes variables utilisées sont définies dans le glossaire à l'Annexe A1. Elles proviennent directement du fichier FCBL, à l'exception de la surface non résidentielle chauffée (Natch). Cette dernière a été obtenue à partir de la surface totale non résidentielle (Natot), après avoir écarté les locaux destinés au stockage et entreposage, ceux destinés aux transports publics, ainsi que les garages et parkings fermés et la catégorie « autre », considérés comme non chauffés. Cela a été possible parce que le fichier FCBL fournit pour chaque bâtiment la surface non résidentielle par type d'affectation.

Par surface résidentielle (Sres), on entend la surface habitable du logement en mètres carrés mesurée à l'intérieur des murs extérieurs. Cette surface ne comprend donc ni les surfaces de construction, ni les surfaces des parties communes des bâtiments.

Bien que l'enjeu de déterminer la SRE manquante de ce secteur est faible (9.2% de la SRE totale estimée), les domaines d'application de ces modèles sont nombreux. Ils peuvent être utilisés comme un outil de contrôle (filtrage des données aberrantes) et de vérification des surfaces transmises à l'OCEN ou contenues dans la base de données énergie. De manière plus générale, ces modèles peuvent servir à estimer la SRE totale des bâtiments résidentiels collectifs à l'échelle nationale, cantonale ou communale à partir de variables recensées dans le Registre fédéral des bâtiments et des logements (RegBL).

⁴ Les surfaces énergétiques connues pour l'année 2010 s'élèvent précisément à 10'168 valeurs. Ils ont été complétées par 256 valeurs connues pour les années 2008 et 2009 mais manquantes en 2010.

Figure 2.3. Méthodologie pour déterminer la surface énergétique (SRE) totale des immeubles résidentiels à 3 logements et plus à Genève en 2010



Légende :

SRE [m²] : Surface de référence énergétique, selon la norme SIA 416/1
 Sres [m²] : Surface résidentielle ou surface habitable (cf. glossaire, Annexe A1)
 Natch [m²] : Surface non résidentielle chauffée
 Npce [-] : Nombre de pièces, sans les cuisines (cf. glossaire, Annexe A1)

Liste des modèles de régression retenus :

Catégories de bâtiments	Modèles de régression
Modèle A : Hab-pur	$SRE [m^2] = 1.245 * Sres$
Modèle B : Hab-pur	$SRE [m^2] = 23.70 * Npce + 73m^2$
Modèle C : Hab-mixte	$SRE [m^2] = 1.240 * Sres + 1.36 * Natch$
Modèle D : Hab-mixte	$SRE [m^2] = 22.81 * Npce + 1.45 * Natch + 147m^2$

b) Résultats

Plusieurs modèles ont été établis permettant de déterminer la surface énergétique des bâtiments résidentiels collectifs à partir des variables annoncées précédemment. Après l'évaluation de la pertinence des résultats, la vérification du rôle des variables et l'interprétation des coefficients, nous avons sélectionné 4 modèles de régression linéaires qui présentent les meilleurs coefficients de détermination R^2 .

Dans le processus de sélection des modèles, l'approche retenue vise à rechercher des modèles parcimonieux qui utilisent volontairement un nombre restreint de variables explicatives. En guise de simplification, nous avons également décidé de ne pas tenir compte de l'influence de l'époque de construction, vu que les écarts qui ressortent de l'analyse de sensibilité effectuée sont assez faibles.

La Figure 2.4 présente les modèles retenus A et B pour la catégorie « Hab pur » et les modèles C et D pour la catégorie « Hab-mixte ». Les deux premiers modèles cherchent à expliquer la surface énergétique des bâtiments résidentiels collectifs à partir de la surface résidentielle (S_{res}) ou à partir du nombre de pièces (N_{pce}) si la S_{res} est inconnue. Pour les bâtiments mixtes, les modèles C et D utilisent en plus la surface non résidentielle chauffée ($Natch$) pour la détermination des surfaces énergétiques.

Deux filtres ont été ensuite appliqués pour chaque catégorie visant à éliminer les valeurs aberrantes. Le premier filtre consiste à écarter les valeurs lorsque la surface de référence énergétique est inférieure à la surface résidentielle. Le second permet de ne pas considérer les bâtiments dont la surface énergétique dépasse d'un facteur 1.5 la surface résidentielle et également d'un facteur 1.75 la surface non résidentielle chauffée pour les bâtiments mixtes.

Après l'application des filtres, nous disposons d'un échantillon de 4'391 observations (bâtiments dont la SRE est connue) pour la construction des modèles A et B et de 2'068 observations pour les modèles C et D. Enfin, la précision des modèles est évaluée par des indicateurs (critère R^2 , variance) présentés au bas de la Figure 2.4.

Modèles de régression linéaire A et B pour les bâtiments entièrement d'habitation

Pour les bâtiments exclusivement à usage d'habitation « Hab-pur », les meilleurs résultats sont obtenus avec le modèle A de régression simple en utilisant la surface résidentielle (S_{res}). Le modèle A s'écrit :

$$SRE [m^2] = 1.245 * S_{res} \quad (\text{modèle A})$$

où SRE représente la surface de référence énergétique en mètres carrés et S_{res} la surface résidentielle en mètres carrés mesurée à l'intérieur des murs extérieurs.

La régression sans constante peut se justifier par le fait qu'il s'agit d'une relation entre deux surfaces. La pente de la droite est de 1.245 et prend en compte les surfaces supplémentaires de construction et des parties communes des immeubles. Nous pouvons donc dire que la surface énergétique des immeubles entièrement d'habitation serait 24.5% plus élevée que la surface totale résidentielle. Enfin, la régression est de très bonne qualité avec un coefficient de détermination R^2 égal à 0.992 obtenu à l'aide de la fonction DROITEREG d'EXCEL.

Le modèle B de régression linéaire a été utilisé pour déterminer la surface de référence énergétique (SRE) des 478 bâtiments dont la surface résidentielle (Sres) n'est pas connue (cf. Figure 2.3). Ce modèle, qui s'écrit comme suit, explique cette fois-ci la surface énergétique (SRE) à partir du nombre de pièces habitables (Npce) :

$$SRE [m^2] = 23.70 * Npce + 73m^2 \quad (\text{modèle B})$$

La constante du modèle peut s'expliquer par la différence entre la surface des logements (Sres) et la surface des pièces habitables, soit la surface des couloirs et des salles de bain. Elle vaut 5.4% de la SRE moyenne des immeubles entièrement d'habitation. La pente de la droite est de 23.70, mais cela ne signifie pas que la surface moyenne des pièces est de 23.70 m². Enfin, la régression est également de bonne qualité avec un R² = 0.900.

Enfin, les représentations graphiques de la Figure 2.5 mettent en évidence l'adéquation entre la surface énergétique prédite par les modèles A et B et la surface connue. Parmi les autres modèles testés, nous citerons les équations suivantes :

- $SRE [m^2] = 0.93 * Ssol * Ne$, où $Ssol$ est la surface au sol du bâtiment et Ne le nombre de niveaux hors-sol. Bien que le coefficient R² obtenu soit de 0.970, l'inconvénient majeur de ce modèle est que le résultat est influencé par la forme du bâtiment (forme parallélépipédique, bâtiment avec galette au rez-de-chaussée, etc.) et considère les balcons encastrés dans le volume bâti comme surfaces chauffées. En ce qui concerne le nombre d'étages, il est aussi difficile de connaître si les combles ou le rez-de-chaussée sont entièrement ou partiellement chauffés.
- $SRE [m^2] = 90.77 * Nlog$, où $Nlog$ est le nombre de logements. La régression de ce modèle est également de bonne qualité avec un R² égal à 0.925. Toutefois, des écarts importants ont été constatés entre la surface modélisée et celle connue, qui peuvent s'expliquer notamment par des différences en termes de structure et de taille des logements.

Modèles de régression linéaire C et D pour les bâtiments mixtes

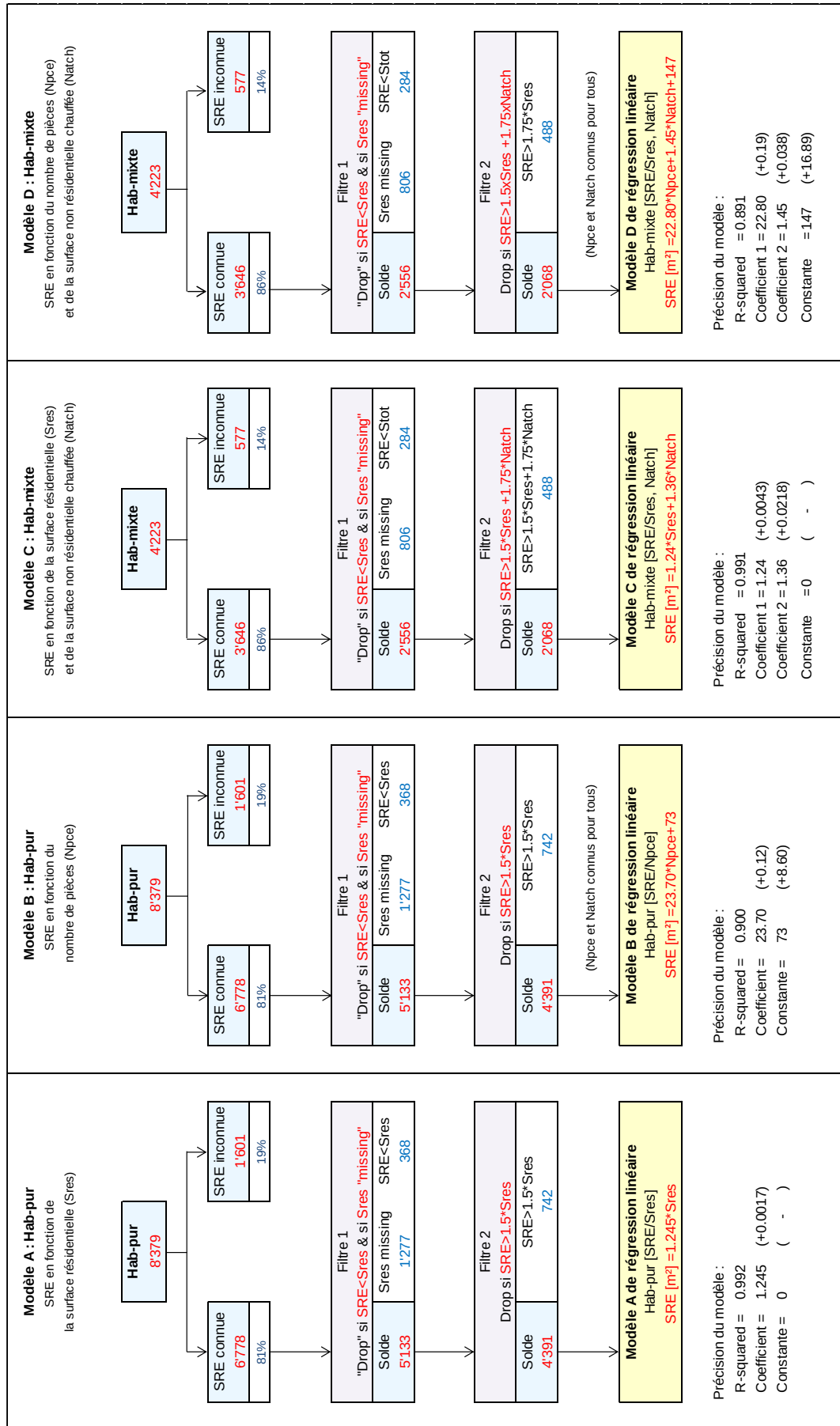
Pour les bâtiments d'habitation avec usage annexe « Hab-mixte », les meilleurs résultats sont obtenus avec le modèle C de régression multiple qui explique la surface de référence énergétique (SRE) à partir de la surface résidentielle (Sres) et de la surface non résidentielle chauffée (Natch). Le modèle s'écrit maintenant :

$$SRE [m^2] = 1.24 * Sres + 1.36 * Natch \quad (\text{modèle C})$$

Il convient de rappeler que la surface non résidentielle chauffée (Natch) a été obtenue à partir de la surface totale non résidentielle « Natot » après avoir écarté les locaux suivants considérés comme non chauffés : locaux destinés au stockage et entreposage, aux transports publics, aux garages et parkings fermés et à la catégorie « autre ».

Nous avons considéré comme pour le modèle A une régression sans constante. Il est également intéressant de constater que nous retrouvons le même coefficient (1.24) du modèle A pour la surface résidentielle. Enfin, la régression est de très bonne qualité avec un coefficient de détermination R² égal à 0.991.

Figure 2.4. Modèles de régression linéaire retenus pour la détermination des surfaces de référence énergétique (SRE) manquantes



() La valeur entre parenthèses indique l'écart-type du paramètre

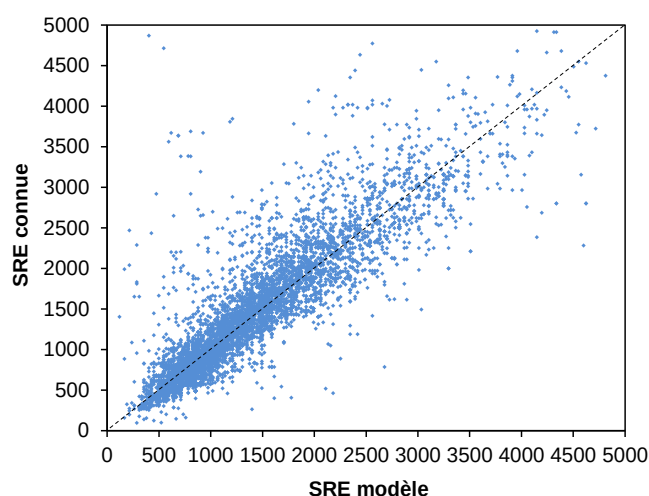
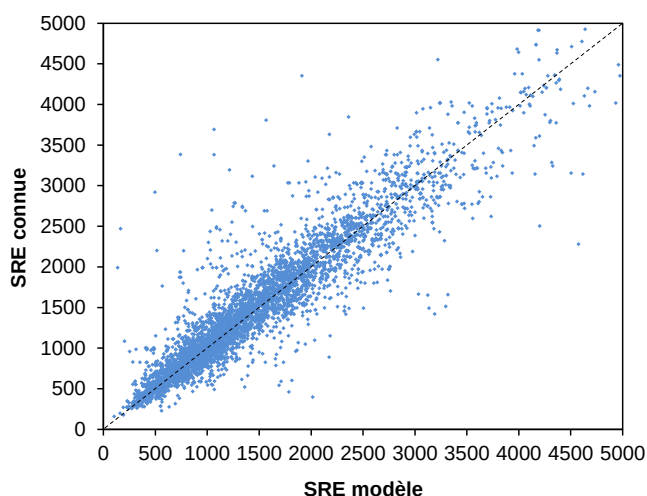
Figure 2.5. Présentation des modèles de régression A et B pour la catégorie « Hab-pur »

Modèle A [SRE / Sres, nocons]

Modèle B [SRE / Npce, cons]

A-1. Avant application des filtres (N=5501 observations)

B-1. Avant application des filtres (N=6778 observations)



A-2. Après application des filtres (N=4391 observations)

B-2. Après application des filtres (N=4391 observations)

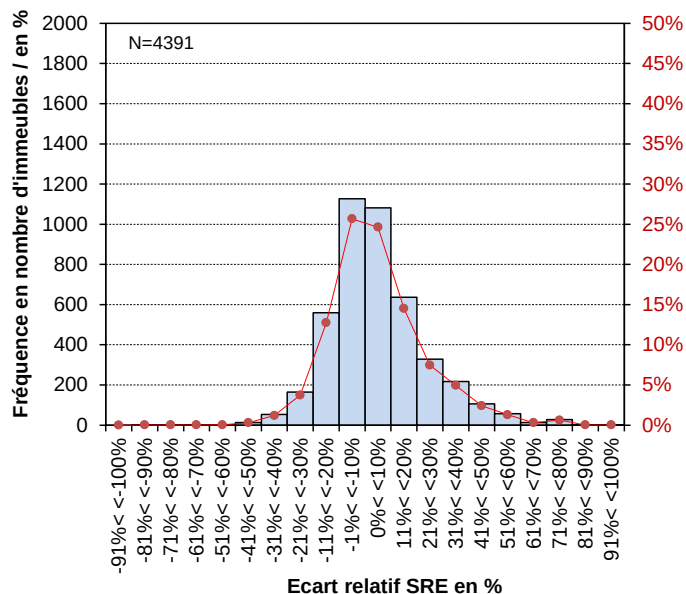
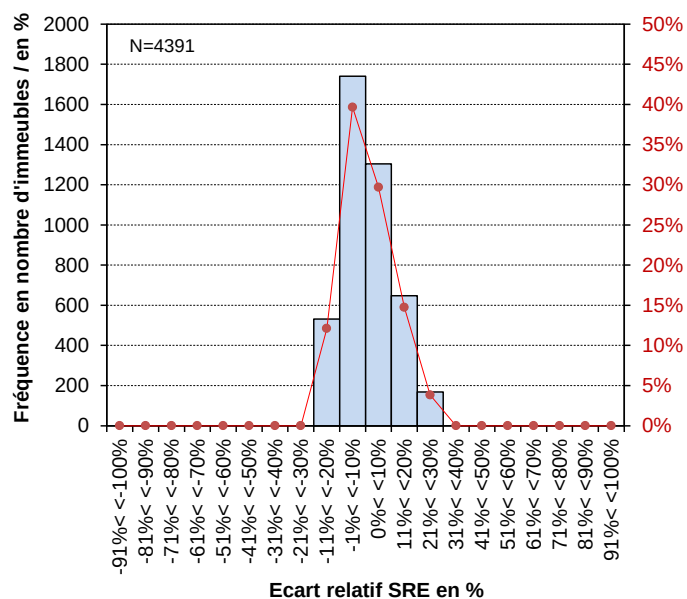
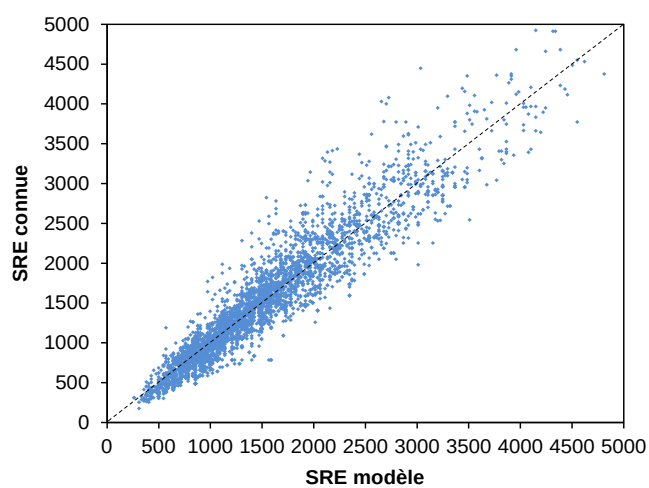
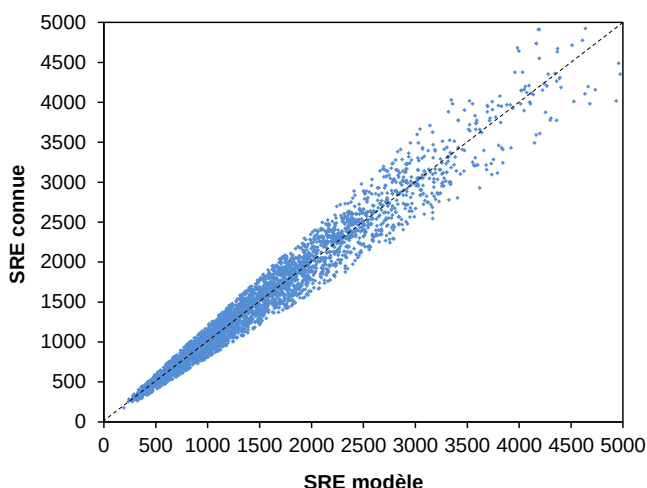


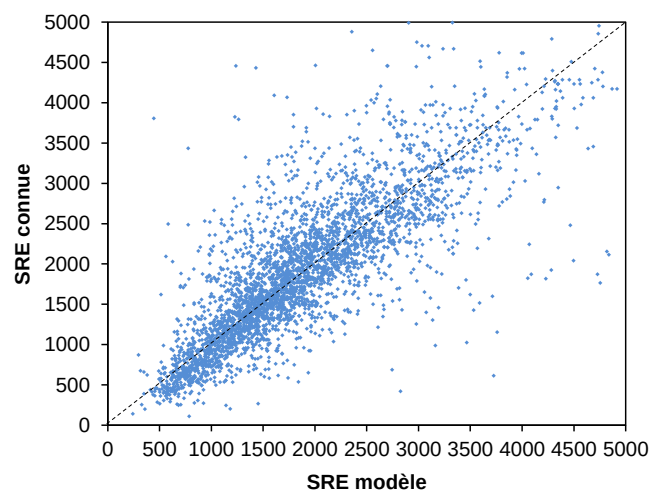
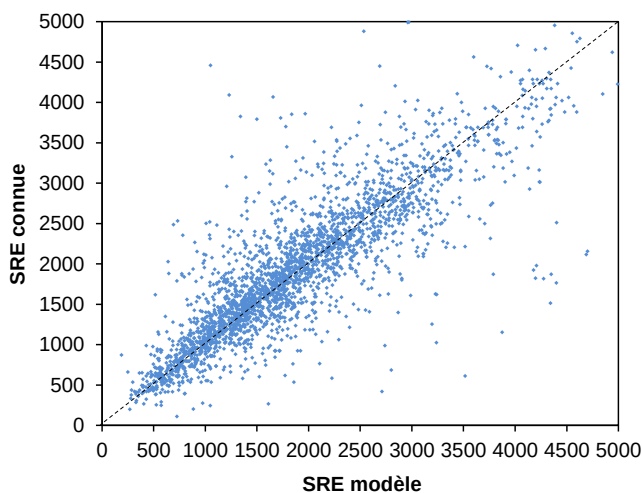
Figure 2.6. Présentation des modèles de régression C et D pour la catégorie « Hab-mixte »

Modèle C [SRE / Sres, Natch, nocons]

Modèle D [SRE / Npce, Natch, cons]

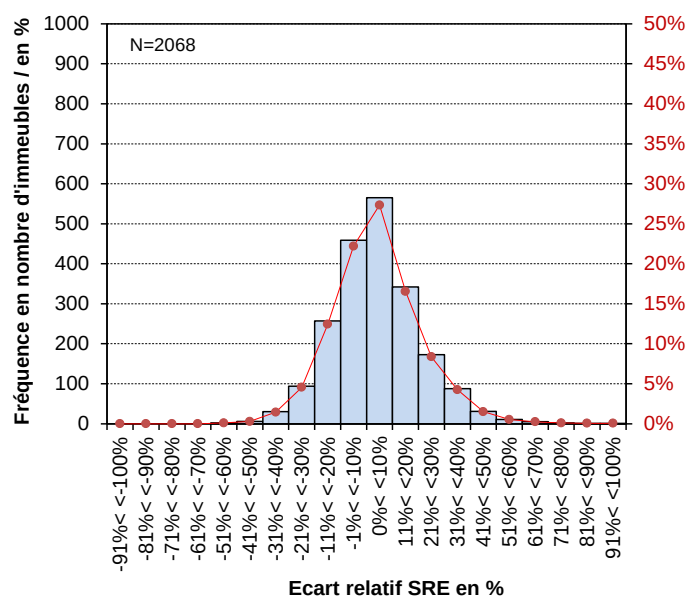
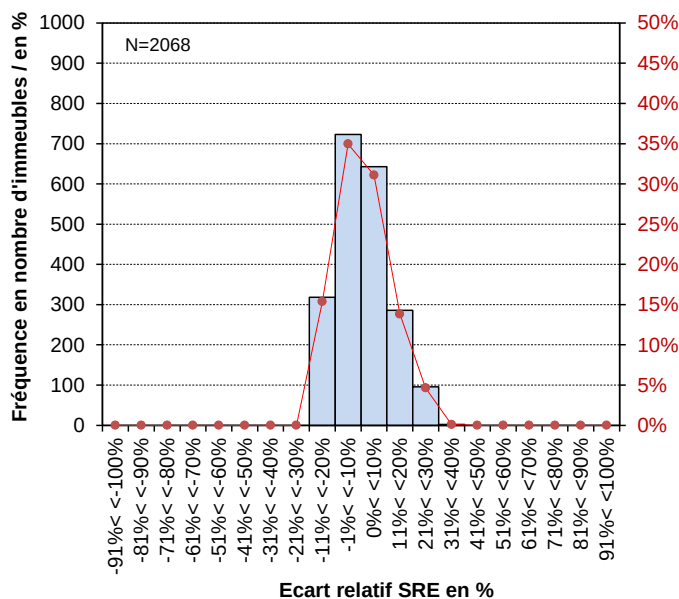
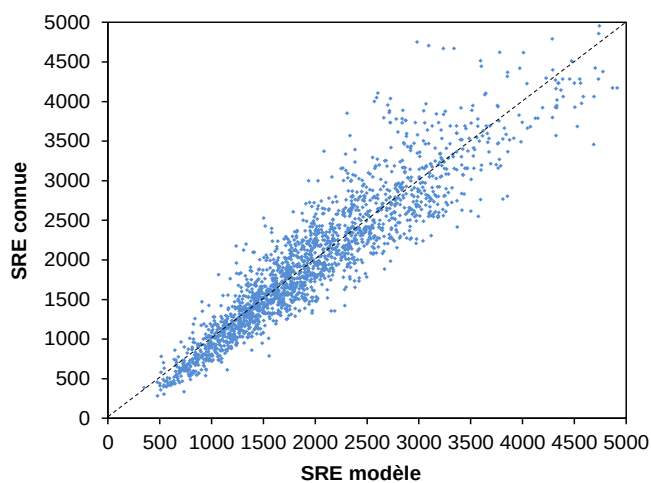
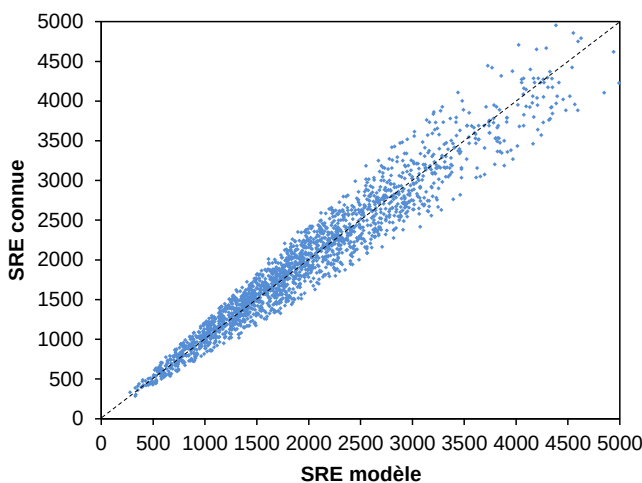
C-1. Avant application des filtres (N=2840 observations)

D-1. Avant application des filtres (N=3646 observations)



C-2. Après application des filtres (N=2068 observations)

D-2. Après application des filtres (N=2068 observations)



Le modèle D de régression linéaire a été choisi pour déterminer la surface de référence énergétique (SRE) des 228 bâtiments mixtes dont la surface résidentielle (Sres) n'était pas connue (cf. Figure 2.3), mais la surface non résidentielle chauffée (Natch) connue. Ce modèle estime la surface énergétique (SRE) à partir du nombre de pièces habitables (Npce) et de la surface non résidentielle chauffée (Natch).

$$SRE = 23.70 * Npce + 1.45 * Natch + 147m^2 \quad (\text{modèle D})$$

A l'instar du modèle B, nous avons considéré une régression avec constante pour les mêmes raisons. La constante du modèle D vaut 7.7% de la SRE moyenne des immeubles mixtes. Nous retrouvons aussi le même coefficient pour le nombre de pièces, soit 23.70. La régression est de bonne qualité avec un coefficient de détermination R^2 égal à 0.891.

Les représentations graphiques de la Figure 2.6 mettent en évidence l'adéquation entre la surface énergétique prédite par les modèles C et D et la surface connue des bâtiments. Parmi les autres modèles testés, nous citerons les équations suivantes qui n'ont pas été retenues pour les raisons évoquées précédemment :

- $SRE [m^2] = 0.83 * Ssol * Ne + 0.63 * Natch$, où $Ssol$ est la surface au sol du bâtiment, Ne le nombre de niveaux hors-sol et $Natch$ la surface non résidentielle chauffée ($R^2 = 0.950$).
- $SRE [m^2] = 76.85 * Nlog + 1.81 * Natch$, où $Nlog$ est le nombre de logements et $Natch$ la surface non résidentielle chauffée ($R^2 = 0.930$).

2.4.1.4 Détermination de la surface énergétique des bâtiments à usage d'habitation (Total des catégories I, II et III, qui regroupent les bâtiments résidentiels collectifs dont la surface énergétique a été déterminée au point précédent).

La surface de référence énergétique des bâtiments à usage d'habitation (catégories I, II et III) s'élève à 26 millions de m^2 , dont 74% ont été déterminées dans la partie précédente et concernent des bâtiments d'habitation à trois logements et plus (catégories I.B2 et II.B2). L'Annexe A3 présente en détail la méthodologie suivie et les résultats obtenus par catégorie de bâtiments.

2.4.1.5 Détermination de la surface énergétique des bâtiments sans usage d'habitation (Catégorie IV)

La surface de référence énergétique des bâtiments exclusivement destinés à une activité économique (catégorie IV) s'élève à 14.7 millions de mètres carrés en 2010. Elle a été estimée à partir des données de la publication de l'Office cantonal de la statistique [14] qui recense les surfaces des locaux non résidentiels suivant leur affectation en 2010. La démarche méthodologique adoptée et les résultats obtenus par affectation figurent à l'Annexe A4.

2.4.2 Epoque de construction

Le parc de bâtiments résidentiels collectifs est scindé en 11 époques de construction, définies selon la date d'achèvement de la construction [12]. Une analyse plus fine de ces données fondée sur notre connaissance de la typologie des bâtiments résidentiels a permis d'identifier des erreurs répétées concernant les bâtiments appartenant à la catégorie "1996-2000". L'Annexe A5 fournit plus d'explications à ce sujet et présente la méthodologie utilisée pour corriger les 230 observations repérées inexactes.

Dans l'ensemble, trois grandes périodes de construction séparées par deux dates charnières peuvent être mises en évidence : la période avant 1946, la période entre 1946 et 1980 et la période entre 1981 et 2010.

L'année 1946 marque le début de la période d'après-guerre caractérisée par une forte croissance économique et une reconstruction massive. Tandis que l'année 1980 correspond à la fin de la période de construction des grands ensembles résidentiels et à l'entrée en vigueur de la première recommandation SIA 180/1 « Protection thermique des bâtiments en hiver ». Edictée après le choc pétrolier de 1973, cette recommandation a permis d'imposer un niveau minimum d'isolation pour les bâtiments neufs en intégrant des valeurs limites pour le coefficient- k^5 des différents éléments de construction.

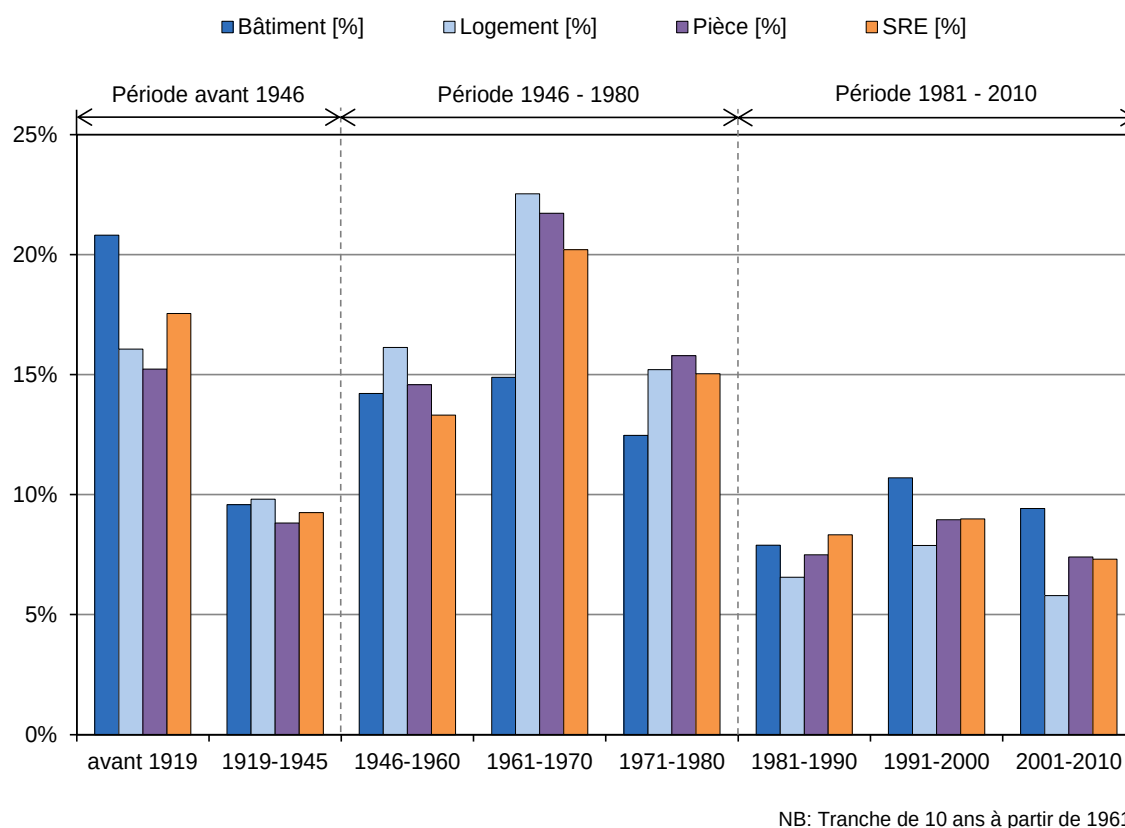
Le Tableau 2.5 donne la répartition par tranches d'âge des bâtiments, des logements, des pièces et des surfaces de référence énergétique destinées à l'habitat collectif à Genève à fin 2010. Les résultats obtenus sont également illustrés à la Figure 2.7.

Tableau 2.5. Bâtiments, logements, pièces et surfaces chauffées destinées à l'habitat collectif selon l'époque de construction, en 2010

Epoque de construction	Bâtiment		Logement		Pièce		SRE	
	[-]	[%]	[-]	[%]	[-]	[%]	[mio m ²]	[%]
avant 1919	2'623	20.8%	29'753	16.1%	104'143	15.2%	3.39	17.5%
1919 - 1945	1'208	9.6%	18'166	9.8%	60'303	8.8%	1.78	9.2%
1946 - 1960	1'791	14.2%	29'882	16.1%	99'713	14.6%	2.57	13.3%
1961 - 1970	1'877	14.9%	41'738	22.5%	148'585	21.7%	3.90	20.2%
1971 - 1980	1'572	12.5%	28'163	15.2%	107'958	15.8%	2.90	15.0%
1981 - 1990	995	7.9%	12'134	6.6%	51'226	7.5%	1.61	8.3%
1991 - 2000	1'349	10.7%	14'585	7.9%	61'247	9.0%	1.74	9.0%
2001 - 2010	1'187	9.4%	10'734	5.8%	50'645	7.4%	1.41	7.3%
TOTAL	12'602	100.0%	185'155	100.0%	683'820	100.0%	19.30	100.0%
< 1946	3'831	30.4%	47'919	25.9%	164'446	24.0%	5.17	26.8%
1946-1980	5'240	41.6%	99'783	53.9%	356'256	52.1%	9.37	48.6%
1981-2010	3'531	28.0%	37'453	20.2%	163'118	23.9%	4.75	24.6%

⁵ Le coefficient k , actuellement appelé « valeur U », représente le coefficient de transmission thermique d'un élément de construction exprimé en W/m^2K .

Figure 2.7. Bâtiments, logements, pièces et surfaces chauffées destinées à l'habitat collectif selon l'époque de construction, à fin 2010



Les résultats montrent qu'un tiers des bâtiments (30.4%) a été construit avant 1946 et qu'environ deux cinquièmes (41.6%) ont été édifiés entre 1946 et 1980 durant la période de haute conjoncture. La part des bâtiments construits après 1980 s'élève à un peu plus du quart, soit 28% du parc résidentiel collectif. Au total, près des trois-quarts des bâtiments (72%) relèvent de la période antérieure aux premières réglementations thermiques. De manière générale, le degré d'ancienneté du parc genevois est assez similaire à la moyenne suisse, avec un peu moins de la moitié des bâtiments construits avant 1961 [13].

En ce qui concerne les logements, la répartition à Genève selon les trois grandes périodes de construction est plutôt proche de celle observée au niveau national. Parmi les différences observées, on note que la part des logements collectifs construits entre 1946 et 1980 est plus élevée à Genève (54%) qu'en Suisse (estimée à 45%), tandis que la tendance s'inverse pour les logements construits entre 1981 et 2010.

La segmentation du parc de logements collectifs genevois selon les trois grandes périodes de construction semble être assez proche de la distribution française [16], mais avec une part plus importante de logements français construits après 1981 (26% au lieu de 20% à Genève). L'étude réalisée par Meijer et al. [17] montre que la répartition des logements en fonction de tranches d'âge plus fines (tranche de 5 ans ou de 10 ans, par exemple 1961-1970) peut varier considérablement entre les pays européens.

A Genève, la répartition des surfaces de référence énergétique selon l'époque de construction montre des différences significatives avec celle des bâtiments, mais reste proche de celle des logements et des pièces. Près de la moitié des surfaces chauffées, des logements et des pièces destinées à l'habitat collectif appartiennent à des bâtiments construits entre 1946 et 1980.

Le volume maximal est atteint durant les années soixante, décennie au cours de laquelle ont été construits les grands ensembles résidentiels tels que la Cité du Lignon, la Cité satellite de Meyrin et la Cité-Nouvelle d'Onex. Par ailleurs, il est intéressant de constater que ces bâtiments, bien qu'ils présentent un volume assez proche de ceux édifiés par exemple entre 1991 et 2000 à Genève (14.9% contre 10.7%), regroupent en fait beaucoup plus de logements (facteur 2.9), de pièces habitables (facteur 2.4) et de surfaces chauffées (facteur 2.2).

De par leur taille et leur ancienneté, l'enjeu le plus important se trouve aujourd'hui dans les bâtiments d'habitation d'après-guerre (1946-1980) qui arrivent simultanément après cinquante ans en période de rénovation. On recense 5'240 bâtiments (y compris les bâtiments mixtes) qui regroupent près de 100'000 logements (54% du total) et 356'500 pièces (52% du total). Leur surface chauffée a été estimée à 9.4 millions de mètres carrés et représente près de la moitié de la SRE totale du parc résidentiel collectif genevois.

2.4.3 Situation et typologie

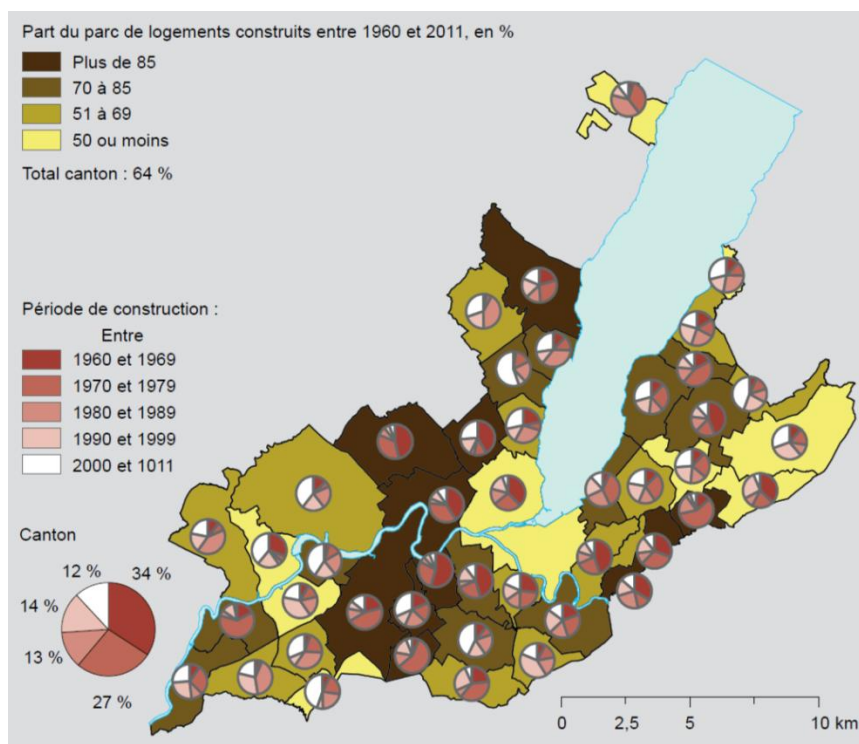
2.4.3.1 Situation

La Figure 2.8 montre la proportion de logements construits entre 1960 et 2011 dans les communes genevoises, et met en évidence des différences marquées entre le centre, les communes suburbaines et périurbaines. La représentation graphique par camembert donne la répartition par tranches d'âge des logements.

On observe que les communes suburbaines d'Onex, de Lancy, de Meyrin, de Vernier et de Thônex, qui comptent plus de 85% de logements construits à partir de 1960 (indiquées en couleur foncée), concentrent aussi le plus grand volume de logements édifiés dans les années soixante et septante. Cette période s'est caractérisée d'une part par une construction massive de logements sous forme de cités satellites en périphérie urbaine, et d'autre part par une densification du centre par l'intermédiaire de bâtiments et d'ensembles résidentiels, à l'instar de la Cité Carl-Vogt (445 logements, 1960-1964) et la Cité d'Aire (334 logements, 1960-1963) réalisées par les frères Honegger. La surface jaune au centre de la figure montre que la proportion de logements construits après 1960 en ville de Genève, déjà densément bâtie, n'atteint pas la moitié, mais toujours avec une proportion relativement importante de logements datant des années soixante et septante.

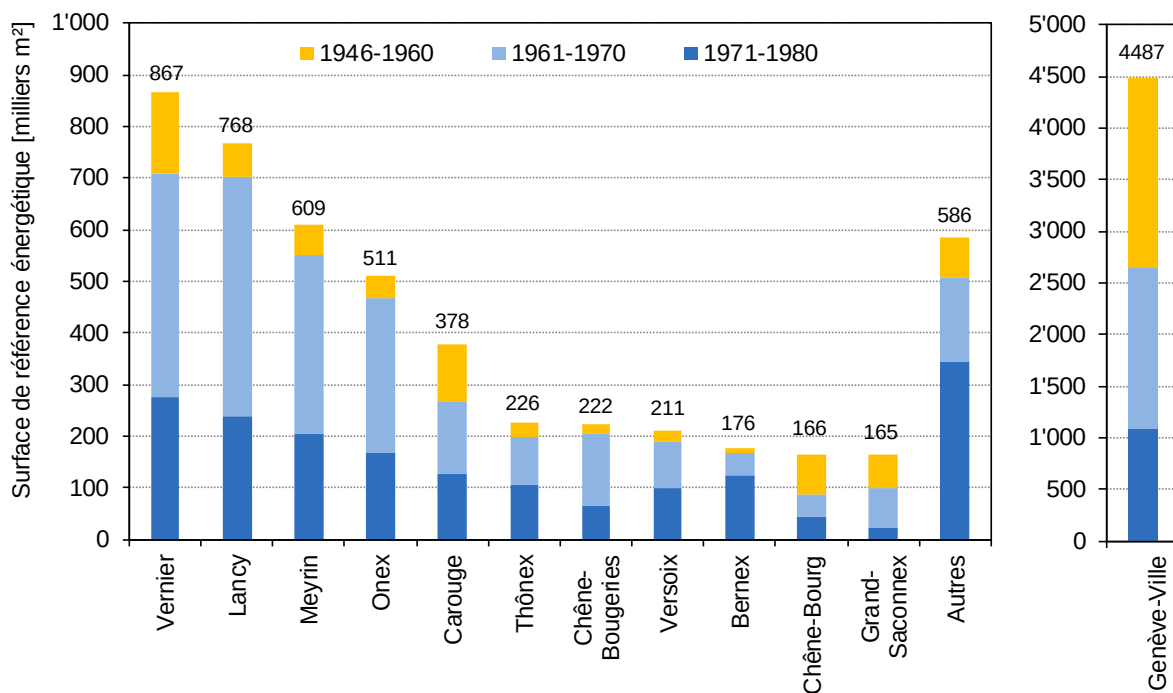
En ce qui concerne la répartition des surfaces énergétiques, la Figure 2.9 montre que près de la moitié de la SRE totale des immeubles résidentiels construits entre 1946 et 1980 dans le canton se situe sur la commune de Genève (4.49 millions de m²), alors que le reste (52%, 4.88 millions de m²) se répartit entre les différentes communes classées par ordre décroissant sur le graphique. On remarque également que la part des surfaces édifiées entre 1961 et 1980 est bien plus élevée dans les communes suburbaines et périurbaines qu'au centre.

Figure 2.8. Proportion de logements construits entre 1960 et 2011 à Genève, par commune



Source : La construction dans le canton de Genève [18]

Figure 2.9. Surfaces énergétiques (SRE) des bâtiments résidentiels collectifs construites à Genève entre 1946 et 1980, par commune



Remarque : Près de la moitié (48%) de la SRE du parc résidentiel collectif construite entre 1946 et 1980 se situe sur la commune de Genève (Genève-Ville), le reste se répartit entre les différentes communes classées par ordre décroissant sur la figure. La SRE totale construite dans le canton de Genève entre 1946 et 1980 est estimée à 9.37 millions de m².

2.4.3.2 Typologie

La typologie des bâtiments destinés à l'habitat collectif est très variée et dépend des conditions historiques, territoriales, sociales et économiques ainsi que des pratiques correspondantes. La connaissance des caractéristiques typologiques et physiques du bâti existant permet de proposer des solutions énergétiques mieux adaptées pour la rénovation à grande échelle, mais nécessite des analyses plus poussées qui n'ont pas été réalisées dans le cadre de ce travail.

a) Brève revue de la littérature

Parmi les études passées en revue, on peut citer le classement typologique des logements collectifs genevois proposé par Bruno Marchand [19] dans le cadre d'une thèse de doctorat réalisée à l'EPFL et les études⁶ de Schwehr et Fischer [20, 21] de l'Université de Lucerne sur la typo-morphologie des bâtiments résidentiels collectifs suisses. Ces études fournissent des informations détaillées sur les caractéristiques typologiques et morphologiques du bâti existant, sans toutefois intégrer les aspects énergétiques.

Au niveau européen, le projet TABULA [22] est intéressant dans le sens où il vise à créer une structure harmonisée sur le plan européen de typologies de bâtiments regroupant à la fois des caractéristiques typologiques et techniques liées à l'énergie. Cette approche commune menée par treize pays européens se focalise sur les bâtiments d'habitation et permet d'évaluer les potentiels d'amélioration énergétique en se basant sur un ensemble de bâtiments types dans chaque pays.

Dans le même sens, d'autres études menées en France consistent à dresser une cartographie de la typologie du parc résidentiel existant et de leurs caractéristiques constructives par dates de construction. Nous citons par exemple, le guide ABC « Amélioration thermique des Bâtiments Collectifs » [16] fruit d'une collaboration entre architectes et thermiciens, et l'analyse détaillée du parc résidentiel français [23] réalisée dans le cadre du programme RAGE (Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012). Une série de cahiers d'analyse a été également réalisée par l'Atelier parisien d'urbanisme (apur) à la demande de la Ville de Paris pour étudier les performances énergétiques des différentes périodes de construction des bâtiments parisiens. Le cinquième cahier [24] de cette série porte en particulier sur les logements construits durant la période des Trente Glorieuses (1945-1974).

b) Bâtiments d'après-guerre : D'une production en série à une rénovation à grande échelle ?

Après ce bref aperçu de la littérature, les principales caractéristiques des immeubles d'habitation construits après-guerre à Genève sont évoquées ci-après. A cette époque, l'urgence de construire des logements, le rythme rapide de la construction et les nouvelles méthodes de préfabrication utilisées suscitent deux remarques importantes.

D'une part, les immeubles construits durant les années de haute conjoncture se caractérisent par une qualité de construction nettement inférieure à celle des immeubles d'avant-guerre et

⁶ Etudes réalisées dans le cadre du programme ECBCS de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), au sein de l'annexe 50 – Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings (2006-2011).

celle d'après 1980. Un processus de vieillissement accéléré des éléments de construction est mis en évidence dans la publication PIBAT [25] notamment en raison de la baisse de la qualité des matériaux et des techniques de construction utilisées durant cette période. Plusieurs remplacements prématurés d'éléments de construction ont été nécessaires, amenant certains propriétaires à rénover entièrement leurs bâtiments à la fin des années 80. C'est le cas par exemple des immeubles situés au 8-14 rue du Comte-Géraud dans la Cité Nouvelle d'Onex, construit au début des années soixante et rénové entièrement en 1989. Ce bâtiment a fait l'objet d'une étude thermique [26] réalisée entre 1989 et 1992 par le CUEPE (actuellement groupe Energie de l'Université de Genève).

D'autre part, ces immeubles se caractérisent par un mode de construction en série dans une logique de simplification des opérations et de standardisation des éléments de construction. On recense deux techniques qui ont marqué cette époque : la construction de grands éléments préfabriqués en béton armé en usine (appelé préfabrication lourde) qui nécessitent d'importants moyens de levage et de transport au chantier, et la construction par petits éléments sur le chantier⁷ (préfabrication légère) visant à optimiser les déplacements. Au début des années 60, près du quart des logements construits annuellement à Genève sont préfabriqués [27], puis les techniques de préfabrication lourde finissent par s'imposer.

Les systèmes de préfabrication les plus utilisés à cette époque sont : le système *Barets* utilisé dans la cité nouvelle d'Onex, le système *Larsen et Nielsen* pour l'ensemble « les Ailes » à Meyrin, le système *Balency*, ainsi que le système *Estiot* utilisé pour l'hôtel Intercontinental de Genève, la tour de Lancy et l'ensemble des Avanchets. Leur qualité thermique a évolué mais reste insuffisante pour répondre aux exigences thermiques actuelles. A partir de 1960, la façade conçue comme un produit industriel devient plus vitrée et légère, induisant encore une baisse de la performance thermique de l'enveloppe.

En guise d'exemple, on peut mentionner les 125'000 m² de façade légère ou façade-rideau de la Cité satellite du Lignon (1963-1971) à Vernier, constituée de panneaux bois-métal préfabriqués en usine. Une étude sur l'amélioration thermique des façades de cet ensemble, protégé depuis 2009 par un plan de site, a été menée récemment par le laboratoire des Techniques et de la Sauvegarde de l'Architecture Moderne de l'EPFL [28]. Enfin, le premier choc pétrolier de 1973 entraînera un changement radical des pratiques dans la construction et marquera le début d'une phase de ralentissement de la croissance.

Actuellement, plusieurs projets de recherche visent à évaluer le potentiel d'utilisation à grande échelle de modules préfabriqués pour la rénovation thermique de ce type de bâtiments. L'étude menée par Zimmermann [29] « *Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings* » dans le cadre de l'annexe 50 du programme ECBCS de l'AIE a permis de démontrer la viabilité de cette solution tant au niveau technique que de mise en œuvre. En vue de passer à la phase de généralisation, la Commission européenne a prévu dans le cadre du programme Horizon 2020, l'appel à projet EE1-2014 intitulé « *Manufacturing of prefabricated modules for renovation of buildings* » dédié au développement de modules en série à des coûts abordables, facilement intégrables et esthétiquement convaincant [30]. Le recours à la préfabrication devrait permettre d'accélérer le rythme des rénovations énergétiques et de baisser leur coût tout en réduisant la durée des chantiers et les désagréments pour les habitants.

⁷ Comme décrit par Eric Golay [95]: « les éléments de façades ou de sol étaient ensuite séchés et entreposés avant d'être transportés par des grues placées de manière à optimiser les déplacements ».

c) *Typologies et caractéristiques des bâtiments résidentiels collectifs 60-70 à Genève*

A Genève, les façades des immeubles d'habitation des années soixante et septante se caractérisent de manière générale par des grandes ouvertures vitrées et des balcons qui se développent sur une partie ou sur l'ensemble des élévations. Lors de nos visites du bâtiment « Gros-chêne 40-42 » situé au centre de la Cité-nouvelle d'Onex, nous avons remarqué que les typologies de façades rencontrées dans la Cité sont en nombre limitées et peuvent être classées en quatre grandes catégories illustrées sur la Figure 2.10 et décrites à l'Annexe A6.

Figure 2.10. Principales typologies de façades rencontrées à la Cité-Nouvelle d'Onex

Typologie 1	Typologie 2	Typologie 3	Typologie 4
Ossature apparente sans balcons	Ossature noyée avec balcons longeant la façade	Ossature apparente avec balcons encastrés	Ossature noyée sans balcons (tour)
			
Rue du Bois-Carrien 2	Av. du Gros-chêne 38	Av. du Gros-chêne 33	Av. du Gros-chêne 41-43

Il convient de noter que ce classement ne couvre pas toutes les typologies qu'on trouve à Genève. A ces catégories, on peut ajouter par exemple la « façade légère » appelée aussi « mur-rideau » qui a été utilisée à plusieurs reprises à cette époque par les architectes Addor et Julliard. Parmi leurs réalisations, on cite la Cité du Lignon (1963-1970) et les ensembles résidentiels Meyrin Parc et Le Ciel Bleu à Meyrin (1960-1964). Les façades sont composées de modules préfabriqués avec des fenêtres basculantes en bois-métal, développées par l'entreprise Guyot et qui viennent se poser devant la structure porteuse du bâtiment.

De manière générale, les façades construites en série durant les années soixante à Onex se distinguent par leur trame structurale modulaire, par la position et la disposition des piliers et des éléments préfabriqués et par l'alternance des pleins et des vides. La structure apparente et la présence de balcons constituent des points faibles de l'enveloppe qui nécessitent un soin particulier lors des assainissements énergétiques. Une des solutions pour y remédier consiste à la fermeture des balcons par du vitrage en créant des loggias. La pertinence des balcons vitrés comme une solution d'efficacité énergétique en hiver sera discutée au point 4.3.7 de ce travail. Elle sera également traitée dans le cadre du projet de recherche COMPARE-RENOVE [31] déposé par le groupe Energie de l'UNIGE et qui a été retenu par l'OFEN pour un financement. Ce projet s'intéresse à la performance réelle des rénovations dans une perspective d'amélioration et de diffusion des bonnes pratiques.

Dans le cadre de ce projet, nous avons sélectionné un échantillon assez représentatif des bâtiments d'après-guerre, composé d'une vingtaine de complexes résidentiels collectifs (au total 99 allées) construits à Genève entre 1946 et 1975, et qui ont été récemment rénovés ou en voie d'être rénovés. Le Tableau 2.6 donne les caractéristiques physiques de cet échantillon. Près de la moitié de ces bâtiments ont déjà été rénovés énergétiquement avant 2010, sans ajout de surface habitable. Leurs performances énergétiques et économiques seront analysées plus loin au point 4.5.

Tableau 2.6. Caractéristiques physiques d'un échantillon composé d'une vingtaine de bâtiments résidentiels construits à Genève entre 1946 et 1975

Bâtiment	Epoque de construction	Commune	Nombre d'allées	Niveau hors-sol	Orientation dominante	Surface A _E [m ²]	Surface A _{th} [m ²]	Compacité A _{th} /A _E	Surfaces vitrées A _v /A _E	N façades mitoyennes	
LANCY (*)	1947-1960	Carouge	2	7	S-N	3'846	2'972	0.77	8.3%	16.7%	1
JAQ	1947-1960	Genève	1	7	E-O	1'596	1'266	0.79	16.4%	51.8%	2
MIR	1947-1960	Genève	3	7-8	SE-NO	7'093	6'189	0.87	36.6%	63.3%	1
VID	1947-1960	Genève	8	7	SE-NO	11'656	8'437	0.72	21.8%	33.5%	0
VER	1947-1960	Genève	5	7	SO-NE	7'343	4'822	0.66	22.0%	37.7%	0
GROC (*)	1961-1970	Onex	2	9	SO-NE	5'357	3'397	0.63	20.5%	42.5%	2
GOL (*)	1961-1970	Meyrin	11	4-5	SO-NE	14'210	10'503	0.74	21.5%	50.8%	0
AMAZ	1961-1970	Ch-Bougeries	5	7	SE-NO	13'657	9'795	0.72	18.4%	41.9%	1
ANIER (*)	1961-1970	Genève	4	9	SE-NO	14'016	8'155	0.58	18.6%	38.7%	1
CRET	1961-1970	Genève	9	9-10	SE-NO	9'605	5'938	0.62	18.6%	41.5%	0
LVR (*)	1961-1970	Meyrin	4	7	SO-NE	7'560	5'846	0.77	17.6%	35.1%	0
MONT (*)	1961-1970	Ch-Bougeries	14	6-7	SE-NO	27'709	18'015	0.65	21.7%	48.2%	0
CALAS	1961-1970	Genève	3	8	SO-NE	7'098	3'892	0.55	19.0%	45.7%	2
MAL (*)	1961-1970	Genève	3	8	SE-NO	7'517	5'215	0.69	12.7%	24.5%	0
TRA	1961-1970	Genève	1	9	SE-NO	3'971	2'237	0.56	10.1%	28.7%	1
FRANK	1961-1970	Genève	2	13	SO-NE	15'747	9'049	0.57	18.5%	40.9%	0
GEV	1961-1970	Genève	2	12	SE-NO	12'970	7'885	0.61	17.2%	36.0%	0
PENAY	1961-1970	Meyrin	9	3	SE-NO	568	653	1.15	25.8%	41.3%	2
LIGN	1961-1970	Vernier	1	16	SE-NO	2'972	1'879	0.63	20.1%	40.6%	2
LAT (*)	1971-1975	Meyrin	4	12	E-O	9'708	7'100	0.73	21.6%	-	0
DOLE (*)	1971-1975	Genève	5	7-11	N-S	19'971	14'358	0.72	18.8%	36.6%	1
TOTAL	-	-	98	-	-	204'170	137'601	0.67	-	-	-
Moyenne	-	-	5	9	-	-	-	0.70	19.3%	39.8%	-

A_E [m²] : Surface de référence énergétique calculée selon la norme 416/1

A_{th} [m²] : Surface totale pondérée de l'enveloppe thermique du bâtiment

A_v [m²] : Surface des éléments translucides et des portes

A_{th}/A_E [-] : Facteur d'enveloppe ou facteur de forme qui détermine la compacité de l'enveloppe

A_v/A_E [-] : Ratio vitré des façades contre extérieur

Source: Données issues des justificatifs énergétiques joints aux requêtes d'autorisation pour des travaux de rénovation

(*) Chacun de ces bâtiments fait l'objet d'une fiche descriptive détaillée en Annexe A24 et est repris dans l'analyse comparative au point 4.5.

Les informations présentées dans le Tableau 2.6 proviennent des pièces énergétiques jointes aux dossiers de demande d'autorisation déposés à l'Office de l'urbanisme.

Les résultats montrent que ces bâtiments sont principalement orientés d'est en ouest, partiellement au sud profitant des conditions optimales d'ensoleillement. La plupart des bâtiments se situent dans des plans d'ensembles caractérisés par une implantation par volumes continus. L'implantation en mitoyenneté permet en fait de réduire les surfaces en contact avec l'extérieur et par conséquent de diminuer les déperditions thermiques à travers l'enveloppe.

De par leur situation et leur taille, ces bâtiments sont assez représentatifs du parc de cette époque. Près de la moitié se situent en ville de Genève et sont composés en moyenne de 9 niveaux hors sol. Il convient de rappeler que deux tiers des logements construits durant les années soixante à Genève se trouvent dans des bâtiments de plus de 20 logements [18]. On constate également que les bâtiments de cette époque ont une forme très compacte et des façades avec une part de vitrage importante comparée aux bâtiments d'avant-guerre.

La compacité des bâtiments (ou facteur d'enveloppe) est exprimée par le rapport entre la surface pondérée de l'enveloppe thermique (A_{th}) et la surface de référence énergétique (A_E). Pour cet échantillon, les valeurs varient entre 0.55 et 1.15, avec une moyenne⁸ qui se situe à 0.70. Il est étonnant de constater que cette valeur vaut presque la moitié du facteur d'enveloppe standard indiqué dans le cahier technique SIA 2031⁹ pour la catégorie habitat collectif et qui s'élève à 1.30. L'influence de la compacité du bâtiment sur les exigences des besoins de chaleur pour le chauffage sera discutée au point suivant.

La proportion vitrée des façades (rapport de la surface vitrée A_W à la surface de la façade A_F), observée dans notre échantillon de bâtiments construits entre 1947 et 1975, varie entre 17% et 63%. Cette proportion dépend essentiellement du type de façades utilisées (façade rideaux, etc.). La moyenne se situe à près de 40%. Cette fois-ci, notre résultat est deux fois plus élevé que le pourcentage de surfaces vitrées indiqué dans l'annexe 2 de l'étude réalisée par le CEPE [32] concernant des bâtiments résidentiels collectifs de cette époque. Ce pourcentage estimé à 20% a été par ailleurs repris dans l'étude CEPIC de Noé21 [33] pour estimer le coût d'assainissement énergétique du parc immobilier genevois. La sous-estimation d'un facteur 2 des surfaces vitrées des façades a un impact significatif sur le coût total estimé des rénovations, étant donné que l'isolation d'un mètre carré de mur (paroi opaque) coûte 5 à 7 fois moins cher que le coût au m² de remplacement d'anciennes fenêtres par de nouvelles, répondant aux normes thermiques actuelles.

Enfin, le rapport entre la surface vitrée (A_W) et la surface de référence énergétique (A_E) varie entre 8% et 37% avec une moyenne qui se situe à 19%. Cet indicateur dépend peu des années de construction des bâtiments, mais plutôt du type de façades choisies et de la forme du bâtiment.

⁸ Le facteur moyen d'enveloppe est égal à 0.67, ce qui est très proche de la moyenne des facteurs (0.70).

⁹ Tableau C.2 du cahier technique SIA 2031 (édition 2009) : Certificat énergétique des bâtiments.

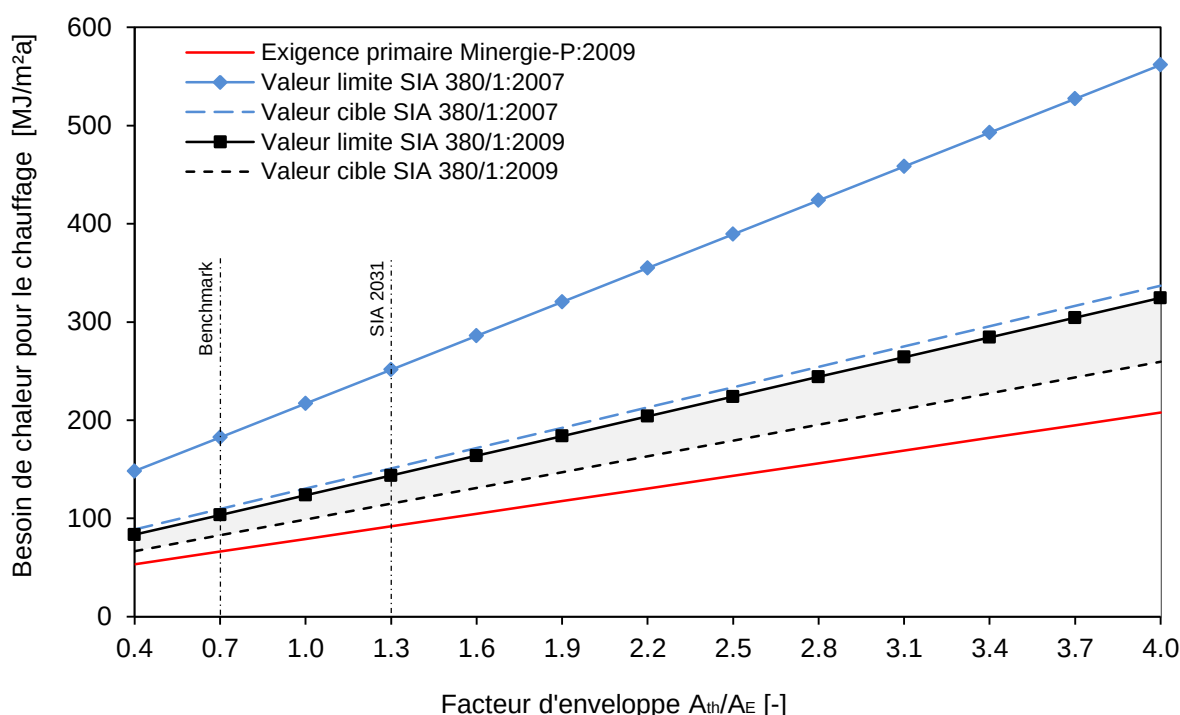
d) Influence du facteur d'enveloppe sur les exigences des besoins de chauffage

Le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage d'un bâtiment à rénover s'effectue dans des conditions normales d'utilisation conformément à la norme SIA 380/1. Dans le cas d'une justification par performance globale, le résultat du calcul est comparé à des valeurs limites $Q_{h,li}$ qui doivent être strictement respectées et à des valeurs cibles $Q_{h,ta}$ à viser.

La valeur limite dépend de la catégorie d'ouvrage (catégories définies à l'annexe A de la norme SIA 380/1) et du facteur d'enveloppe A_{th}/A_E du bâtiment (défini au point précédent). Elle est ensuite corrigée par rapport à une station météorologique de référence. Les valeurs cibles pour la rénovation sont fixées proportionnellement aux valeurs limites.

La Figure 2.11 montre l'influence du facteur d'enveloppe A_{th}/A_E sur les exigences des besoins de chauffage pour la rénovation des immeubles résidentiels genevois, conformément à la réglementation thermique de 2007 et de 2009. Les données climatiques utilisées sont celles de la station météorologique de Genève Cointrin selon le cahier technique SIA 2028.

Figure 2.11. Influence du facteur d'enveloppe A_{th}/A_E sur les exigences des besoins de chauffage pour la rénovation des immeubles résidentiels à Genève



On remarque tout d'abord que les valeurs-limites $Q_{h,li}$ et les valeurs cibles $Q_{h,ta}$ diminuent lorsque la compacité du bâtiment est plus grande.

Le tracé rouge continu indique l'exigence primaire imposée à l'enveloppe du bâtiment si on veut respecter le standard Minergie-P:2009 pour la rénovation. La modernisation selon ce standard exige en fait que les besoins de chaleur pour le chauffage, appelé également exigence primaire, ne dépassent pas 80% de la valeur limite SIA 2009 pour le neuf. Cette exigence vient s'ajouter aux conditions liées à l'indice de dépense d'énergie (IDE), qui est pondéré en fonction des agents énergétiques utilisés. Contrairement au standard Minergie-P, le standard Minergie pour la rénovation n'impose aucune exigence primaire sur l'enveloppe.

Le renforcement des réglementations thermiques en 2009 a un impact significatif sur les valeurs limites à respecter pour la rénovation. On remarque d'une part que les valeurs limites de 2009 atteignent à peu près le niveau des anciennes valeurs cibles 2007. D'autre part, l'écart entre la valeur limite et la valeur cible des besoins de chauffage est bien plus restreint en 2009 qu'en 2007.

En considérant un facteur d'enveloppe moyen arrondi à 0.7 pour les bâtiments résidentiels collectifs d'après-guerre (cf. Tableau 2.6), les besoins de chauffage calculés dans des conditions normales d'utilisation doivent être compris depuis 2009 entre la valeur limite de $104 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ et la valeur cible de $83 \text{ MJ/m}^2\text{a}$. Par rapport à 2007, ces valeurs ont fléchi respectivement de 43% et de 24%. La rénovation selon le standard MINERGIE-P:2009 exige que les besoins de chaleur pour le chauffage ne dépassent pas $66 \text{ MJ/m}^2\text{a}$.

L'utilisation d'un facteur de forme de 1.3, comme indiqué dans le cahier technique SIA 2031 pour la catégorie habitat collectif, entraîne une augmentation des valeurs d'un facteur 1.4. Toutefois, l'atteinte de ces objectifs nous semble ambitieux, mais nécessaire si on veut tendre vers une société à 2000 watts. Les caractéristiques énergétiques des bâtiments résidentiels collectifs seront analysées dans la partie suivante 2.5.

2.5 Caractéristiques énergétiques du parc résidentiel collectif genevois

Cette partie consiste dans un premier temps à analyser la consommation thermique connue du parc résidentiel collectif genevois et des indices de dépense de chaleur des bâtiments en 2010. Ensuite, nous procédons à l'estimation de la consommation thermique globale du secteur et des émissions de CO₂ qui lui sont liées et à l'analyse des besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

2.5.1 Données de base et hypothèses

2.5.1.1 Données énergétiques disponibles

La base de données "énergie" utilisée dans cette partie contient principalement l'information sur les agents énergétiques, les quantités consommées, la surface de référence énergétique des bâtiments et leurs identifiants. Elle fournit également les consommations d'énergie et les indices de dépense de chaleur (IDC) calculés sur la base du pouvoir calorifique inférieur PCI selon l'ancienne directive [34]. Il est important de noter que le mode de calcul de l'IDC a été modifié après 2010 et que la conversation en énergie est désormais basée sur le pouvoir calorifique supérieur PCS [35].

Les données énergétiques retenues pour cette analyse sont celles de l'année 2010 qui correspond à l'année de référence considérée pour le diagnostic. En compilant les données du fichier cantonal des bâtiments et des logements de l'OCSTAT avec la base de données énergie de l'OCEN, il ressort comme évoqué précédemment que les données énergétiques du secteur résidentiel collectif, composé de 12'602 bâtiments, ne sont pas entièrement recensées pour cette année. La part connue s'élève toutefois à 81% (10'168 bâtiments) et couvre 89% de la surface totale énergétique du secteur.

Le Tableau 2.7 donne la répartition des données énergétiques disponibles selon l'époque de construction des bâtiments. Les résultats montrent que nous disposons des données de 94% des bâtiments édifiés entre 1946 et 1980, soient près de 97% des surfaces énergétiques estimées de cette catégorie. La part la moins connue (55%) concerne les bâtiments les plus récents édifiés entre 2001 et 2010. **Dans un premier temps, l'analyse portera sur les 10'168 bâtiments dont les données énergétiques sont disponibles, ensuite les données manquantes seront extrapolées à partir du point 2.5.4.**

Tableau 2.7. Données énergétiques disponibles des bâtiments et leurs surfaces respectives, selon l'époque de construction

		<1919	1919 -1945	1946 -1960	1961 -1970	1971 -1980	1981 -1990	1991 -2000	2001 -2010	Total
Bâtiment total secteur	[-]	2'623	1'208	1'791	1'877	1'572	995	1'349	1'187	12'602
dont énergie connue	[-]	1'638	955	1'655	1'791	1'464	837	1'180	648	10'168
SRE totale secteur	[mio m ²]	3.39	1.78	2.57	3.90	2.90	1.61	1.74	1.41	19.30
dont énergie connue	[mio m ²]	2.65	1.60	2.47	3.83	2.81	1.46	1.57	0.82	17.22
% bât énergie connue	[-]	62%	79%	92%	95%	93%	84%	87%	55%	81%
% SRE énergie connue	[-]	78%	90%	96%	98%	97%	91%	91%	58%	89%

2.5.1.2 Agents énergétiques recensés

L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) définit les agents énergétiques comme « les substances et le flux servant à produire de l'énergie, directement ou après transformation » [36]. On distingue d'une part les *agents énergétiques primaires* qui se trouvent à l'état naturel et qui n'ont pas encore été transformés comme le bois-énergie, le rayonnement solaire et la chaleur de l'environnement utilisée comme source froide pour les pompes à chaleur. On compte également les ordures ménagères bien que ce dernier n'est plus à l'état naturel. D'autre part, les *agents énergétiques secondaires* comme le mazout, le gaz, la chaleur à distance et l'électricité, qui sont obtenus à partir de la transformation d'agents primaires, contribuent à couvrir une très grande partie de nos besoins de chaleur.

L'Annexe A7 fournit la liste des agents énergétiques utilisés pour la production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Il donne également les facteurs d'émission de CO₂ et les pouvoirs calorifiques inférieurs (PCI) retenus pour le calcul de l'indice de dépense de chaleur en 2010.

Les *agents énergétiques fossiles* recensés dans la base de données sont les huiles extra-légère et ultra-légère exprimées en litres, le gaz naturel exprimé en kWhpcs selon la facture des Services industriels de Genève et l'énergie fournie par les réseaux de chauffage à distance (CAD de mazout et CAD de gaz) en kWh.

Parmi les *agents énergétiques renouvelables*, on trouve les plaquettes et les granulés de bois exprimés respectivement en m³ et en tonnes, ainsi que la chaleur à distance CADIOM en kWh. Cette énergie qui provient de l'incinération des ordures ménagères n'est considérée qu'à 50% renouvelable, de par la biomasse contenue dans les déchets. A cela s'ajoute l'énergie électrique fournie par les Services industriels de Genève dont 87% provient de sources renouvelables. Cette énergie reste à l'heure actuelle très marginale et son usage non spécifié. Enfin, la base de données ne fournit pas d'informations relatives à l'énergie solaire thermique qui n'est pas pris en compte dans le calcul de l'indice de dépense de chaleur.

2.5.1.3 Correction des données

Une analyse plus fine des agents énergétiques attribués aux bâtiments résidentiels collectifs nous a permis d'identifier un certain nombre d'erreurs répétées. En fait, il semble que certains concessionnaires confondent le réseau de chauffage à distance par l'incinération des ordures ménagères CADIOM avec celui du réseau CAD SIG-Lignon alimenté par la centrale au gaz du Lignon.

Parmi les erreurs flagrantes, citons par exemple les bâtiments de la Cité du Lignon et de la Cité des Avanchets qui sont connectés en réalité au réseau CAD Lignon, mais indiqués selon notre base de données connecter au réseau CADIOM (erreurs répétées depuis 2005). L'Annexe A8 montre les deux cas cités ainsi que le tracé des principaux réseaux de chauffage à distance à Genève. La substitution entre deux chaleurs à distance entraîne une augmentation de la part du renouvelable (CADIOM) par rapport au fossile (gaz), sans toutefois modifier la consommation totale du parc.

Ainsi, des corrections ont été apportées aux 175 bâtiments dont l'agent énergétique indiqué était CADIOM au lieu de CAD Lignon. Dès lors, nous recommandons fortement de former les concessionnaires et de contrôler la qualité des données entrant par le biais de filtres. Par

exemple, un bâtiment situé sur la rive droite du Rhône ne pouvait pas être connecté en 2010 au réseau CADIOM qui alimente les bâtiments de la rive gauche.

Enfin, il convient de noter que la connexion depuis 2011 des deux réseaux de chauffage à distance CAD Lignon et CADIOM va rendre dorénavant plus difficile la répartition de l'énergie (fossile/renouvelable) à l'échelle du bâtiment.

2.5.1.4 Données complétées sur le solaire thermique

Comme évoqué précédemment, la base de données énergie ne fournit pas d'informations relatives à l'énergie solaire produite sur le site et se limite à l'énergie fournie et facturée à la fin de la chaîne commerciale. En revanche, il n'existe pas à l'heure actuelle un recensement exhaustif des capteurs solaires thermiques installés à Genève.

A partir des fichiers des installations solaires thermiques ayant fait l'objet d'une demande de subvention auprès de l'OCEN entre mars 1999 et mars 2009 et ceux installés par la Ville de Genève sur son parc de bâtiments entre 1984 et 2011, nous avons créé une base de données pour le secteur résidentiel collectif.

Pour ce faire, nous avons recherché les identifiants EGID des bâtiments à partir des adresses fournies dans les fichiers obtenus. Dans certains cas, les adresses ont été complétées sur la base de vérification sur le site du système d'information du territoire genevois SITG (<http://ge.ch/sitg/>). Ce travail de longue haleine nous a permis de compiler les données des capteurs solaires avec les données du fichier énergie et du fichier FCBL qui contient par exemple le nombre d'habitants.

Au total, la base de données qui ne se veut pas exhaustive contient à fin 2010, 135 installations solaires thermiques (8'645 m² de capteurs) posés sur près de 400 bâtiments résidentiels à trois logements et plus (SRE = 600'000 m²) et qui permet le préchauffage de l'eau chaude sanitaire pour environ 13'700 personnes. La surface moyenne posée par habitant est de 0.63 m², gage d'un bon dimensionnement. La production annuelle des systèmes solaires dépend essentiellement du rapport entre la surface de collecteurs et le nombre d'unité de consommation. La méthode retenue pour ce calcul sera explicitée au point 2.5.6.3. La productivité moyenne annuelle de l'ensemble des installations a été estimée à près de 650 kWh/m² de capteur.

2.5.1.5 Comptabilisation de l'énergie

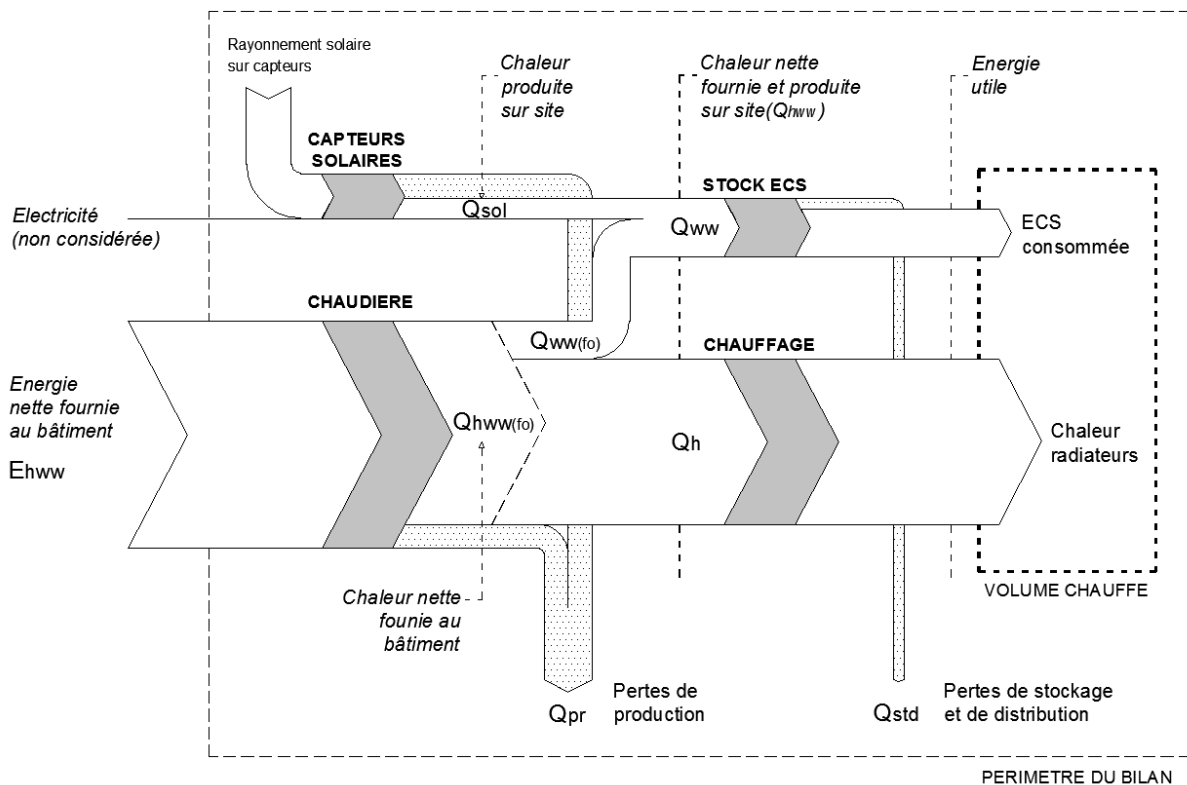
L'énergie qui résulte de la combustion d'un agent énergétique se différencie par sa source (renouvelable ou non renouvelable), par sa qualité (noble ou dégradée) et par son niveau de conversion (énergie brute, finale ou utile). Tout au long de la chaîne énergétique, l'énergie suit différents processus de transformation qui surviennent avec des pertes énergétiques. Selon l'étape considérée dans la chaîne, on distingue plusieurs formes d'énergies :

- L'énergie brute : énergie qui correspond à « l'utilisation globale d'énergie à l'échelle du pays, c'est-à-dire à la somme de la production indigène, des importations nettes d'énergie et des variations de stocks » [36]. Elle ne tient pas compte par exemple de l'énergie nécessaire à l'extraction des produits pétroliers, sa transformation, son transport et son stockage.

- **L'énergie finale** : énergie consommée par l'utilisateur final à la suite d'une chaîne de transformation. Elle comprend l'énergie fournie au bâtiment et l'énergie produite et utilisée sur le site. Pour ce dernier, il s'agit par exemple des énergies renouvelables non commercialisées comme la chaleur produite par les capteurs solaires thermiques Q_{sol} ou la chaleur de l'environnement utilisée comme source froide pour les pompes à chaleur.
- **L'énergie utile** : énergie à disposition du consommateur final après sa dernière transformation. C'est le cas de la chaleur dans la pièce ou de la chaleur de l'eau chaude au point de soutirage. Le passage de l'énergie finale à l'énergie utile se fait par le rendement de production (cf. point 2.5.1.6) et par des pertes au niveau du stockage et de la distribution de l'eau chaude sanitaire.

Pour mieux illustrer les niveaux entre l'énergie finale et l'énergie utile, la Figure 2.12 présente un diagramme simplifié des flux d'énergie dans un bâtiment type assez représentatif des bâtiments résidentiels collectifs à Genève.

Figure 2.12. Diagramme simplifié des flux d'énergie dans un bâtiment type à Genève



Nous admettons qu'une chaudière située dans le bâtiment fournit l'énergie pour le chauffage des locaux et l'appoint nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire. En complément, une installation solaire thermique permet le préchauffage de l'eau chaude sanitaire.

Le périmètre du volume chauffé, appelé également limite de l'enveloppe thermique, est défini selon la norme SIA 416/1 (chiffre 2.2). La limite du périmètre du bilan est déterminée par les installations et les équipements qui alimentent directement le bâtiment conformément au cahier technique SIA 2031 (chiffre 3.3.5). Les installations directement liées au bâtiment et utilisant les énergies renouvelables de manière active, comme l'installation solaire, sont

considérées à l'intérieur du périmètre du bilan, conformément à la norme SIA 2031 (chiffre 3.3.7).

On note aussi que le rayonnement solaire n'est pas considéré comme une énergie nette fournie, puisque selon cette même source « l'apport énergétique contribuant au bilan énergétique du bâtiment n'est pas le rayonnement solaire mais la chaleur produite par les capteurs ». Dans cette même perspective, « l'apport des sondes géothermiques n'est pas la chaleur géothermique mais la chaleur fournie par exemple à la pompe à chaleur ». Bien qu'il soit commun dans une société basée sur les énergies fossiles que la comptabilisation de l'énergie soit réalisée à l'entrée du périmètre du bilan, il est important dorénavant de considérer également la chaleur non commercialisée produite sur le site, comme par exemple la chaleur produite des capteurs solaires (Q_{sol}).

Le Tableau 2.8 donne les définitions des énergies illustrées par le diagramme de flux. Ces définitions ont été reprises en partie du cahier technique SIA 2031 et adaptées et complétées par l'auteur.

Tableau 2.8. Définitions proposées pour la comptabilisation de l'énergie dans le bâtiment

Q_h	Besoin de chaleur pour le chauffage	Chaleur à fournir aux espaces chauffés pour maintenir la température de consigne pendant une durée donnée.
Q_{ww}	Besoin de chaleur pour l'eau chaude sanitaire	Chaleur nécessaire pour chauffer la quantité requise d'eau froide à la température de l'eau chaude. En cas de production solaire thermique sur le site, Q_{ww} devient la somme de la chaleur d'appoint fournie pour la préparation de l'eau chaude sanitaire $Q_{ww(fo)}$ et de la chaleur produite sur site (Q_{sol}).
Q_{sol}	Chaleur solaire produite sur site	Chaleur produite sur site par les capteurs solaires thermiques. Pour les immeubles résidentiels collectifs, nous avons admis que la production solaire contribue uniquement au préchauffage de l'eau chaude sanitaire.
Q_{hww}	Besoin de chaleur pour le chauffage et pour l'eau chaude (appelé aussi demande thermique)	Chaleur (nette fournie et produite sur site) nécessaire pour le chauffage (Q_h) et l'eau chaude sanitaire (Q_{ww}) après conversion, mais en amont de la distribution et du stockage dans le bâtiment. En cas de production solaire thermique sur le site, Q_{hww} devient égal à $Q_h + Q_{sol} + Q_{ww(fo)}$, avec $Q_{ww(fo)}$ la chaleur d'appoint nécessaire pour chauffer l'eau chaude.
$Q_{hww(fo)}$	Besoin de chaleur fourni pour le chauffage et pour l'eau chaude	Chaleur nette fournie au bâtiment pour couvrir l'ensemble ou une partie des besoins de chauffage (Q_h) et d'eau chaude sanitaire (Q_{ww}) après conversion, mais en amont de la distribution et du stockage dans le bâtiment. Dans l'exemple considéré, $Q_{hww(fo)}$ représente la somme de $Q_{ww(fo)}$ et de Q_h .
E_{hww}	Energie nette fournie pour le chauffage et pour l'eau chaude	Energie livrée au bâtiment, sous forme d'agent énergétique en fin de chaîne commerciale, pour couvrir l'ensemble ou une partie des besoins de chauffage (Q_h) et d'eau chaude sanitaire (Q_{ww}) ainsi que les pertes de production (Q_{pr}), des accumulateurs et de la distribution (Q_{std}).

Il convient de préciser que la notion de demande thermique utilisée dans le texte correspond au besoin de chaleur pour le chauffage et pour l'eau chaude (Q_{hww}). En guise de simplification, nous n'avons pas tenu compte des pertes de conduites de chauffage dans les zones non chauffées.

Ces définitions se veulent une base pour ce travail, mais ne sont pas complètes. Elles méritent d'être élargies pour tenir compte par exemple de la valorisation des rejets thermiques (système double-flux et/ou PAC sur l'air extrait, etc.).

2.5.1.6 Fractions utiles des systèmes de production

On désigne par fraction utile le rapport entre l'énergie nette fournie au bâtiment et la chaleur nette fournie, en moyenne annuelle. La plupart des bâtiments résidentiels collectifs à Genève sont équipés d'un système central combiné de production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, prévu pour un ou plusieurs bâtiments.

Des valeurs indicatives minimales et maximales de la fraction utile pour différents systèmes neufs et de bonnes qualités sont indiquées dans l'annexe D de la norme SIA 380/1. Cependant, il existe peu de données disponibles dans la littérature sur la fraction moyenne utile des systèmes existants de production de chaleur, qui peut varier considérablement suivant la technique choisie, l'âge et l'état de l'installation.

Le Tableau 2.9 donne les fractions utiles des systèmes de production de chaleur (chauffage et ECS) utilisées dans ce chapitre. Il s'agit d'une estimation pour le secteur résidentiel collectif genevois.

Tableau 2.9. Rendements annuels moyens estimés des systèmes existants de production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (secteur résidentiel collectif à Genève)

Systèmes de production de chaleur	Fraction utile moy [-]
Chaudière à mazout	0.83
Chaudière à gaz	0.90
Chaudière à bois plaquettes	0.85
Chaudière à bois granulés (pellets)	0.85
Chauffage à distance CADIOM	1.00
Chauffage à distance au gaz	1.00
Autres chauffage à distance	1.00
Chauffage électrique direct	1.00

Pour les chaudières à mazout¹⁰, nous avons admis un rendement annuel moyen sur PCI de 83%. Cette valeur se base sur une analyse en cours qui évalue la baisse de l'indice de dépense de chaleur d'environ 250 bâtiments (allées) chauffés initialement au mazout et qui se sont raccordés ensuite au réseau CADIOM. L'analyse a montré que 90% des 74 sous-stations ont connu une baisse¹¹ de l'IDC variant entre 5% et 30%, avec une baisse moyenne située à 17% (communication privée : Loïc Quiquerez, UNIGE). On peut donc déduire que le rendement annuel moyen des chaudières existantes, substituées par le chauffage à distance à Onex, est de 83%. Ce résultat est très proche de la valeur de 82% retenue par Nässén et al. [37], dans une étude portant sur l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels collectifs en Suède.

¹⁰ Ce transformateur est le plus répandu dans le secteur résidentiel collectif à Genève (cf. Figure 2.13).

¹¹ Différence entre les moyennes sur 3 ans des indices de dépense de chaleur observés avant et après le raccordement.

Pour les chaudières à gaz, un rendement de 90% a été considéré. Etant donné que la base de données utilisée ne permet pas de distinguer entre les chaudières conventionnelles et les chaudières à condensation qui restent peu nombreuses à l'heure actuelle, on a considéré que les fractions retenues pour les chaudières à mazout et à gaz sont représentatives de l'ensemble des chaudières conventionnelles et à condensation. On note que la chaleur générée par les chaudières à mazout et à gaz couvre la quasi-majorité des besoins thermiques des bâtiments destinés à l'habitat collectif à Genève (se référer au diagramme de flux à la Figure 2.13).

En ce qui concerne la chaufferie centrale à gaz du Lignon, nous avons considéré un rendement annuel de production de 93% sur la base d'informations fournies par les Services industriels de Genève (SIG). Nous avons également utilisé pour établir le bilan énergétique de l'usine d'incinération des ordures ménagères des Cheneviers les résultats d'exploitation fournis par les SIG pour l'année 2010.

Pour les quelques chaudières à bois recensées (majoritairement à granulés), on a admis une fraction utile de 85%. Une valeur de 1 a été considérée pour les chauffages à distance car les pertes de production et de transport sont hors périmètre (se référer au point suivant 2.5.1.7).

On a également identifié 16 bâtiments qui utilisent l'électricité directe comme second agent énergétique pour la production de chaleur. Toutefois, la base de données ne contient pas d'informations relatives à l'électricité utilisée par les pompes à chaleur, et ce malgré qu'on sait qu'il en existait en 2010.

2.5.1.7 CAD tarifé et CAD réparti

Lorsque la transformation des agents énergétiques survient au-delà de la limite du bâtiment, c'est-à-dire à l'extérieur du périmètre du bilan, la directive pour le calcul de l'indice de dépense de chaleur [34] distingue deux catégories de réseaux de chauffage à distance : le CAD réparti et le CAD tarifé.

Dans le premier cas, l'énergie achetée (par exemple des litres de mazout) est répartie entre les preneurs au prorata de leur consommation respective. Ainsi, l'énergie comptabilisée intègre les pertes de transformation et de transport. C'est le cas généralement des chaufferies de quartiers et d'îlots.

Tandis que pour les CAD tarifés (cas de CADIOM et de CAD Lignon), l'énergie comptabilisée est la chaleur fournie à la sous-station (énergie déjà transformée) qui n'inclue pas les pertes liées à la production et au transport. Afin de rendre comparable cette consommation à celle des CAD réparti, la directive prévoit une correction de la consommation nette d'énergie en considérant une fraction non utile de 7.5% (1 kWh de chaleur utile vaut 3.892 MJ normalisée, cf. Annexe A7).

Cependant, nous avons constaté que cette correction n'a pas été appliquée pour des raisons qu'on ignore. Par conséquent, des pertes de chaleur de 8% sur les réseaux de chauffage à distance ont été considérées pour établir les bilans énergétiques aux points 2.5.2 et 2.5.4.

2.5.1.8 Correction climatique

Afin de pouvoir comparer les résultats présentés en 2010 avec d'autres années, une correction climatique de l'énergie fournie (E_{hww}) est nécessaire. Cette correction s'applique uniquement à la consommation d'énergie liée au chauffage qui est influencée par le climat extérieur.

Etant donné que notre analyse porte sur l'année 2010, nous avons choisi de prendre comme référence les 2659 DJ_{12/18} de la norme SIA 381/3 utilisée dans l'ancienne directive de calcul de l'IDC [34] (et non pas la nouvelle météo de référence SIA 2028 utilisée pour le calcul des IDC à partir de 2011 [35]). Pour une température moyenne des logements de 18°C et une température de non-chauffage de 12°C, on compte 2658 degrés-jours¹² de chauffage à Genève pour la saison (septembre à mai) 2010.

Le facteur de correction climatique, qui utilise par défaut une répartition de 30% de chaleur pour l'eau chaude sanitaire et 70% pour le chauffage, est donc égal à 1.000 pour la saison 2010. Cela veut dire que la météo de cette année est représentative de la météo de référence. Par conséquent, la comparaison des résultats de 2010 avec ceux des autres années peut se faire directement.

2.5.2 Consommation thermique connue du secteur et flux d'énergie

2.5.2.1 Bilan annuel des flux d'énergie thermique

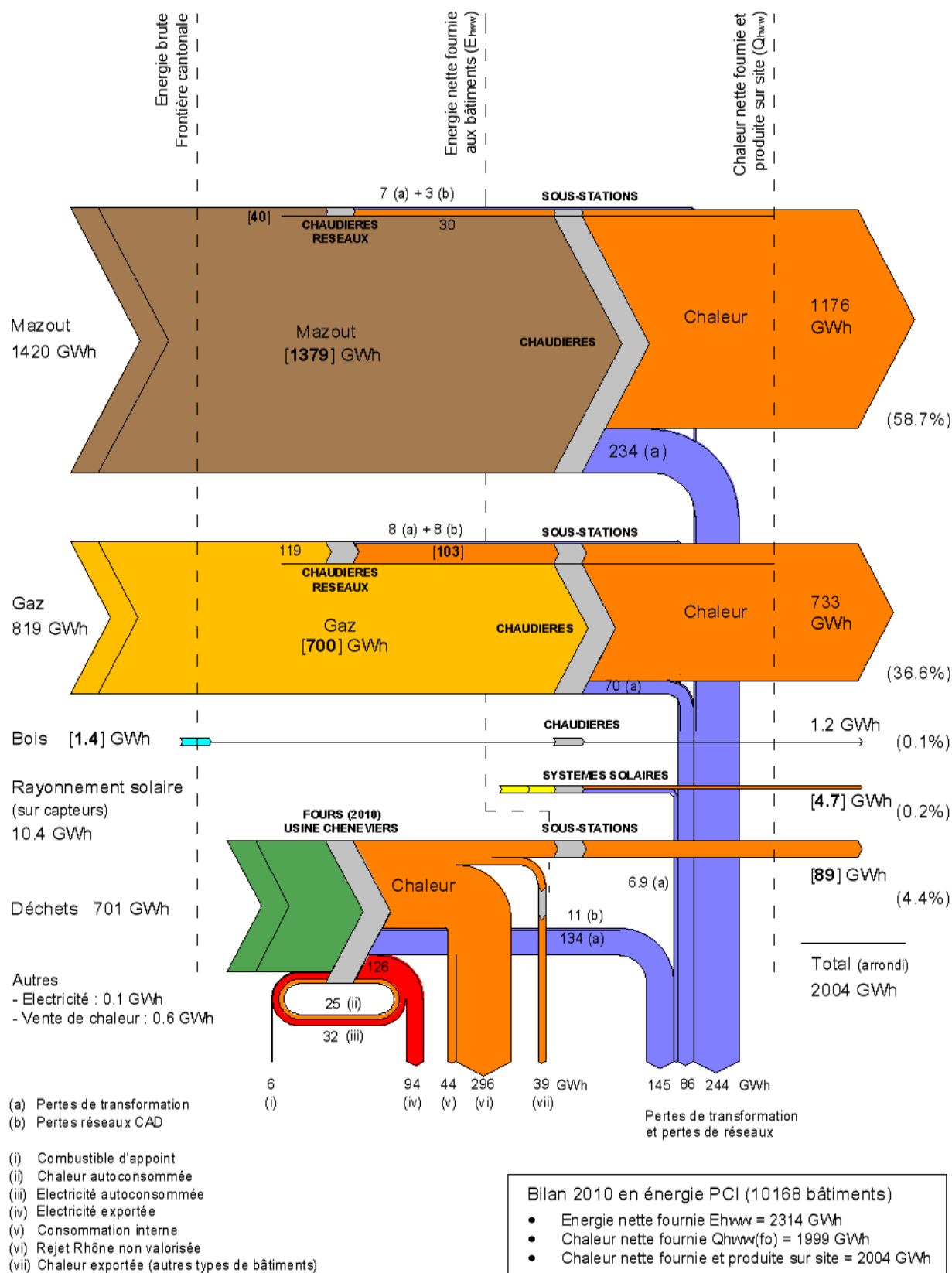
Le bilan d'énergie thermique des 10'168 bâtiments résidentiels collectifs a été établi pour l'année 2010 sur la base des hypothèses présentées au point 2.5.1. Ces bâtiments représentent 81% du parc résidentiel collectif à Genève et couvrent 89% de la SRE totale estimée du secteur.

Les résultats sont présentés à la Figure 2.13. Toutes les données sont indiquées en pouvoir calorifique inférieur (PCI). Hormis l'énergie solaire thermique qui est issue de la base de données solaire (cf. 2.5.1.4), les valeurs entre crochets indiquées sur le graphique ont été calculées à partir des informations contenues dans le fichier énergie de l'OCEN.

On trouve sur le côté droit du graphique la demande thermique nécessaire pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire des bâtiments qui représente la chaleur nette fournie et produite sur site (Q_{hww}) après conversion, mais en amont de la distribution et du stockage dans le bâtiment. Cette chaleur correspond dans le cas d'un bâtiment raccordé à un réseau de chauffage à distance, et non équipé d'un système solaire thermique, à l'énergie thermique facturée au client et mesurée après l'échangeur du côté secondaire de la sous-station.

¹² Tableau des degrés-jours, mis à disposition par l'Office cantonal de l'énergie (OCEN) sur son site internet <http://ge.ch/energie/>.

Figure 2.13. Bilan des flux d'énergie thermique en GWh PCI des 10'168 bâtiments résidentiels collectifs genevois dont les données énergétiques sont disponibles. Ces bâtiments représentent 89% de la surface totale énergétique de ce secteur en 2010 (voir texte)



NB: Hormis l'énergie solaire, les valeurs entre crochets sont issues de la base de données énergie de l'OCEN. Au niveau graphique, les pertes de réseaux et de transformation de part et d'autre du périmètre du bilan ont été regroupées.

En 2010, la **demande thermique des 10'168 bâtiments atteint 2'004 GWh**. Cette demande est couverte à 58.7% par le mazout et à 36.6% par le gaz, soit un total de 95.3% mettant en évidence la vulnérabilité du secteur vis-à-vis des agents fossiles importés. Le reste (4.7%) est fourni principalement par la chaleur CADIOM (4.4%) issue de l'incinération des ordures ménagères admise comme 50% renouvelable. Enfin, les parts couvertes par la chaleur produite des capteurs solaires et celle provenant de la combustion du bois s'élèvent respectivement à 0.2% et 0.1%.

La chaleur solaire Q_{sol} produite en 2010 est estimée à 4.7 GWh. Un rendement de conversion¹³ de 45% a été admis pour estimer le rayonnement solaire sur capteurs (10.4 GWh). On rappelle que seules les installations ayant fait l'objet d'une demande de subvention auprès de l'OCEN et les installations de la Ville de Genève ont été considérées. On recense près de 305 bâtiments équipés de panneaux solaires sur un total de 10'168 bâtiments. Enfin, la chaleur nette fournie aux bâtiments $Q_{hww(fo)}$ s'élève à 1'999 GWh (après déduction de la chaleur produite sur site Q_{sol}).

Au centre du graphique, **l'énergie nette fournie E_{hww} aux 10'168 bâtiments s'élève à 2'314 GWh** en 2010. On remarque que ces énergies ne se trouvent pas au même niveau de conversion, dans le sens où la conversion énergétique survient aussi bien sur le site (cas d'une chaufferie) qu'à l'extérieur du bâtiment (cas du chauffage urbain). A cet égard, plusieurs questions se posent quant à savoir s'il est judicieux d'additionner dans les statistiques la consommation de mazout et de gaz avec de l'électricité et de la chaleur à distance? Avec le recours aux énergies renouvelables et à la valorisation des rejets thermiques, la comptabilisation de l'énergie nécessite une révision et une adaptation aux objectifs de l'ère post-fossile.

Sur le côté gauche du graphique (côté des ressources), on distingue les agents énergétiques importés des agents indigènes. Les agents provenant de l'extérieur du pays sont principalement le mazout et le gaz qui fournissent presque la totalité de la consommation d'énergie finale des bâtiments (1'420 GWh pour le mazout et 819 GWh pour le gaz). Une partie du bois consommée à Genève est aussi importée. Sans différencier entre la part importée et la part indigène, la chaleur produite par le bois atteint 1.4 GWh en 2010. Elle se répartit entre 0.2 GWh de bois plaquettes, 0.8 GWh de bois pellets et environ 0.4 GWh de chaleur à distance provenant de la combustion de bois.

Au niveau local, la chaleur générée par la combustion des ordures ménagères produit de l'énergie électrique et de la chaleur à distance exploitée par CADIOM à Genève. En 2010, la chaleur à distance consommée par les bâtiments résidentiels collectifs est estimée à 89 GWh, alors qu'environ 39 GWh sont fournies à d'autres types de bâtiments.

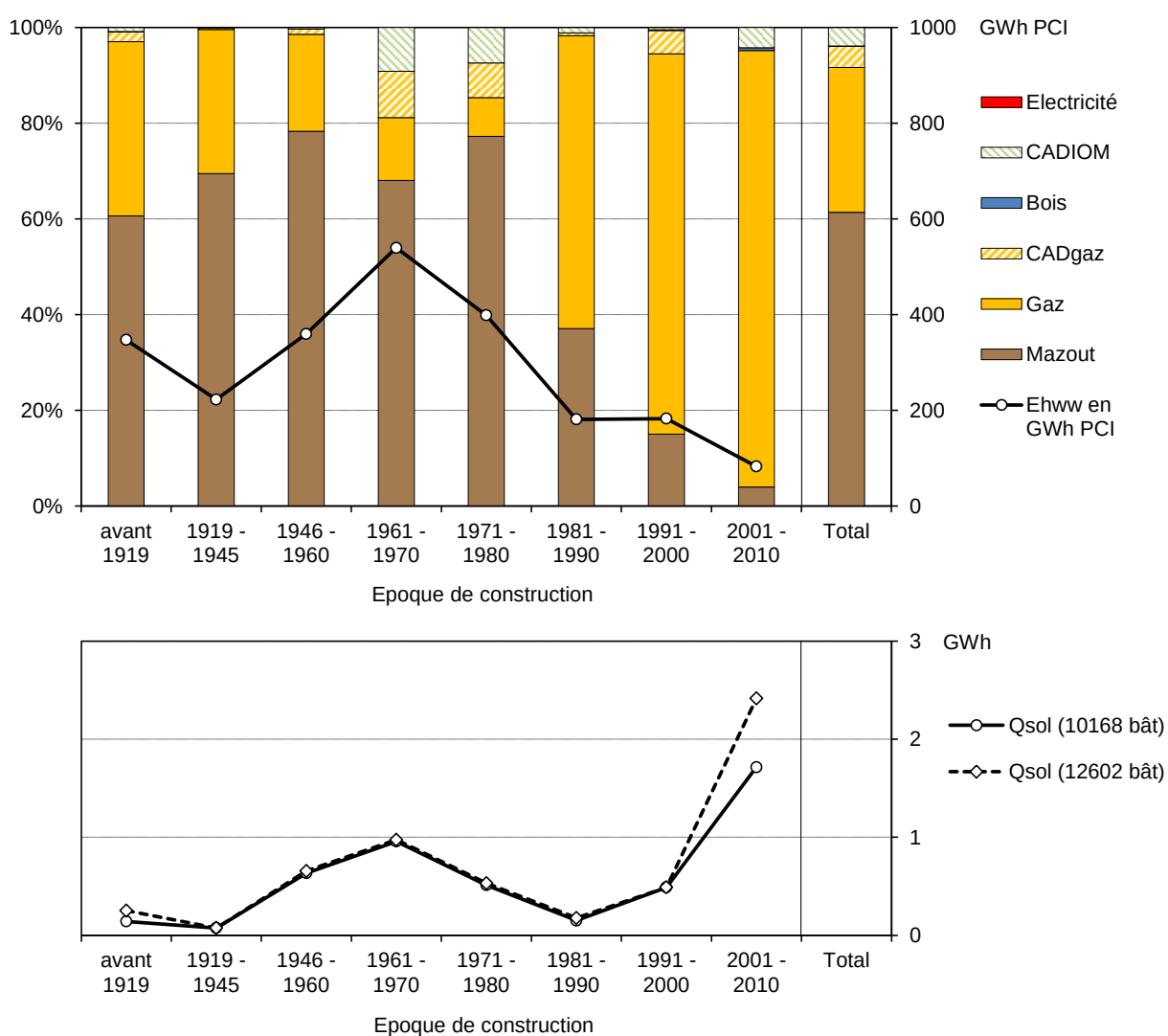
Enfin en guise de simplification, nous n'avons pas illustré sur le graphique les flux d'énergie électrique (négligeable, mais considérée dans la consommation finale au point suivant) et de chaleur vendue à des tiers (chaleur déjà comptabilisée dans le bilan).

¹³ Le rendement de conversion se définit comme le rapport entre la production solaire et l'ensoleillement dans le plan capteur. Le rendement annuel retenu est celui mesuré durant la saison 2009-2010 dans le cadre du retour d'expérience du bâtiment Gros-Chêne (se référer à 4.3.6.2).

2.5.2.2 Structure de la consommation finale connue

Le graphique du haut de la Figure 2.14 donne la répartition de la consommation thermique connue (énergie nette fournie pour couvrir les besoins de chauffage et d'ECS des 10'168 bâtiments résidentiels collectifs), selon l'agent énergétique utilisé et l'époque de construction des bâtiments en 2010. Le tracé indique sur l'axe secondaire la consommation totale E_{hww} en GWh PCI par tranches d'âges. Le graphique du bas donne la répartition de la production solaire thermique selon l'époque de construction des bâtiments équipés de panneaux. Le bilan sur les 10'168 bâtiments est indiqué en ligne continue alors que celui qui concerne l'ensemble du secteur est en ligne pointillée. Toutes les valeurs sont fournies à l'Annexe A9.

Figure 2.14. Structure de la consommation thermique connue des 10'168 bâtiments résidentiels collectifs selon l'époque de construction et l'agent énergétique utilisé à Genève en 2010
(En haut, l'énergie nette fournie ; en bas, la chaleur solaire produite sur site)



Remarque :

En haut : Energie nette fournie aux 10'168 bâtiments résidentiels :
 • $E_{hww} = 2'314$ GWh PCI en 2010

En bas : Chaleur produite des capteurs solaires :
 • $Q_{sol} = 4.7$ GWh (Bilan sur les 10'168 bâtiments résidentiels en 2010)
 • $Q_{sol} = 5.6$ GWh (Bilan sur les 12'602 bâtiments résidentiels en 2010)

On constate d'abord que la structure de la consommation d'énergie finale diffère selon l'époque de construction des bâtiments. Pour les bâtiments construits avant 1980, la part du mazout est dominante avec une moyenne située à 70%, alors que cette part n'atteint que 37% pour les bâtiments édifiés durant la période 1981-1990 et que 15% et 4% respectivement pour les deux dernières tranches d'âges.

En contrepartie, la part du gaz voit sa part augmenter pour atteindre environ 90% de la consommation des bâtiments construits récemment entre 2001 et 2010. Pour cette tranche d'âge, l'énergie produite des capteurs solaires thermiques atteint 1.7 GWh en 2010. Si l'on considère l'ensemble des bâtiments résidentiels collectifs construits durant cette tranche d'âge (2001-2010), y compris ceux dont la consommation thermique n'est pas connue, la chaleur solaire produite en 2010 atteint 2.4 GWh. Cette production est cinq fois plus importante que la production annuelle des bâtiments des années 1991-2000 (cf. graphique du bas de la Figure 2.14). Elle est également très proche de la production solaire des bâtiments d'après-guerre édifiés entre 1946 et 1980 (près de 2.1 GWh en 2010).

La part d'énergie solaire dans la consommation finale devrait augmenter dans les prochaines années, notamment après l'entrée en vigueur de la nouvelle loi cantonale sur l'énergie qui impose dorénavant, en cas de rénovation de toiture ou de nouvelle toiture, de couvrir 30% des besoins d'ECS par du solaire thermique.

La planification énergétique territoriale joue aussi un rôle important dans le développement des énergies renouvelables et la valorisation des rejets thermiques. Le développement depuis 2002 du réseau de chauffage à distance par l'incinération des ordures ménagères CADIOM a permis de substituer principalement du mazout utilisé dans des chaufferies individuelles par de la chaleur fatale. Cela a conduit à une baisse de la consommation de mazout des bâtiments des années soixante et septante (baisse visible sur la Figure 2.14).

Depuis 2011, la liaison entre le réseau CADIOM et le réseau CAD-Lignon alimenté au gaz devrait permettre de mieux valoriser la chaleur fatale déversée dans le Rhône. Au vu des premiers résultats, les quantités de gaz substituées seront de l'ordre 70-80 GWh/an¹⁴. Les effets de la connexion de ces deux réseaux seront étudiés dans le cadre du projet REMUER [38] mené à l'Université de Genève.

¹⁴ Communication privée de Loïc Quiquerez (UNIGE)

2.5.3 Consommation thermique unitaire IDC en 2010

2.5.3.1 Introduction générale

L'analyse des consommations d'énergie par unité de surface de plancher chauffé permet de neutraliser l'effet de taille des bâtiments. Il existe, à l'heure actuelle, en Suisse plusieurs indicateurs énergétiques permettant de qualifier et de comparer la performance thermique des bâtiments.

Nous citons à titre d'exemple, l'indice de dépense d'énergie du standard Minergie (énergie finale pondérée), les valeurs limites et cibles pour les besoins de chauffage de la norme SIA 380/1 (énergie utile), les indicateurs de la société à 2000 watts par personne (énergie primaire). En complément, l'Office cantonal de l'énergie (OCEN) à Genève récolte depuis plusieurs années l'indice de dépense de chaleur (IDC) qui est un indicateur de la consommation d'énergie finale facturée à la fin de la chaîne commerciale (énergie nette fournie au bilan) en conditions réelles d'exploitation et d'utilisation.

Bien que l'indicateur énergétique ait l'avantage d'être un outil simple et pratique, la comparaison directe des résultats peut s'avérer dangereuse si l'on ne vérifie pas la concordance des hypothèses de calcul avec le champ d'application de l'indicateur¹⁵. En réalité, ces indicateurs comptabilisent l'énergie à des niveaux différents (énergie primaire, finale, utile), pour des usages variés (chauffage, eau chaude sanitaire, etc.) et dans des conditions d'utilisation différentes (conditions normées ou conditions réelles d'utilisation). La performance en conditions réelles d'utilisation tient compte de l'efficacité réelle de l'enveloppe, des installations techniques et du comportement des usagers : occupants et gestionnaires de l'énergie.

Ces indicateurs couvrent principalement trois grands domaines d'application: (a) l'étude et la conception énergétique des bâtiments neufs ou à rénover, (b) le respect des normes, des réglementations thermiques et des standards comme Minergie, et enfin (c) le contrôle et le suivi de la performance réelle des bâtiments. Cette section sera consacrée à l'indice de dépense de chaleur (IDC) qui sert de référence à Genève pour suivre la consommation énergétique du parc immobilier. Il permet aussi à l'administration de situer les bâtiments par rapport aux seuils fixés par la loi.

2.5.3.2 Indices de dépense de chaleur (IDC) : définition, modes de calcul et obligations réglementaires

a) Convention adoptée : année de référence et mode de calcul

Les données énergétiques utilisées dans cette section sont celles de l'année 2010 et proviennent du fichier énergie de l'OCEN. La consommation énergétique des bâtiments s'étend sur 12 mois consécutifs et correspond habituellement à la saison de chauffage du 1er mai 2009 au 30 avril 2010. Il convient de noter que le calcul de l'indice de dépense de chaleur (IDC) en 2010, s'effectuait encore selon les modalités décrites dans l'ancienne directive [34].

¹⁵ Par exemple, on ne peut pas effectuer une comparaison directe entre les indicateurs Minergie, SIA et l'IDC.

La révision de la loi cantonale sur l'énergie a entraîné une modification de la méthode de calcul de cet indicateur. Dès lors, il n'est plus possible de comparer directement pour un même bâtiment les indices antérieurs à l'année 2010 avec ceux postérieurs à cette année. Les principales évolutions entre l'ancienne directive [34] et la nouvelle directive [35] sont présentées à l'Annexe A10.

Suite à ce changement réglementaire, les indices énergétiques de l'année 2011 n'étaient pas disponibles au moment de l'analyse puisque les propriétaires des bâtiments résidentiels avaient un délai au 30 septembre 2013 pour communiquer cette information à l'OCEN. Pour ces raisons, il était difficile de considérer la consommation moyenne sur trois années consécutives (par exemple 2009-2011), bien que cette méthode permette de neutraliser les variations annuelles. La méthode de calcul de cet indicateur, admise jusqu'à la fin de l'année 2010, est présentée au point suivant.

b) Méthode de calcul de l'indice de dépense de chaleur (IDC) selon l'ancienne directive

L'indice de dépense de chaleur (IDC) représente la quantité annuelle d'énergie finale consommée pour la production de chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire), ramenée à un mètre carré de plancher chauffé (SRE) et normalisée en fonction des degrés-jours de chauffage de l'année considérée [34]. Exprimé en mégajoules par mètre carré et par an ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{a}$), il est donné par l'équation suivante (Équation 2.1) :

$$IDC [\text{MJ}/\text{m}^2\text{a}] = \frac{C * c * (a + b * \left(\frac{DJ\_année\_référence}{DJ\_année\_considérée}\right))}{SRE}$$

(Équation 2.1)

Avec :

- C : Consommation annuelle d'énergie pour la production de chaleur, exprimée dans l'unité de mesure de l'agent énergétique (litre, m^3 , kWh, etc.)
- c : Facteur de conversion basé sur le pouvoir calorifique inférieur, cf. Annexe A7
- a : Part de la consommation relative à la production d'eau chaude sanitaire (non influencée par le climat)
- b : Part de la consommation relative à la production de chaleur pour le chauffage (influencée par le climat)
- SRE : Surface de référence énergétique en m^2 comme définie dans la norme 416/1
- DJ_année : Nombre de degrés-jours 12/18 de l'année de référence selon l'ancienne norme de référence SIA 381/3 à Genève (2659 $\text{DJ}_{12/18}$)
- DJ_année considérée : Nombre de degrés-jours 12/18 mesurés pour la saison ou l'année considérée à Genève (se référer au tableau des degrés-jours sur <http://ge.ch/energie/>)

En 2010, le facteur de correction saisonnier est égal à 1 (cf. 2.5.1.8). Dans le cas où les parts "a" et "b" ne sont pas connues, les valeurs considérées par défaut sont respectivement 0.3 et 0.7. Ces valeurs ne correspondent plus à la répartition dans les bâtiments neufs et rénovés. Elles ont été par conséquent modifiées dans la nouvelle directive [35]. Jusqu'à fin de l'année 2010, le calcul de l'IDC était obligatoire¹⁶ pour tous les bâtiments d'avant 1993 et regroupant au moins 5 preneurs de chaleur¹⁷.

¹⁶ Obligation fondée sur les articles 15B alinéa 2 de la loi sur l'énergie (LEnGe, L2 30) et 14 de son règlement d'application (RaLEnGE, L 2 30.01).

¹⁷ Un preneur de chaleur est défini par l'OCEN comme un utilisateur d'une unité immobilière indépendante équipée d'un compteur électrique.

c) Obligations réglementaires liées au calcul de l'IDC

La révision de la loi cantonale sur l'énergie a permis de renforcer les exigences légales relatives à l'IDC des bâtiments. Si la politique énergétique avant le 5 août 2010 était plutôt incitative (assujettissement au décompte individuel des frais de chauffage DIFC pour les bâtiments dont l'IDC était supérieur à 600 MJ/m²a), celle d'après oblige les propriétaires à entreprendre des audits énergétiques, de mettre en œuvre des mesures d'amélioration et de réaliser des travaux en cas de dépassement des seuils fixés par la loi.

Le Tableau 2.10 contient un résumé des principales obligations légales mentionnées dans l'ancienne directive [34] et la nouvelle directive [35] pour le calcul de l'indice de dépense de chaleur à Genève.

Tableau 2.10. Tableau récapitulatif des principales obligations légales selon l'ancienne directive et la nouvelle directive pour le calcul de l'IDC à Genève

Ancienne directive (avant le 5.08.2010)		
Application	Seuil	Obligation en cas de dépassement
Bâtiments > 5 preneurs et d'avant 1993	$\overline{\text{IDC}}_{\text{sur 2ans}} > 600 \text{ MJ/m}^2\text{a}$	- d'installer sous 2 ans un DIFC (décompte individuel des frais de chauffage) ou ramener l'IDC en dessous de 600 MJ/m ² a
Nouvelle directive (après le 5.08.2010)		
Application	Seuil	Obligation en cas de dépassement
Tous les bâtiments < et > 5 preneurs	$\overline{\text{IDC}}_{\text{sur 3ans}} > 600 \text{ MJ/m}^2\text{a}$	- d'installer sous 2 ans un DIFC (décompte individuel des frais de chauffage) ou ramener l'IDC en dessous de 600 MJ/m ² a
	$\overline{\text{IDC}}_{\text{sur 3ans}} > 800 \text{ MJ/m}^2\text{a}$	- de réaliser sous 1 an un audit énergétique du bâtiment au frais du propriétaire - de mettre en œuvre sous 2 ans les mesures rentables en moins de 3 ans
	$\overline{\text{IDC}}_{\text{sur 3ans}} > 900 \text{ MJ/m}^2\text{a}$	- idem obligation si IDC > 800 MJ/m ² a - d'entreprendre en complément sous 5 ans des travaux permettant de faire baisser l'IDC sous le seuil de 900 MJ/m ² a

Depuis 2011, l'administration suit également la performance des bâtiments rénovés. Dans cette perspective, des mesures obligatoires sont prises si la moyenne des IDC sur 3 ans après rénovation dépasse les IDC limites prévus par la directive relative au calcul de l'IDC admissible [39].

Dans ce qui suit, les indices de dépense de chaleur des bâtiments résidentiels collectifs calculés selon l'ancienne directive seront présentés pour l'année 2010. Nous nous sommes ensuite permis de discuter les résultats obtenus par rapport aux seuils fixés par la nouvelle directive.

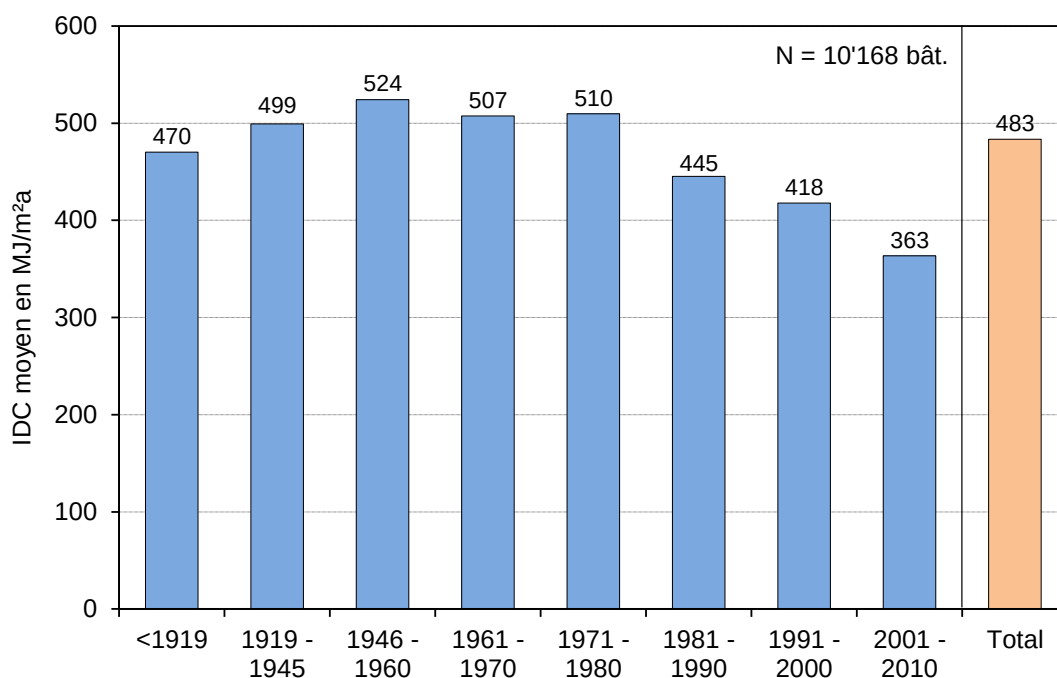
2.5.3.3 Présentation des résultats

a) Consommation unitaire moyenne

L'indice de dépense de chaleur moyen pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire des bâtiments destinés à l'habitat collectif à Genève s'élève à 483 MJ/m²_{SRE} en 2010 (cf. Figure 2.15). Cette valeur est le rapport entre la consommation d'énergie finale normalisée climatiquement et la surface de référence énergétique SRE des 10'168 bâtiments (entièrement d'habitation et habitation mixte) utilisant des systèmes de production de chaleur différents et des agents énergétiques variés.

La Figure 2.15 présente également la répartition des indices moyens selon l'époque de construction des bâtiments. Ces indices varient entre 363 MJ/m²a pour les nouvelles constructions (2001-2010) et 524 MJ/m²a pour les bâtiments construits entre 1946 et 1960. L'écart entre ces deux valeurs s'élève donc seulement à 161 MJ/m²a.

Figure 2.15. Répartition des indices moyens de dépense de chaleur IDC exprimés en MJ/m²a selon l'époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010 (N=10'168 observations sur un total de 12'602 bâtiments).



L'analyse des données nous permet aussi de dégager les points suivants :

- Les bâtiments construits entre 1946 et 1980 présentent les indices les plus élevés avec une moyenne située à 513 MJ/m² en 2010. Ces bâtiments construits avant l'introduction des premières réglementations thermiques recèlent le plus grand gisement d'économie d'énergie. La consommation moyenne de ces bâtiments s'élevait au début des années 2000 à un peu plus de 600 MJ/m²a (cf. travail de Master de Khoury à l'UNIGE [40]). On peut en déduire que l'IDC des bâtiments 1946-1980 a baissé d'environ 2%/an entre 2000 et 2010 (effet rénovation + effet raccordement des bâtiments aux réseaux de chauffage à distance).

- Bien que les bâtiments construits avant 1946 soient plus anciens, leur IDC moyen en 2010 était inférieur à celui des bâtiments d'après-guerre édifiés entre 1946 et 1980 (481 contre 513 MJ/m²a). Cette différence est essentiellement due à la typologie et au mode de construction de ces bâtiments (cf. 2.4.3.2), mais aussi au fait qu'une grande partie des bâtiments d'avant 1946 a déjà été rénovée.
- L'IDC moyen des bâtiments construits entre 1981 et 1990 a diminué drastiquement après le premier choc pétrolier et l'introduction des premières réglementations thermiques à Genève. En 2010, ces bâtiments consomment environ 70 MJ/m² de moins que ceux édifiés durant la période 1946-1980. On observe aussi que l'IDC moyen des bâtiments baisse rapidement : il passe de 510 MJ/m²a pour les bâtiments construits entre 1971 et 1980, à 464 puis à 430 MJ/m²a pour ceux édifiés respectivement entre 1981-1985 et 1986-1990.
- Au début des années 90, cette tendance à la baisse s'est vite effacée pour laisser place à une stagnation de l'évolution des indices moyens, malgré les diverses incitations aux économies d'énergie. En fait, l'IDC moyen des bâtiments construits entre 1991 et 1995 reste similaire à celui des bâtiments 1986-1990 (430 MJ/m²a), avant de reculer légèrement à 403 MJ/m² pour les bâtiments de la tranche 1996-2000.

Ce phénomène observé à Genève ne semble pas se limiter à l'échelle locale, mais a été confirmé bien au-delà de la frontière helvétique. L'étude réalisée par Nässén et Holmberg [37] montre que la consommation thermique par mètre carré de plancher chauffé des immeubles résidentiels suédois est aussi restée quasi-constante durant cette période (cf. figure 7 de l'étude citée).

- Enfin, les bâtiments récents construits entre 2001 et 2010 présentent un IDC moyen de 363 MJ/m²a. La baisse observée de 55 MJ/m²a par rapport à l'IDC moyen des bâtiments des années 1991-2000 est due essentiellement au renforcement des réglementations thermiques et au succès du standard Minergie dans le neuf. Toutefois, la performance énergétique de ces bâtiments demeure loin des objectifs visés par les normes en vigueur. Ce point sera discuté plus tard.

b) Répartition en percentiles des consommations unitaires

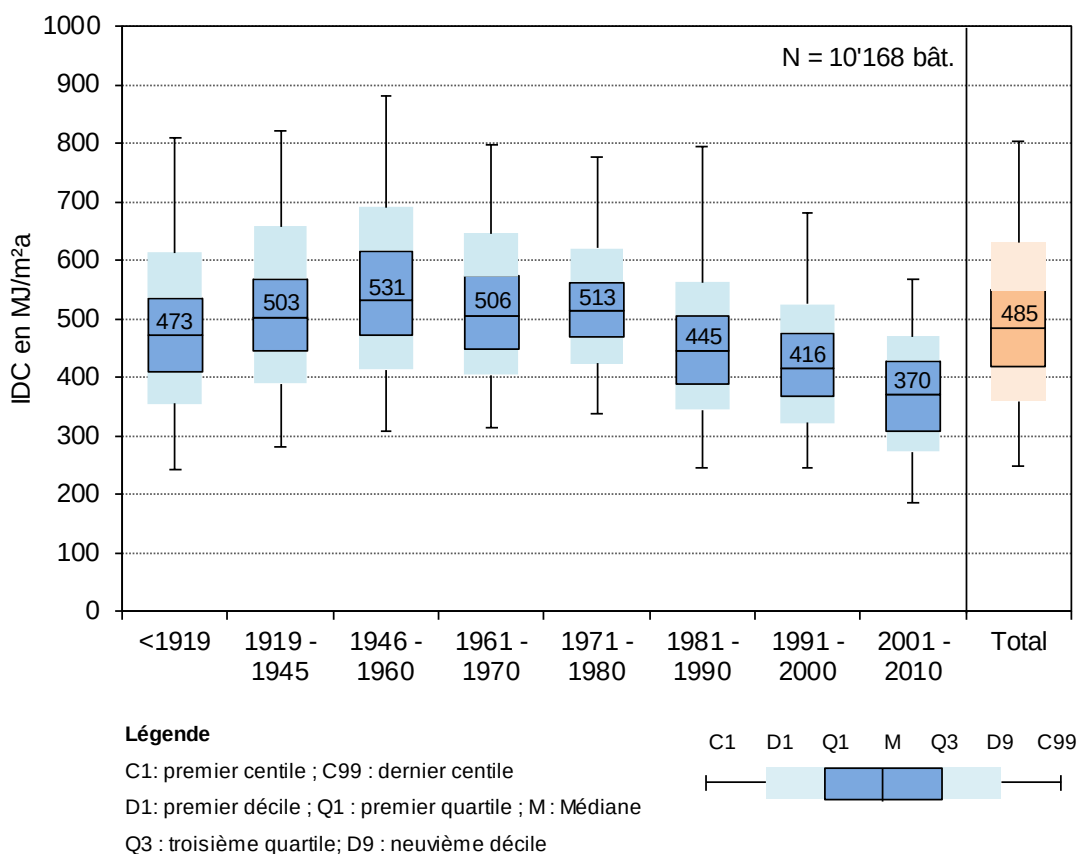
La Figure 2.16 montre la répartition en percentiles des indices de dépense de chaleur selon l'époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010. Ce type de graphique permet de donner pour chaque époque les informations suivantes.

En partant du bas vers le haut, le premier centile (C1) représente la valeur pour laquelle 1% des indices sont inférieurs. Nous l'avons retenu pour éviter d'utiliser les valeurs extrêmes¹⁸ qui n'ont pas été vérifiées et qui peuvent biaiser la visualisation des données. Le premier décile (D1) puis le premier quartile (Q1) représentent respectivement les valeurs pour

¹⁸ Parmi les valeurs extrêmes figurent des indices énergétiques douteux à vérifier. En comparant les données énergétiques 2010 avec celles des années précédentes, nous avons pu repérer des erreurs liées à l'évaluation ou à l'introduction de la surface énergétique dans la base de données énergie (par exemple, SRE de 20 m² pour un immeuble d'habitation) et d'autres liées à la répartition des consommations pour les barres d'habitation (c'est notamment le cas quand on oublie de diviser la consommation de la chaufferie par le nombre d'allées raccordées). Pour cela, nous avons décidé d'utiliser le premier et le dernier centile dans notre analyse.

lesquels 10% et 25% des indices sont inférieurs. La médiane des indices indiquée pour chaque tranche d'âge sur la figure correspond à la valeur centrale de la distribution. Les deux limites suivantes sont le troisième quartile (Q3) et le neuvième décile (D9). Ils représentent respectivement les valeurs pour lesquels 25% et 10% des indices sont supérieurs. Enfin, le dernier centile (C99) est la valeur pour laquelle 1% des indices sont supérieurs.

Figure 2.16. Répartition en percentiles des indices de dépense de chaleur IDC exprimés en MJ/m²a selon l'époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010. (La médiane est indiquée sur le graphique).



En 2010, l'indice médian du secteur résidentiel collectif genevois s'élève à 485 MJ/m²a. Les valeurs médianes varient entre 370 MJ/m²a (pour les nouvelles constructions 2001-2010) et 531 MJ/m²a (pour les bâtiments édifiés entre 1946 et 1960). Ces valeurs sont très proches des indices moyens représentés à la Figure 2.15.

La dispersion des indices, indiquée par la « longueur de la moustache » sur le graphique, est de manière générale importante. L'écart entre le premier et le dernier centile varie entre 380 et 574 MJ/m²a selon les tranches d'âge.

Le tableau de l'Annexe A11 récapitule par époque de construction les valeurs des indices de dépense de chaleur (IDC) illustrées à la Figure 2.16. Ce tableau donne également la valeur moyenne et l'écart-type des distributions, ainsi que les valeurs minimales et maximales.

c) Répartition des surfaces chauffées et du nombre de bâtiments par classes d'IDC

La Figure 2.17 montre la répartition de la surface de référence énergétique SRE en milliers de m² (histogramme, axe principal) et du nombre de bâtiments concernés (tracé, axe secondaire) selon les classes d'IDC en 2010. L'analyse porte sur 10'168 bâtiments résidentiels collectifs genevois couvrant une SRE de 17'225 milliers de m² (soit 89% de la SRE totale du secteur). Nous avons repris les segments de couleurs, du vert au rouge, des étiquettes énergétiques afin de faciliter la lecture et l'interprétation des résultats.

Les résultats montrent que près de 22% de la SRE totale (3'762 sur 17'225 milliers de m²) concernent des bâtiments dont l'IDC se situe entre 451 et 500 MJ/m²a (classe la plus fréquente). Au total, 20% des bâtiments se concentre dans cette classe (soit 2'030 bâtiments). Au centre de la figure, les 3 classes d'IDC allant de 401 à 550 MJ/m²a regroupent 58% de la SRE totale (environ 10 millions de m²) et concernent 5'655 bâtiments (soit 56% du total).

L'histogramme représenté à la Figure 2.18 donne la répartition de la surface de référence énergétique SRE en milliers de m² selon les classes d'IDC et selon l'époque de construction des bâtiments en 2010.

On constate que les surfaces chauffées construites entre 1946 et 1980 représentent près de trois-quarts des surfaces des bâtiments ayant un IDC supérieur à 600 MJ/m² en 2010 (bâtiments situés dans les trois dernières classes : 601-650, 650-700 et >700 MJ/m²a). Cependant, elles ne représentent que 31% et 21% des surfaces des bâtiments situés respectivement dans les classes 351-400 et 301-350 MJ/m²a.

Enfin, la Figure 2.19 représente la répartition par époque de construction des surfaces énergétiques (colonne de gauche) et des bâtiments (colonne de droite) selon les classes d'IDC en 2010. L'effet des réglementations thermiques à partir de 2001 est bien visible et se traduit par une baisse marquée de la consommation des nouvelles constructions. Toutefois, leur surface chauffée est faible comparée aux autres bâtiments.

On peut conclure que de par leur taille et leur consommation unitaire, l'enjeu énergétique se trouve dans les bâtiments résidentiels des années 1946-1980, en particulier dans ceux construits entre 1961 et 1980. Le défi consiste donc à réussir la rénovation énergétique de ces bâtiments qui arrivent aujourd'hui en période de rénovation.

Figure 2.17. Surface de référence énergétique SRE en milliers de m² (axe principal) et nombre de bâtiments concernés (axe secondaire) selon les classes d'IDC en 2010. Au total, 10'168 bâtiments résidentiels collectifs genevois couvrant une SRE de 17'225 milliers de m² (soit 89% de la SRE totale du secteur)

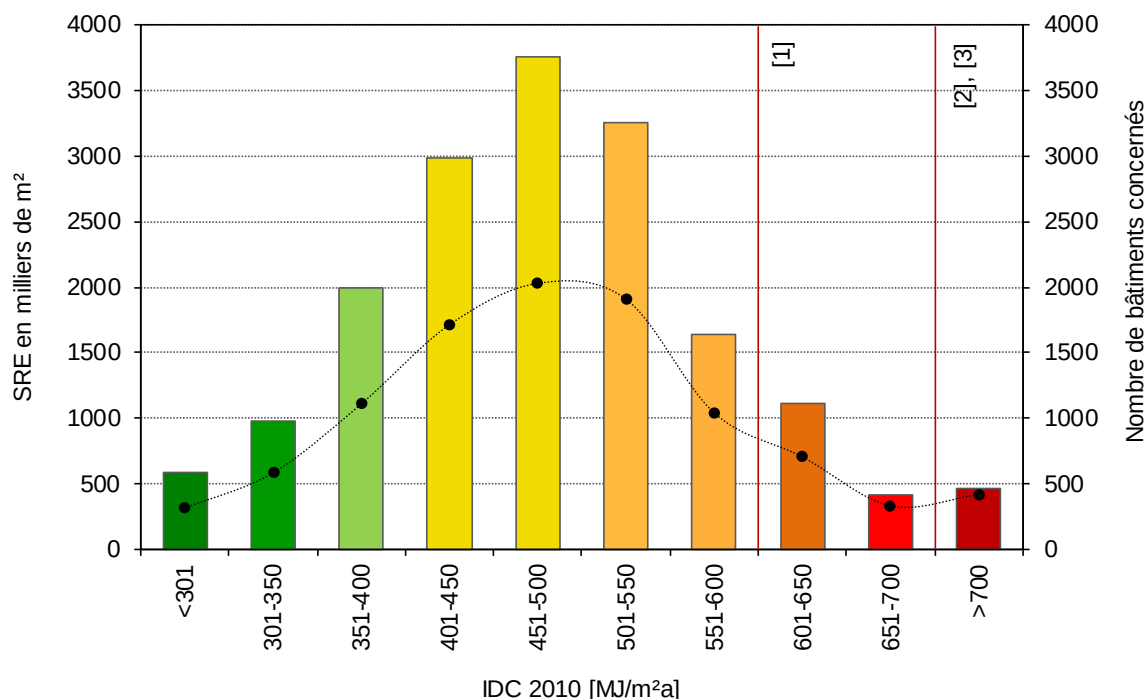
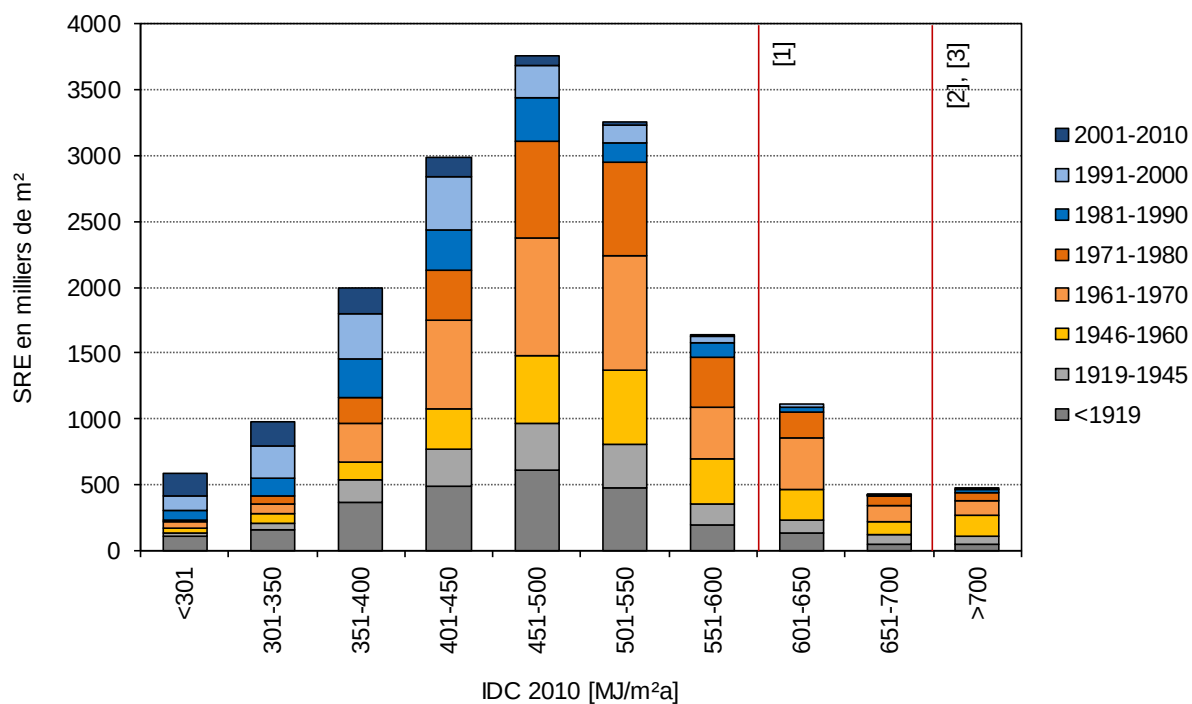


Figure 2.18. Surface de référence énergétique SRE en milliers de m² selon les classes d'IDC et l'époque de construction des bâtiments, en 2010. Au total, 10'168 bâtiments résidentiels collectifs genevois couvrant une SRE totale de 17'225 milliers de m² (soit 89% de la SRE totale du secteur)

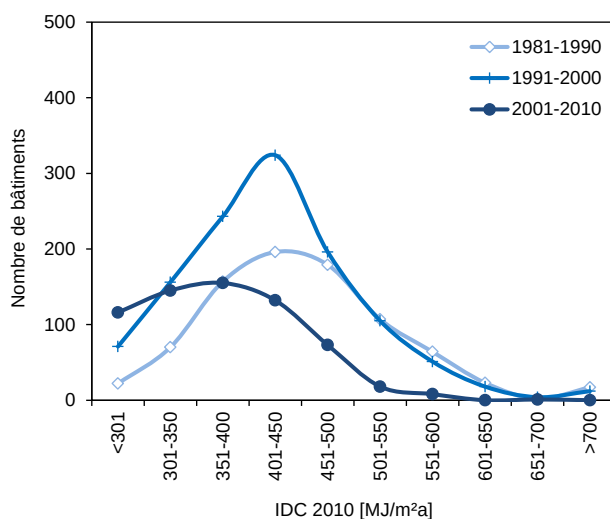
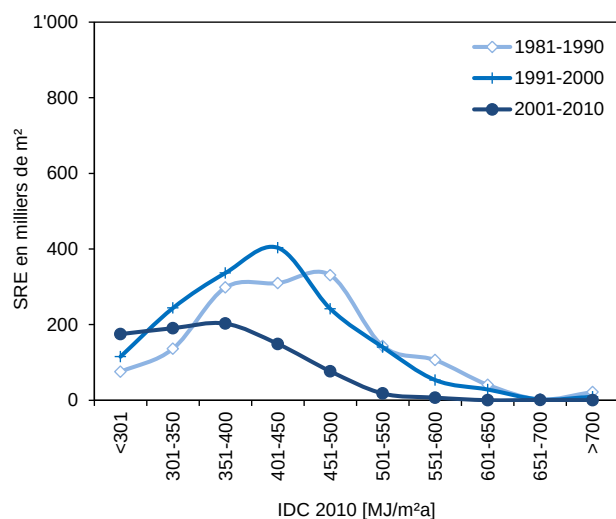
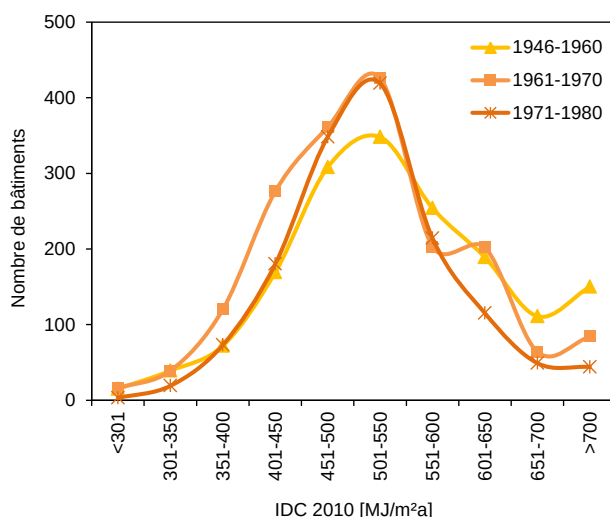
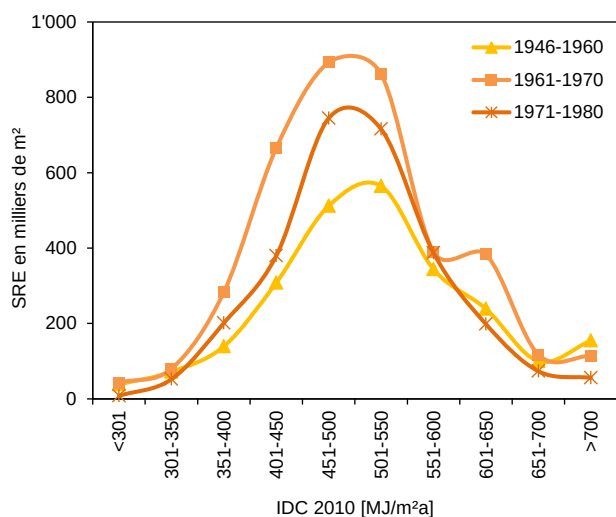
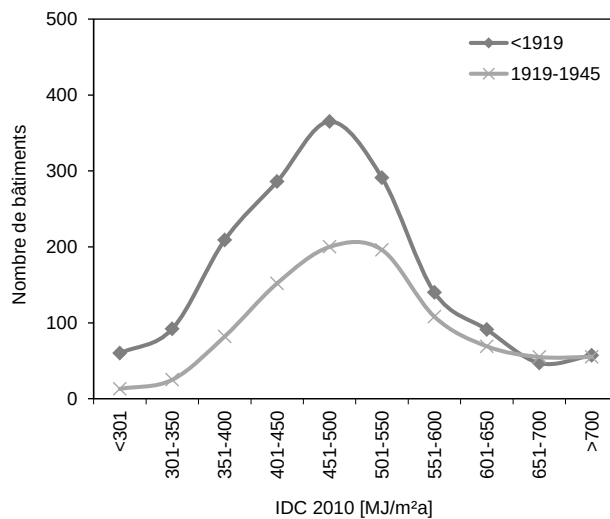
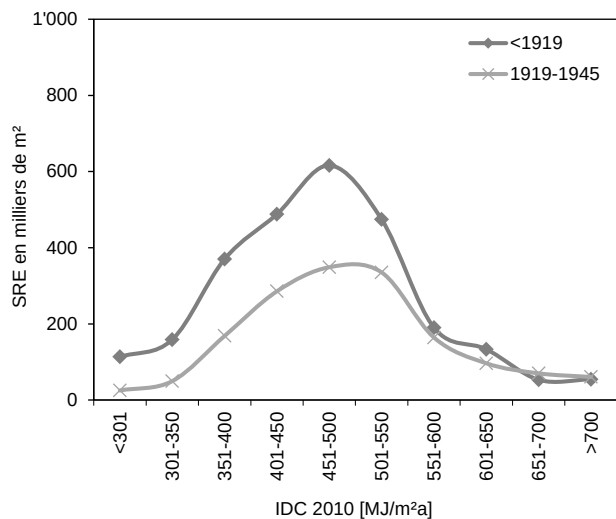


- [1] IDC > 600 MJ/m²a → Obligation DIFC
 [2] IDC > 800 MJ/m²a → Obligation audit énergétique
 [3] IDC > 900 MJ/m²a → Obligation travaux

Figure 2.19. Surface de référence énergétique SRE en milliers de m² (colonne de gauche) et nombre de bâtiments concernés (colonne de droite) selon les classes d'IDC et l'époque de construction en 2010. Au total, 10'168 bâtiments résidentiels collectifs couvrant une SRE de 17'225 milliers de m².

SRE = 17'225 milliers m²

N = 10'168 bâtiments



d) Surfaces énergétiques et bâtiments dépassant les seuils fixés par la loi

Le Tableau 2.11 donne la surface de référence énergétique SRE et le nombre de bâtiments dépassant les seuils fixés par la loi (cf. Tableau 2.10). Ces seuils sont également indiqués sur les Figures 2.18 et 2.19. On rappelle que les résultats présentés ici ne sont pas tout à fait corrects, puisqu'on compare les IDC de l'année 2010 calculés selon l'ancienne directive avec les seuils fixés par la nouvelle directive. De même, on ne considère pas la moyenne des IDC sur 3 ans comme stipulée dans la directive.

Tableau 2.11. Surface de référence énergétique SRE en milliers de m² et nombre de bâtiments dépassant les seuils fixés par la loi selon l'époque de construction des bâtiments, en 2010

IDC 2010	> 600 MJ/m ² a		> 700 MJ/m ² a		> 800 MJ/m ² a		> 900 MJ/m ² a	
Epoqconst.	Bât [-]	SRE [m ²]	Bât [-]	SRE [m ²]	Bât [-]	SRE [m ²]	Bât [-]	SRE [m ²]
avant 1919	195	241'033	57	54'469	20	15'689	10	5'066
1919 - 1945	179	227'156	55	60'566	19	18'245	8	3'974
1946 - 1960	450	492'562	150	154'421	37	32'077	12	9'119
1961 - 1970	350	614'059	84	113'929	17	18'540	6	5'289
1971 - 1980	208	326'867	44	55'582	9	12'878	6	9'638
1981 - 1990	42	64'598	17	21'715	2	10'435	1	1'029
1991 - 2000	34	39'627	12	9'290	2	764	0	0
2001 - 2010	1	480	0	0	0	0	0	0
Total	1'459	2'006'382	419	469'972	106	108'628	43	34'115
avant 1946	374	468'189	112	115'035	39	33'934	18	9'040
1946-1980	1'008	1'433'488	278	323'932	63	63'495	24	24'046
1981-2010	77	104'705	29	31'005	4	11'199	1	1'029

[1] IDC > 600 MJ/m²a → Obligation DIFC

[2] IDC > 800 MJ/m²a → Obligation audit énergétique

[3] IDC > 900 MJ/m²a → Obligation travaux

En acceptant ces différences, on recense 1'459 bâtiments, totalisant 2 millions de m²_{SRE}, qui consomment plus de 600 MJ/m² en 2010. Selon le règlement d'application de la loi sur l'énergie, ces bâtiments sont soumis à l'obligation d'installer sous 2 ans un décompte individuel des frais de chauffage (DIFC) ou de ramener l'IDC en dessous du seuil de 600 MJ/m²a. Dans la réalité, on note que l'installation d'un décompte individuel dans les immeubles existants n'est pas une opération simple en raison de la position des colonnes montantes d'eau chaude. Il est toutefois possible d'installer à l'occasion de travaux de rénovation des répartiteurs de frais de chauffage au niveau des radiateurs. Le relevé des valeurs peut se faire soit sur place par consultation des instruments de mesure, soit de manière centralisé par transmission par bus de données ou par radio.

La révision de la loi sur l'énergie a permis d'introduire des mesures obligatoires pour les bâtiments dépassant le seuil de 800 MJ/m²a. Pour le secteur résidentiel collectif, ces mesures concernent seulement une centaine de bâtiments (SRE estimée à 108'000 m²) qui sont soumis à l'obligation de réaliser un audit énergétique.

En cas de dépassement du seuil de 900 MJ/m²a, l'administration exige que les propriétaires entreprennent des travaux d'amélioration énergétique. Cette mesure touche uniquement 43 bâtiments couvrant une surface énergétique de 34'000 m². Il est intéressant de constater

qu'environ 70% de la surface énergétique correspondante a été construite entre 1946 et 1980. Enfin, une analyse plus fine de ces bâtiments serait nécessaire afin d'éliminer les éventuelles erreurs et d'identifier le type de bâtiments et de propriétaires concernés par ces obligations.

2.5.3.4 Discussion et limites de l'indicateur

Contrairement à la plupart des indices de consommation d'énergie qui sont calculés dans des conditions normales d'utilisation¹⁹, l'indice de dépense de chaleur (IDC) pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire est basé sur la consommation réelle. L'énergie comptabilisée tient donc compte du comportement de l'occupant et de la gestion des installations techniques.

Cet indicateur est devenu un des principaux outils de la politique énergétique des bâtiments à Genève. Il doit permettre à l'administration de suivre la performance énergétique des bâtiments et de piloter le parc immobilier genevois vers les objectifs de la « société à 2000 watts ». A notre connaissance, il n'existe pas un outil pareil dans d'autres cantons. Néanmoins, cet indicateur présente un certain nombre de limites qui méritent à notre sens une discussion et une réflexion plus large.

La discussion portera ici sur l'indice de dépense de chaleur en 2010. Les modifications apportées à partir de 2011 au mode de calcul de l'IDC (PCS au lieu de PCI, nouvelle météo de référence, etc.) ne seront pas reprises ici.

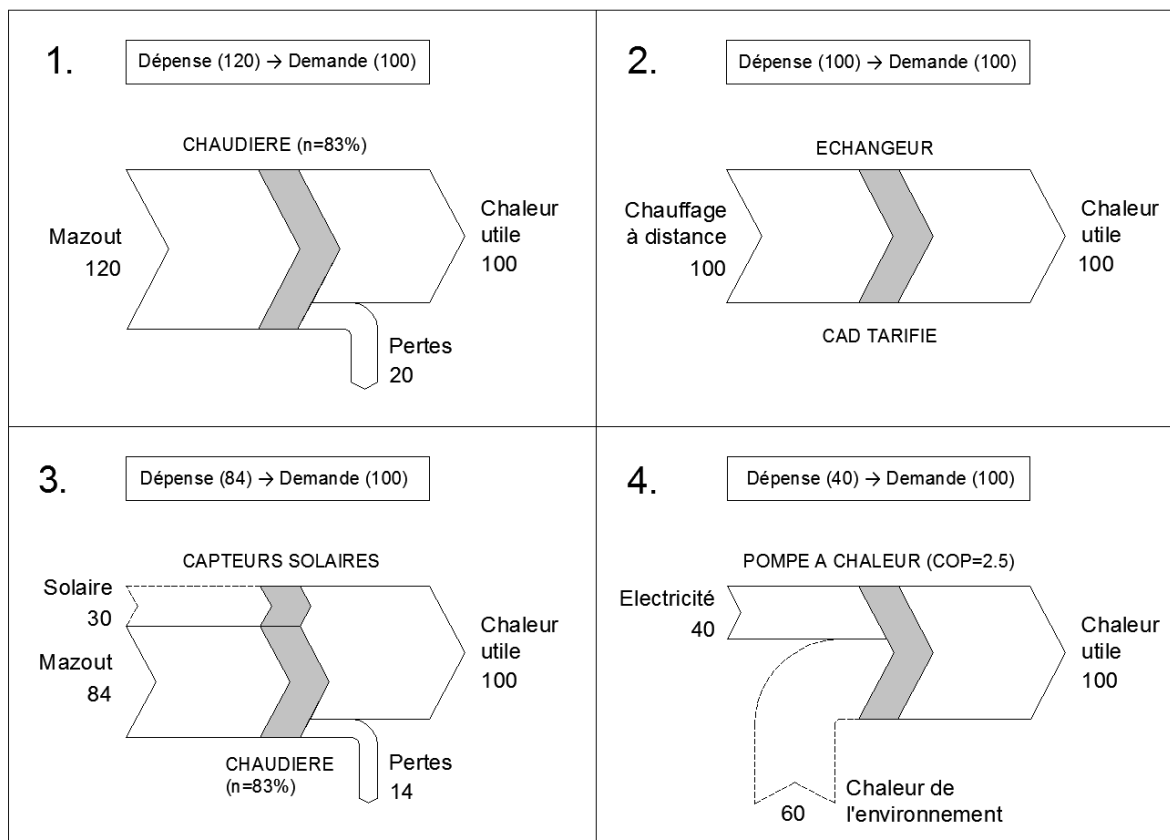
Concernant la qualité des données, nous pensons d'abord qu'il est important de contrôler et de vérifier de manière systématique, par le biais de filtres, les données énergétiques utilisées pour le calcul de l'IDC. A cet égard, les modèles développés au point 2.4.1 de ce chapitre peuvent être utilisés par exemple pour contrôler la surface de référence énergétique des bâtiments à partir de variables connues dans le Registre fédéral des bâtiments et des logements (surfaces, pièces, logement, etc.). Il est aussi possible d'exercer un contrôle ponctuel sur les données relatives aux bâtiments rénovés, en croisant les données existantes au sein de l'administration genevoise en lien avec les travaux de rénovation (ajout de capteurs solaires thermiques, augmentation de la SRE à cause d'une surélévation, etc.). Le contrôle des quantités d'énergie réellement consommées est plus délicat à réaliser, mais il est possible d'éviter les erreurs flagrantes en contrôlant les écarts entre les années. En assurant la fiabilité et la validité des données, le défi consiste dans les prochaines années à passer d'un outil de collecte des indices à un outil de pilotage du parc immobilier genevois.

En ce qui concerne l'indicateur, la première question qu'on se pose est de savoir s'il est justifiable d'avoir des indices de dépense de chaleur très différents pour une même demande de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (Q_{hww}) ?

Pour illustrer ce propos, la Figure 2.20 met en évidence l'influence des systèmes de production de chaleur et des agents énergétiques choisis sur la dépense de chaleur d'un bâtiment dont la demande est estimée à 100.

¹⁹ Les conditions normales d'utilisation, appelées aussi conditions d'utilisation standard, sont celles définies par les normes SIA.

Figure 2.20. Influence des systèmes de production de chaleur et des agents énergétiques choisis sur l'indice de dépense de chaleur



En comparant un bâtiment équipé d'une chaudière à gaz ou à mazout (cas 1) avec un autre de même qualité raccordé à un réseau CAD tarifié (cas 2, par ex. CAD SIG Lignon), on remarque que la méthode de comptabilisation utilisée²⁰ a tendance à baisser l'indice de dépense de chaleur dans le deuxième cas.

Cette baisse est due essentiellement au fait que les pertes thermiques de production et de distribution du réseau en amont de l'échangeur ne sont pas comptées dans le bilan. Ainsi, le simple fait d'abandonner les chaudières individuelles et de se raccorder à un CAD tarifié (même 100% fossile), sans entreprendre des travaux d'amélioration énergétique, induit une baisse de l'indice de dépense de chaleur. Au niveau cantonal, le raccordement à partir de 2002 d'une grande partie des bâtiments des communes d'Onex et de Lancy au réseau CADIOM et à partir de 2011 des bâtiments de la cité satellite de Meyrin au réseau CADIOM-CAD Lignon, qui utilisent majoritairement le gaz pour la production de chaleur en hiver, a contribué significativement à la baisse de l'IDC moyen du parc genevois sans modification de ses besoins de chaleur.

Dans les prochaines années, les bâtiments auront recours de plus en plus aux énergies renouvelables. Dans ce cadre, est-il justifié de différencier aléatoirement les différents énergies renouvelables dans le calcul de l'IDC ? Alors que le calcul de l'indice de dépense de chaleur tient compte, par le biais d'un COP théorique, de la chaleur de l'environnement (géothermie, air, etc.) utilisée comme source froide pour les pompes à chaleur (cas 4), il ne considère pas l'énergie produite par les capteurs solaires thermiques (cas 3).

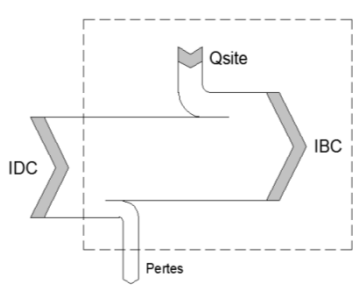
²⁰ La méthode appliquée diffère de ce qui est indiquée dans l'ancienne directive de l'IDC (se référer à 2.5.1.7).

Pour garder une cohérence dans le raisonnement, nous n'avons considéré dans le quatrième cas que la dépense effective d'électricité (40) au lieu de la dépense totale (40+60) comme prévu dans la directive. Lors d'une rénovation de la chaufferie (passage du cas 1 à 4), est-il judicieux d'utiliser la différence entre l'indice mazout (cas 1) et l'indice total selon la directive (40+60, cas 4) pour déterminer la baisse prévisible des charges ?

Les systèmes les plus performants énergétiquement offrent une meilleure efficacité mais consomment de plus en plus d'électricité. Dans les prochaines années, il faudra se poser la question de savoir s'il faut des indices séparés pour la chaleur et l'électricité (notamment dans le cas 4). Sur la Figure 2.20, on constate que la dépense peut varier entre 40 et 120 pour une même demande égale à 100. Dans ce cas, faut-il préférer l'indice de besoin de chaleur à l'indice de dépense de chaleur ?

A ce propos, nous pensons qu'il est dorénavant judicieux d'avoir les deux informations. Tout d'abord, l'indice de dépense de chaleur « IDC » devrait comptabiliser l'énergie nette fournie au bilan E_{hww} (se référer à la Figure 2.12). Actuellement, l'IDC compte en plus, de manière arbitraire, la chaleur de l'environnement utilisée comme source froide pour les PAC. Ensuite, il est important d'avoir un deuxième indice pour les besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire « IBC » qui n'est autre que la demande thermique Q_{hww} , avec indication de la part produite et valorisée sur le site « Q_{site} » (cf. Tableau 2.12).

Tableau 2.12. Propositions d'amélioration de l'indice de dépense de chaleur

	Indicateurs	Remarques
Situation actuelle	Indice de Dépense de Chaleur (IDC)	Énergie nette fournie + énergie produite sur site (uniquement chaleur de l'environnement utilisée comme source froide à la PAC)
Propositions 	Indice de Dépense de Chaleur révisé (IDC)	Énergie nette fournie au périmètre
	Indice de Besoin de Chaleur (IBC)	Besoin de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
	Chaleur produite ou valorisée sur le site (Q_{site})	Chaleur produite par les capteurs solaires, chaleur de l'environnement utilisée comme source froide à la PAC, valorisation de rejets thermiques, etc.

Par ailleurs dans la plupart des bâtiments édifiés entre 1946 et 1980, une chaufferie commune assure la production de chaleur pour un ensemble d'immeubles. Lorsque ce dernier n'appartient pas à un seul propriétaire, on remarque que les allées présentent des caractéristiques constructives différentes qui résultent de rénovations ponctuelles réalisées à des moments différents et répondant éventuellement à des exigences différentes. Dans ce cas, l'IDC ne reflète plus la consommation réelle de l'allée, mais représente la consommation moyenne de l'ensemble des allées qui sont alimentées par la chaufferie.

Comment refléter au plus juste la consommation effective des allées ? Quelles clés de répartition faut-il appliquer : les clés de répartition des régies (par pièces, etc.), estimation de la demande de chauffage de chaque allée selon la norme SIA 380/1 (sans tenir compte du comportement des occupants) ou basées sur des relevés de compteurs dans des conditions

réelles d'utilisation ? Comment les faire appliquer et à quelles fréquences : après la fin des travaux annoncés, après la mise en service des installations, périodiquement ?

Il ne s'agit pas par le biais de ces questions, et il y en a sûrement bien d'autres, de compliquer le calcul de l'indice énergétique en ajoutant des paramètres supplémentaires. L'indice ne doit pas perdre son intérêt d'être simple, mais doit s'adapter aux enjeux de demain.

2.5.3.5 Comparaison des indices énergétiques entre les cantons

Plusieurs cantons ont déjà effectué des relevés ponctuels d'indices énergétiques sur leur parc de bâtiments. Néanmoins, il ressort des études passées en revue que la comparaison des indices de consommation énergétique entre les cantons est rendue difficile compte tenu de la variabilité des méthodes, des échantillons et des prescriptions énergétiques spécifiques à chaque canton.

Une analyse comparative des indices énergétiques d'immeubles locatifs existants situés dans les cantons de Genève, Bâle et Zurich a été réalisée par Reto Dettli et al. [41] en 2007. Les résultats montrent que les indices énergétiques moyens des bâtiments de Genève et de Zurich sont relativement proches, tandis que ceux de Bâle sont plus faibles. On constate aussi que les indices les plus élevés correspondent aux bâtiments édifiés entre 1946 et 1980.

Toutefois, selon les auteurs, l'utilisation des relevés d'indices énergétiques ne permet pas à l'heure actuelle de procéder à des comparaisons cantonales fiables ou d'estimation de moyennes nationales, compte tenu des différences constatées dans les méthodes utilisées (correction climatique, pouvoir calorifique, période du relevé, etc.), les échantillons sélectionnés (agents énergétiques et bâtiments choisis) et la qualité des données brutes utilisées (surface et consommation). Ils recommandent de mettre en place une méthode commune pour les cantons qui soit compatible avec le registre fédéral des bâtiments et des logements RegBL.

En ce qui concerne le neuf, l'étude menée en 2003 par Reto Dettli et al. [42] compare les indices énergétiques de nouvelles constructions dans 14 cantons (Genève non compris) en 2000. Les résultats ont montré des différences considérables entre les cantons, en particulier entre les régions linguistiques. Les cantons de Thurgovie, d'Appenzell Rhodes-Extérieures, de Saint-Gall, d'Argovie et de Schaffhouse arrivent en tête de classement (bâtiments les plus performants), suivis par les cantons de Zurich, Berne, Bâle et Soleure, ensuite arrivent les cantons romands (Valais, Fribourg, Neuchâtel et Vaud) et enfin le canton du Tessin.

Les écarts constatés entre les indices énergétiques ont été ensuite analysés dans l'étude. Hormis les écarts liés aux méthodes de calcul, l'étude révèle que les prescriptions légales en matière d'isolation thermique n'étaient pas les mêmes dans les cantons. Les cantons ayant introduit des prescriptions plus sévères ont effectivement des indices plus bas. Des disparités interrégionales ont été également constatées dans les pratiques d'exécution de l'isolation thermique et des installations techniques, dans le comportement des utilisateurs et dans les mesures d'accompagnement offertes par les services cantonaux de l'énergie (formation continue et de perfectionnement, conseils, etc.).

2.5.4 Consommation thermique globale estimée du secteur en 2010

L'objectif de cette section consiste à extrapoler la consommation thermique connue des 10'168 bâtiments à la globalité du parc résidentiel collectif genevois. Nous présentons dans ce qui suit, la méthode utilisée, la consommation globale estimée puis le bilan des flux d'énergie thermique du secteur pour l'année 2010.

2.5.4.1 Méthode d'extrapolation

La consommation finale du secteur résidentiel collectif regroupe l'énergie nette fournie aux bâtiments (E_{hww}) et l'énergie produite sur site qui se limite ici à la chaleur solaire (Q_{sol}). La chaleur produite des capteurs solaires est estimée selon notre base de données à 5.6 GWh pour l'ensemble du secteur en 2010. On recense 384 bâtiments résidentiels à trois logements et plus équipés d'une installation solaire²¹. La deuxième étape consiste à extrapoler la consommation thermique connue (E_{hww}) à la globalité du secteur. Ainsi, pour chaque époque de construction, on a multiplié la surface énergétique des bâtiments dont la consommation n'est pas connue, par la consommation moyenne connue des bâtiments (Équation 2.2).

$$E_{hww}(\text{par époque de construction}) = E_{hww}(\text{part connue}) + \left(SRE_{\text{(part inconnue estimée au 2.4.1)}} * \frac{E_{hww}(\text{part connue})}{SRE_{\text{(part connue)}}} \right)$$

(Équation 2.2)

Deux méthodes sont possibles pour déterminer la consommation moyenne. On peut soit utiliser l'indice de dépense de chaleur moyen (cf. 2.5.3), soit la consommation thermique connue (cf. 2.5.2) rapportée au m^2_{SRE} . Nous avons préféré choisir la deuxième bien que ces deux méthodes devraient en principe aboutir au même résultat. Cette démarche nous a permis d'estimer la consommation non connue des 2'434 bâtiments et de déduire ainsi la consommation globale des 12'602 bâtiments du secteur résidentiel collectif en 2010.

Pour répartir la consommation du secteur selon les agents énergétiques, nous avons utilisé la structure de la consommation connue du secteur, présentée au point 2.5.2.2, à l'exception de la chaleur CADIOM. Pour ce dernier, nous avons admis que les bâtiments dont on ne dispose pas d'informations sur les agents énergétiques ne sont pas connectés à CADIOM.

2.5.4.2 Consommation finale du secteur résidentiel collectif

En 2010, l'énergie nette fournie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire des 12'602 bâtiments du secteur résidentiel collectif est estimée à 2'569 GWh PCI (cf. Tableau 2.13). Ce secteur contribue ainsi à près de la moitié (43%) de la consommation d'énergie thermique du canton (environ 6'000 GWh selon l'OCSTAT [15]). La consommation unitaire moyenne du secteur est de 479 MJ/ m^2_{SRE} par an. Elle est légèrement inférieure à l'IDC moyen des 10'168 bâtiments (483 MJ/ m^2_a) pour l'année 2010 (cf. Figure 2.15).

La consommation de la part extrapolée (2'434 bâtiments) est estimée à 249 GWh PCI et représente 9.7% de la consommation nette totale. Environ 38% des surfaces énergétiques de ces bâtiments (0.8 sur 2.1 millions de m^2) concernent des constructions récentes édifiées

²¹ Seules les installations ayant fait l'objet d'une demande de subvention auprès de l'OCEN et les installations de la Ville de Genève ont été considérées.

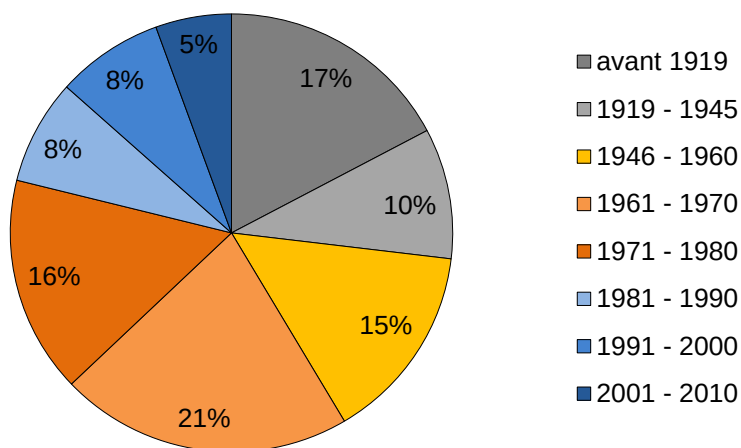
après 1990 (cf. Tableau 2.13). La répartition de la consommation totale du secteur (2'569 GWh) selon l'époque de construction des bâtiments est présentée dans le Tableau 2.13 et illustrée à la Figure 2.21.

Tableau 2.13. Consommation nette totale (E_{hww}) du secteur résidentiel collectif (12'602 bâtiments), de la part connue (10'168 bâtiments) et de la part extrapolée (2'434 bâtiments) selon l'époque de construction des bâtiments à Genève, en 2010

2010 Epoqconst.	Part connue (10'168 bât)		Part extrapolée (2'434 bât)		Secteur total (12'602 bât)	
	SRE [mio m ²]	Energie nette [GWh PCI]	SRE [mio m ²]	Energie nette [GWh PCI]	SRE [mio m ²]	Energie nette [GWh PCI]
avant 1919	2.7	347	0.7	96	3.4	443
1919 - 1945	1.6	223	0.2	25	1.8	248
1946 - 1960	2.5	360	0.1	14	2.6	374
1961 - 1970	3.8	541	0.1	9	3.9	550
1971 - 1980	2.8	399	0.1	12	2.9	411
1981 - 1990	1.5	181	0.1	18	1.6	199
1991 - 2000	1.6	183	0.2	18	1.7	201
2001 - 2010	0.8	85	0.6	57	1.4	143
Total	17.2	2'319	2.1	249	19.3	2'569
< 1946	4.3	570	0.9	121	5.2	691
1946-1980	9.1	1'300	0.3	35	9.4	1'335
1981-2010	3.9	449	0.9	93	4.8	543

NB : Se référer au point 2.5.2 de ce chapitre, pour avoir plus d'informations concernant la part connue du secteur.

Figure 2.21. Répartition de la consommation nette totale (E_{hww}) du secteur résidentiel collectif (N=12'602 bâtiments, 2'569 GWh) selon l'âge des bâtiments à Genève, en 2010



Energie nette fournie $E_{hww} = 2'569$ GWh PCI
(43% du marché thermique genevois en 2010)

On remarque que les bâtiments construits entre 1946 et 1980 sont responsables d'un peu plus de la moitié de la consommation nette du secteur (52% ; 1'335 GWh), loin devant les bâtiments d'avant 1946 (27% ; 691 GWh) et les bâtiments édifiés entre 1981 et 2010 (21% ; 543 GWh). Le plus grand potentiel d'économie d'énergie réside donc dans les bâtiments d'après-guerre (1946-1980) qui absorbent à eux seuls près du quart (22%) de la consommation thermique du canton.

Si l'on ajoute à l'énergie nette fournie au secteur (2'569 GWh), les 6 GWh d'énergie produite sur site par les capteurs solaires thermiques, la consommation finale du secteur résidentiel collectif atteint 2'575 GWh en 2010 (valeur arrondie). La répartition de la consommation finale selon l'agent énergétique utilisé et l'époque de construction des bâtiments est donnée dans le Tableau 2.14.

Tableau 2.14. Répartition de la consommation finale du secteur résidentiel collectif (12'602 bâtiments totalisant une SRE estimée à 19.3 millions de m²) selon l'agent énergétique utilisé et l'époque de construction des bâtiments à Genève, en 2010

A. Agents énergétiques fossiles utilisés pour la production de chaleur en 2010

AgentEnerg 2010	Mazout EL & UL*	CAD réparti (de mazout)	Gaz	CAD tarifié (de gaz)	Ehww [1] fossile	Vente de chaleur
Epoqconst.	[GW hpci]	[GW hpci]	[GW hpci]	[GW hpci]	[GW hpci]	[GW hpci]
avant 1919	267	3	162	9	440	0.6
1919 - 1945	172	0	75	1	247	0.0
1946 - 1960	290	3	76	4	373	0.0
1961 - 1970	359	15	72	53	500	0.0
1971 - 1980	301	17	33	30	381	0.0
1981 - 1990	73	1	122	1	197	0.0
1991 - 2000	28	3	160	10	200	0.0
2001 - 2010	6	0	132	0	138	0.0
Total	1'495	42	832	108	2'478	0.6
< 1946	439	3	236	10	688	0.6
1946-1980	950	36	181	87	1'255	0.0
1981-2010	106	4	414	11	535	0.0

* Huile extra-légère EL et ultra-légère UL

B. Agents énergétiques renouvelables ou mixtes utilisés pour la production de chaleur en 2010

AgentEnerg 2010	CADIOM	Bois	Electricité	Ehww [2] renouv.	Ehww [1+2] totale fournie	Chaleur solaire produite (Q _{sol})
Epoqconst.	[GW hpci]	[GW hpci]	[GW hpci]	[GW hpci]	[GW hpci]	[GW hpci]
avant 1919	2.8	0.2	0.1	3.1	443	0.3
1919 - 1945	0.0	0.1	0.0	0.2	248	0.1
1946 - 1960	1.0	0.2	0.0	1.2	374	0.7
1961 - 1970	49.3	0.1	0.0	49.4	550	1.0
1971 - 1980	29.6	0.0	0.0	29.6	411	0.5
1981 - 1990	2.0	0.0	0.0	2.0	199	0.2
1991 - 2000	0.8	0.4	0.0	1.2	201	0.5
2001 - 2010	3.5	0.9	0.0	4.3	143	2.4
Total	89.1	1.9	0.1	91.1	2'569	5.6
< 1946	2.8	0.4	0.1	3.3	691	0.3
1946-1980	79.9	0.3	0.0	80.2	1'335	2.2
1981-2010	6.3	1.2	0.0	7.6	543	3.1

Consommation finale du secteur résidentiel collectif à Genève	=	Consommation nette totale (E _{hww})	+	Energie produite sur site, qui se limite ici à la chaleur solaire (Q _{sol})
2'575 GWh (valeur arrondie)	=	2'569 GWh	+	6 GWh

Comme on l'a vu précédemment, les agents énergétiques fossiles (mazout et gaz) fournissent presque la totalité (96%) de la consommation d'énergie finale du secteur. On remarque aussi que le mazout reste le principal agent énergétique utilisé pour la production de chaleur dans le secteur résidentiel collectif, bien qu'au niveau cantonal les ventes de gaz ont dépassé pour la première fois en 2010 les ventes de mazout (cf. Annexe A12). **On peut donc conclure que la substitution du mazout par le gaz dans le secteur résidentiel collectif est en retard par rapport à la situation cantonale.** Le point 2.5.4.4 de cette section décrit brièvement les enjeux liés à la consommation de gaz domestique à Genève.

2.5.4.3 Bilan annuel des flux d'énergie thermique

La Figure 2.22 suivante présente le bilan d'énergie thermique de l'ensemble des 12'602 bâtiments du secteur résidentiel collectif genevois en 2010. On note que le diagramme précédent, présenté à la Figure 2.13, porte sur 10'168 bâtiments totalisant 89% de la SRE totale du secteur. Les hypothèses retenues pour établir ce diagramme figurent au point 2.5.1. La méthode d'extrapolation appliquée est décrite au point 2.5.4.1. Toutes les données sont indiquées en pouvoir calorifique inférieur (PCI). Hormis la chaleur solaire issue de notre base de données, les valeurs entre crochets indiquées sur le graphique proviennent du fichier énergie de l'OCEN.

Sur la droite du graphique, on trouve la demande thermique nécessaire pour le chauffage et l'ECS des bâtiments qui représente la chaleur nette fournie et produite sur site (Q_{hww}) après conversion, mais en amont de la distribution et du stockage dans le bâtiment. **La demande thermique des 12'602 bâtiments du secteur est estimée à 2'226 GWh en 2010.** Cette demande est couverte à 57.2% par le mazout et à 38.4% par le gaz, soit un total de 95.6% mettant en évidence la vulnérabilité du secteur vis-à-vis des agents fossiles importés.

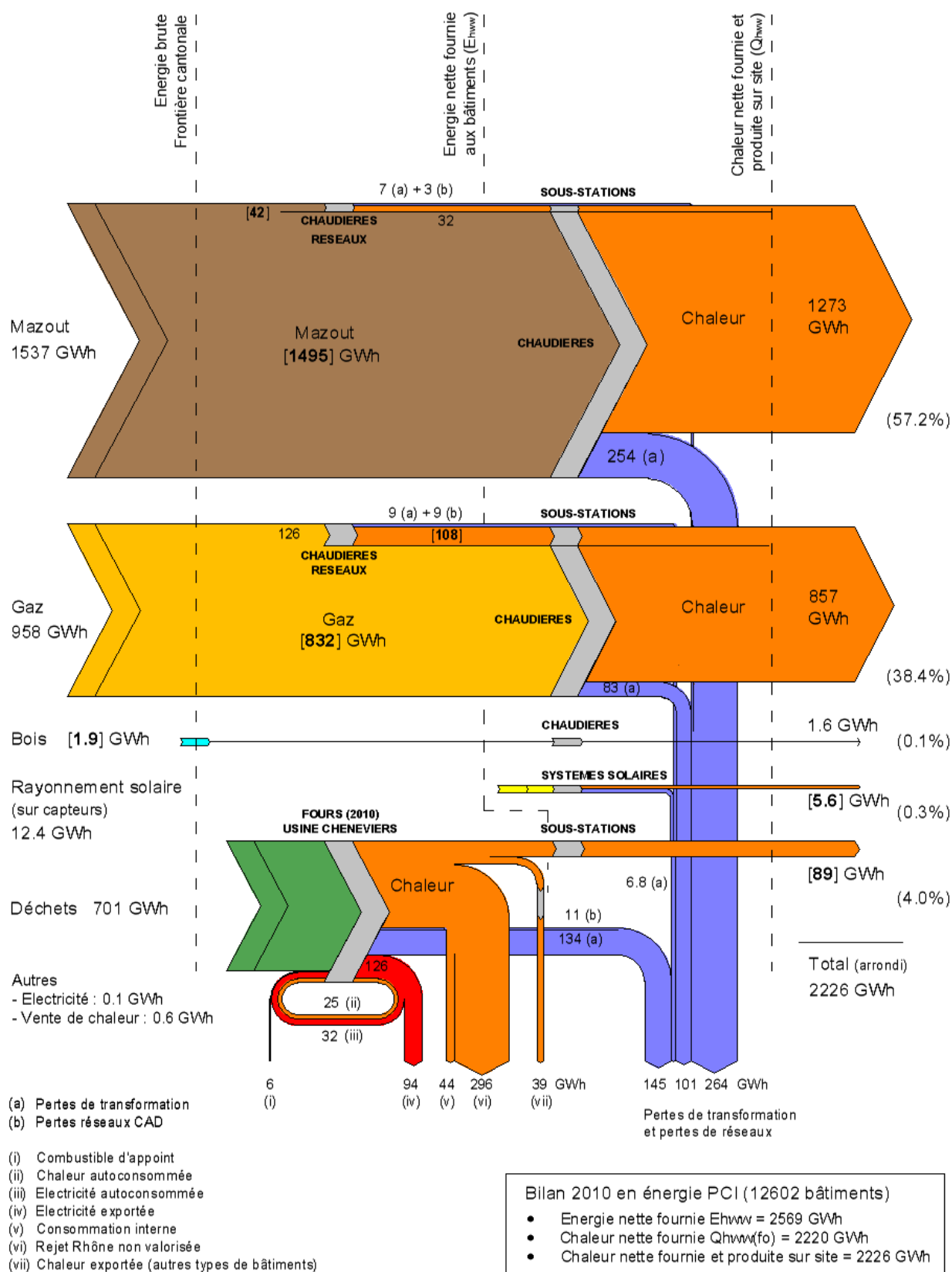
Le reste (4.4%) est fourni par la chaleur CADIOM (4%) issue de l'incinération des ordures ménagères, par la combustion du bois (0.1%) et par la chaleur produite des capteurs solaires (0.3%). La chaleur CADIOM consommée en 2010 par les bâtiments résidentiels collectifs est estimée à 89 GWh, alors qu'environ 39 GWh sont fournies à d'autres types de bâtiments. La chaleur solaire produite Q_{sol} est estimée à 5.6 GWh. Un rendement de conversion²² de 45% a été admis pour estimer le rayonnement solaire sur capteurs (12.4 GWh). On recense au total dans la base de données solaire 384 bâtiments résidentiels collectifs équipés d'une installation solaire²³. Enfin, la chaleur nette fournie aux bâtiments $Q_{hww(fo)}$ s'élève à 2'220 GWh (après déduction de la chaleur produite sur site Q_{sol}).

Au centre du graphique, l'énergie nette fournie au secteur E_{hww} s'élève à 2'569 GWh en 2010 (cf. point 2.5.4.2). Sur le côté gauche du graphique (côté des ressources), les agents provenant de l'extérieur du pays sont principalement le mazout (1'537 GWh) et le gaz (958 GWh) qui fournissent presque la totalité de l'approvisionnement. Une partie du bois consommée à Genève est aussi importée. Enfin en guise de simplification, nous n'avons pas illustré sur le graphique les flux d'énergie électrique (considéré négligeable) et de chaleur vendue à des tiers (chaleur déjà comptabilisée dans le bilan).

²² Le rendement de conversion se définit comme le rapport entre la production solaire et l'ensoleillement dans le plan capteur. Le rendement annuel retenu est celui mesuré durant la saison 2009-2010 dans le cadre du retour d'expérience du bâtiment Gros-Chêne (se référer à 4.3.6.2).

²³ Seules les installations ayant fait l'objet d'une demande de subvention auprès de l'OCEN et les installations de la Ville de Genève ont été considérées.

Figure 2.22. Bilan des flux d'énergie thermique en GWh PCI du secteur résidentiel collectif à Genève en 2010. Au total, 12'602 bâtiments résidentiels collectifs totalisant une surface de référence énergétique de 19.3 millions de m² en 2010 (voir texte)



NB: Hormis l'énergie solaire, les valeurs entre crochets sont issues de la base de données énergie de l'OCEN. Au niveau graphique, les pertes de réseaux et de transformation de part et d'autre du périmètre du bilan ont été regroupées.

2.5.4.4 Gaz domestique : un enjeu énergétique faible mais une décroissance à gérer

Les enjeux liés à la consommation de gaz domestique dans les bâtiments résidentiels collectifs sont discutés brièvement ci-après. Les résultats présentés ici sont issus d'une étude [43] menée en 2011 par Jad Khoury et Bernard Lachal (UNIGE) au sujet de l'art. 79 RCI²⁴ qui oblige de mettre à disposition le gaz dans les cuisines des immeubles collectifs genevois.

a) Nombre d'abonnés

A Genève, le nombre d'abonnés²⁵ au gaz ménager n'a cessé de diminuer dès le début des années 70. On en dénombrait 67'618 en 1975, ils ne sont plus que 27'230 en 2010, soit 15% de l'ensemble des ménages à Genève. Cette diminution est linéaire, de l'ordre de 1'150 clients de moins par an (se référer à la figure 5 de l'étude [43]). Si cette évolution reste constante, le nombre d'abonnés devrait s'annuler vers 2035.

Sur les 27'230 abonnés en 2010, on recense 25'714 (94%) qui ont effectivement consommé. En couplant le fichier FCBL avec le fichier gaz domestique des SIG, on a pu distinguer les abonnés des bâtiments résidentiels collectifs de ceux des maisons individuelles et des maisons à deux logements. Au total, le nombre de compteurs gaz de cuisine installés dans les bâtiments destinés à l'habitat collectif atteint 24'451 en 2010. Le nombre d'abonnés ayant utilisé le gaz pour la cuisson a été estimé à 23'000.

b) Consommation de gaz domestique

La consommation de gaz domestique dans les ménages (maisons individuelles et maisons à plusieurs logements) s'est élevée à 11'872 MWh en 2010. La part consommée par les bâtiments résidentiels collectifs est majoritaire (estimée à environ 11 GWh). L'enjeu énergétique du gaz de cuisine est donc très faible, si on le compare au 958 GWh consommée durant la même année par le secteur résidentiel collectif pour le chauffage des locaux et la préparation de l'ECS. Elle ne représente aussi que 0.5% de la consommation globale de gaz, tous secteurs confondus, à Genève.

Entre 1981 et 2006, la consommation de gaz pour les ménages et l'artisanat²⁶ a diminué d'environ 2% par an et cette tendance semble poursuivre pour le gaz domestique durant la période 2008-2010 (se référer à la figure 6 de l'étude [43]). Entre 2008 et 2010, la consommation moyenne de gaz domestique par ménage genevois est comprise entre 462 et 488 kWh/a. La moyenne sur les trois années est de 478 kWh/a par ménage et tient compte seulement des compteurs qui ont effectivement consommé.

c) Puissances appelées

Dans le cadre de la même étude [43], des mesures de consommation de gaz domestique ont été effectuées à notre demande par les SIG, sur sept ménages à la rue de Zurich 5, entre le 17 mars et le 5 avril 2011. Les résultats montrent que la courbe de charge journalière moyenne

²⁴ Article 79 du règlement d'application de la loi sur les constructions et les installations diverses (RCI).

²⁵ Le nombre d'abonnés est égal au nombre de compteurs de gaz domestique installés. A noter que tous les abonnés payent le tarif de puissance, mais ne consomment pas nécessairement.

²⁶ Le changement en juin 2007 dans la méthode de comptabilisation du gaz domestique ne permet pas de comparer directement les consommations avant et après 2007.

de l'ensemble des équipements présente trois pics de demande vers 7h30, à midi et à 19h30. La puissance appelée par les cuisinières à midi est inférieure à celle du soir (100W/ménage contre 250W/ménage). La pointe du matin s'élève à 50W/ménage. Bien entendu, seules des mesures plus systématiques permettront de bien cerner les enjeux de puissance.

Sur la base de ces premières mesures, et vu que la moyenne des relevés de consommation de gaz domestique était très proche de celle des 27'000 abonnés, nous avons estimé que la substitution électrique de l'ensemble des cuisinières à gaz augmentera la puissance appelée pendant les heures de pointe à Genève d'environ 2 MW à midi (75W x 27'230 compteurs) et de 5 MW (185W x 27'230 compteurs) vers 19h, soit une augmentation respective de 0.5% et de 1% des pointes électriques. Cependant, c'est aux heures pleines de pointe (HPP) vers midi que le prix de l'électricité acheté par SIG est le plus élevé. Enfin, l'étude montre que les conséquences de la substitution sur la facture énergétique pour la cuisson est presque neutre, voire en légère baisse. Dans les prochaines années, cette facture dépendra de l'évolution des tarifs respectifs.

d) Une décroissance du gaz domestique à gérer dans les zones desservies par le chauffage à distance

Le développement des réseaux de chauffage à distance, résultant de la planification énergétique territoriale, a un impact direct sur les réseaux de gaz. En effet, le chauffage à distance (CAD) alimenté centralement par du gaz (ex. CAD Lignon) ou à partir de l'incinération des ordures ménagères (ex. CADIOM) substitue dans les zones de desserte les chaudières alimentées par le réseau gaz. Ainsi, le réseau ne fournit dorénavant le gaz que pour les abonnés de gaz domestique. Cette substitution CAD/gaz est problématique surtout lorsque les deux réseaux sont gérés par deux services ou entités différentes.

Dans les prochaines années, le défi consiste à devoir gérer la décroissance de la demande de gaz domestique et du nombre de clients dans ces zones et à maintenir le réseau en bonne condition en respectant les aspects de sécurité, à des coûts raisonnables pour les propriétaires et pour les Services Industriels de Genève. Les principaux enjeux liés à cette problématique sont discutés à l'Annexe A13.

2.5.5 Emissions de CO₂ liées à la consommation thermique globale du secteur

Cette section est consacrée à l'estimation des émissions de CO₂ relatives aux consommations thermiques (chauffage et eau chaude sanitaire) de l'ensemble du secteur résidentiel collectif genevois en 2010.

2.5.5.1 Méthode pour le calcul des émissions

Les émissions sont calculées pour chaque bâtiment en multipliant la (ou les) quantité(s) d'agent(s) énergétique(s) utilisé(s) par le facteur d'émission de CO₂ de l'agent correspondant. Elles sont exprimées en émissions équivalentes de CO₂. A l'exception du facteur d'émission de la chaleur à distance provenant de l'incinération des ordures ménagères CADIOM, tous les facteurs d'émissions retenus pour le calcul sont issus de l'ancienne directive relative au calcul de l'IDC (cf. Annexe A7).

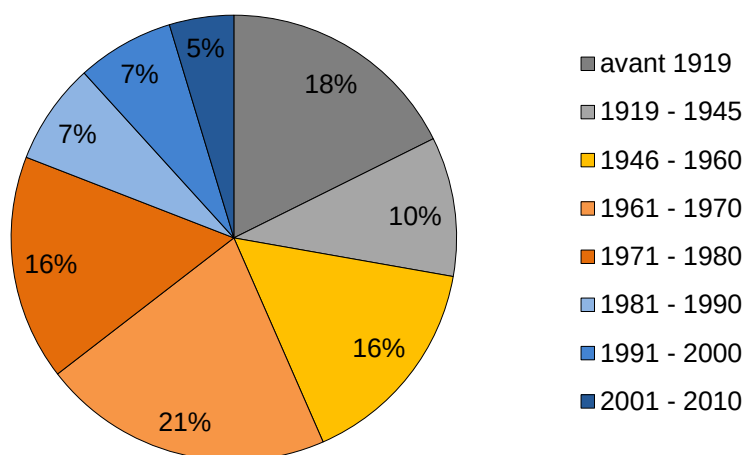
Pour la chaleur fatale CADIOM (situation en 2010), nous avons considéré un facteur d'émission égal à 0.957 kgCO₂/GJ conformément aux données des écobilans dans la construction [44] et au cahier technique SIA 2031.

Le facteur proposé dans l'ancienne directive [34] s'élevait à 41.2 kg CO₂/GJ. Cette valeur est assez proche du facteur d'émission moyen (45.2 kg CO₂/GJ) proposé par les deux sources citées en haut pour les réseaux thermiques alimentés par une usine d'incinération des ordures. Toutefois, il convient de préciser que la chaleur considérée ici n'est pas 100% fatale, mais représente le mix global observé en Suisse, soit : 7.6% de la chaleur produite par des centrales à mazout, 41.9% par des centrales à gaz et le reste (50.5%) de la chaleur issue de l'incinération des ordures ménagères (selon le Tableau H.3 du cahier technique SIA 2031).

2.5.5.2 Présentation des résultats

Les émissions de CO₂ liées à la consommation thermique en 2010 des 12'602 bâtiments du secteur résidentiel collectif genevois sont estimées à 595 kilotonnes. La répartition des émissions selon l'époque de construction des bâtiments est présentée à la Figure 2.23.

Figure 2.23. Répartition des émissions de CO₂ du secteur résidentiel collectif (N=12'602 bâtiments) selon l'époque de construction à Genève en 2010

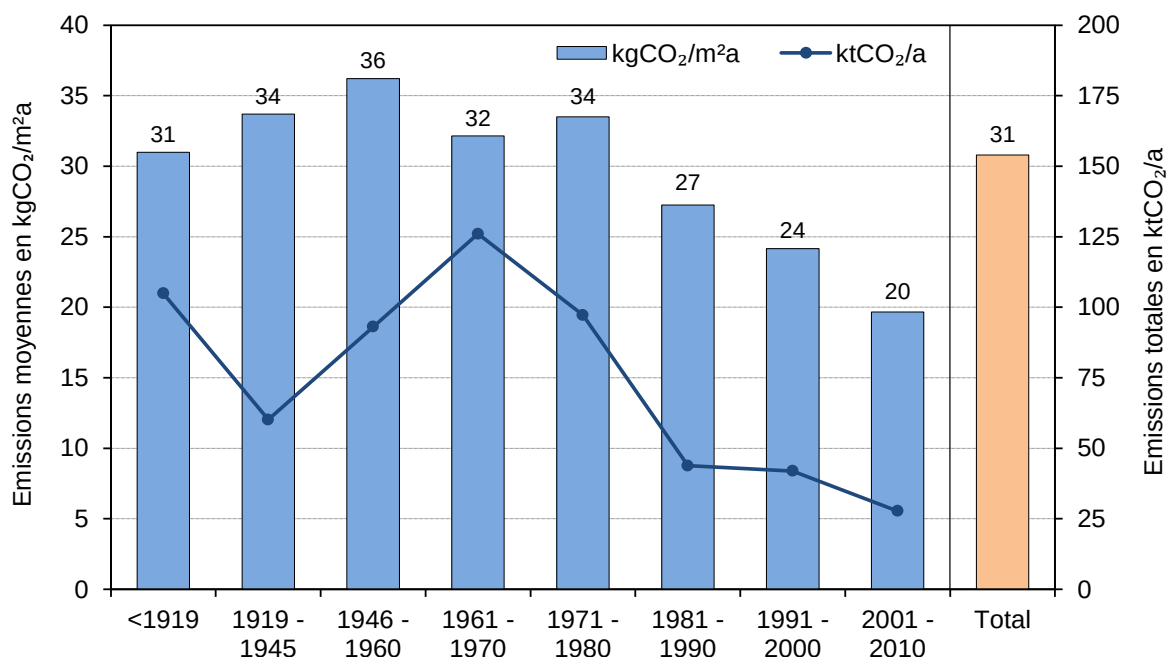


Emissions CO₂ totales (2010) = 595 ktCO₂

On observe que les bâtiments construits entre 1946 et 1980 sont responsables d'un peu plus de la moitié des émissions du secteur résidentiel collectif (53% ; 316 ktCO₂), loin devant les bâtiments d'avant 1946 (28% ; 165 ktCO₂) et les bâtiments édifiés entre 1981 et 2010 (19% ; 114 ktCO₂).

La Figure 2.24 représente les émissions moyennes annuelles exprimées en kgCO₂/m²_{SRE} selon l'époque de construction des bâtiments destinés à l'habitat collectif en 2010 (histogramme). Le tracé indique sur l'axe secondaire les émissions totales par tranche d'âge en kilotonnes de CO₂.

Figure 2.24. Emissions moyennes en $\text{kgCO}_2/\text{m}^2_{\text{SRE}}$ (axe principale) et émissions totales en ktCO_2 (axe secondaire), selon l'époque de construction des 12'602 bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010



En 2010, l'émission moyenne du secteur s'élève à $31 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2_{\text{SRE}}$. Les bâtiments construits entre 1946 et 1980 émettent le plus au mètre carré ($34 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{a}$), devant les bâtiments d'avant 1946 ($32 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{a}$) et les bâtiments d'après 1981 ($24 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{a}$). La figure donne l'émission moyenne pour chaque époque de construction. On note également que l'abandon des chaudières à mazout et le raccordement des bâtiments des années soixante au réseau CADIOM depuis 2002 a induit une baisse significative des émissions moyennes (visible sur la figure). Toutefois, ces bâtiments restent les plus gros émetteurs de CO_2 du secteur avec 126 ktCO_2 (21% du total) émis en 2010.

Enfin, en comparant nos résultats avec les résultats de l'étude « Plan climat cantonal » de l'association Noé 21 [45], il ressort que les émissions de CO_2 du secteur résidentiel collectif représentent :

- 45% des émissions totales du parc immobilier genevois (estimées selon l'étude citée à $1'309 \text{ ktCO}_2$ en 2009) ;
- 18% des émissions totales de CO_2 du canton de Genève en considérant tous les secteurs, y compris le trafic aérien.

2.5.6 Demande thermique globale du secteur (chauffage et ECS)

Cette section vise à déterminer pour chaque bâtiment du secteur résidentiel collectif, les besoins de chaleur nécessaire pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

2.5.6.1 Méthodologie

Il convient tout d'abord de rappeler que la demande thermique (Q_{hww}) est définie comme la chaleur nette fournie et produite sur site nécessaire pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire après conversion, mais en amont de la distribution et du stockage dans le bâtiment.

La démarche adoptée pour déterminer ces besoins comporte les étapes suivantes (se référer à la Figure 2.12 pour faciliter la compréhension) :

1. La première étape consiste à déterminer pour chacun des 10'168 bâtiments dont les données énergétiques sont connues, la chaleur nette fournie au bâtiment pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire ($Q_{hww(fo)}$). Cette chaleur représente dans l'exemple illustrée à la Figure 2.12 la chaleur fournie par la chaudière, à laquelle vient s'ajouter la chaleur solaire (Q_{sol}) pour couvrir la demande totale (Q_{hww}).

La chaleur nette fournie a été estimée à partir des consommations d'énergie nette apportées au périmètre du bilan (E_{hww}) contenues dans le fichier énergie de l'OCEN et des fractions utiles définies au point 2.5.1.6. Pour les bâtiments utilisant deux agents énergétiques (environ 200 observations), la fraction utile globale a été calculée pour chaque bâtiment en pondérant la consommation des agents. Dans la plupart des cas, il s'agit de chaudières bi-combustibles gaz-mazout.

2. On distingue ensuite deux cas pour calculer la demande de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude (Q_{hww}) :
 - Pour les bâtiments sans installations solaires thermiques, $Q_{hww} = Q_{hww(fo)}$.
 - Pour les bâtiments équipés d'une installation solaire, $Q_{hww} = Q_{hww(fo)} + Q_{sol}$.

La méthode utilisée pour déterminer la production annuelle solaire Q_{sol} est explicitée au point 2.5.6.3.
3. Les besoins de chaleur pour l'ECS (Q_{ww}) ont été ensuite déterminés pour chaque bâtiment à partir du nombre d'habitants indiqué dans le fichier FCBL. Lorsque cette information n'était pas disponible, les besoins ont été estimés à partir du nombre de pièces. Il convient de préciser que seule la part d'ECS des ménages a été considérée dans cette étude. Les besoins annuels moyens retenus sont issus d'une analyse comparative réalisée à ce propos. Plus de détails sont fournis au point 2.5.6.2.
4. Les besoins de chaleur pour le chauffage (Q_h) de chacun des 10'168 bâtiments sont obtenus en soustrayant les besoins d'ECS (Q_{ww}) des besoins totaux de chauffage et d'ECS (Q_{hww}). Les résultats n'ont pas besoin d'être normalisés climatiquement puisque l'année 2010 est représentative de l'année de référence (cf. 2.5.1.8).
5. La dernière étape consiste à déterminer les besoins de chaleur de l'ensemble des 12'602 bâtiments du secteur résidentiel collectif à Genève. Pour y arriver, nous avons affecté pour chacun des 2'434 bâtiments dont les données énergétiques manquent, les besoins moyens connus de chauffage Q_{hmoy} selon l'époque de construction des

bâtiments, auxquels viennent s'ajouter les besoins d'ECS (Q_{ww}) déterminés selon le troisième point de la démarche.

$$Q_{hww} \left(\begin{smallmatrix} \text{bâtiment dont la} \\ \text{consommation} \\ \text{est inconnue} \end{smallmatrix} \right) = Q_{hmoy} \left(\begin{smallmatrix} \text{époque de} \\ \text{construction} \end{smallmatrix} \right) + Q_{ww}(\text{bâtiment})$$

(Équation 2.3)

En additionnant les besoins thermiques des 2'434 bâtiments aux besoins des 10'168 bâtiments déterminés au deuxième point de cette démarche, on obtient la demande en énergie thermique (Q_{hww}) de l'ensemble du secteur, qui s'élève à 2'226 GWh en 2010. Par coïncidence, nous arrivons au même résultat que celui obtenu au point 2.5.4.3 de ce chapitre (cf. diagramme de flux à la Figure 2.22).

6. L'énergie nette fournie (E_{hww}) pour le chauffage et l'ECS des 2'434 bâtiments a été ensuite calculée à partir des besoins de chaleur (Q_{hww}) déterminés au point précédent, dont on soustrait la chaleur produite sur site (dans notre cas la chaleur solaire Q_{sol}), et des fractions utiles moyennes (η_{moy}) par époque de construction vu qu'on ne connaît pas l'agent énergétique utilisé dans ces bâtiments (Équation 2.4).

$$E_{hww} \left(\begin{smallmatrix} \text{bâtiment dont la} \\ \text{consommation} \\ \text{est inconnue} \end{smallmatrix} \right) = \frac{Q_{hww}(\text{bâtiment}) - Q_{sol}(\text{bâtiment})}{\eta_{moy} \left(\begin{smallmatrix} \text{époque de} \\ \text{construction} \end{smallmatrix} \right)}$$

(Équation 2.4)

Au total, l'énergie nette fournie (E_{hww}) aux 12'602 bâtiments du secteur résidentiel collectif atteint 2'563 GWh en 2010, ce qui est très proche de la valeur estimée en utilisant la première méthode au point 2.5.4 de ce chapitre (2'569 GWh).

Le Tableau 2.15 récapitule les résultats obtenus avec les deux méthodes pour déterminer la demande de chaleur pour le chauffage et l'ECS (Q_{hww}) et l'énergie nette fournie (E_{hww}) aux 12'602 bâtiments du secteur résidentiel collectif genevois en 2010.

Tableau 2.15. Récapitulatif des résultats obtenus avec les deux méthodes

	Méthode 1 (extrapolation, cf. 2.5.4)		Méthode 2 (par bâtiment, cf. 2.5.6)	
	E_{hww} [GWh]	Q_{hww} [GWh]	E_{hww} [GWh]	Q_{hww} [GWh]
Total secteur résidentiel collectif (12'602 bâtiments)	2'569	2'226	2'563	2'226
Part inconnue (2'434 bâtiments)	255	222	250	222
Part connue (10'168 bâtiments)	2'314	2'004	2'314	2'004

2.5.6.2 Estimation des besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire (Q_{ww})

Le besoin d'eau chaude sanitaire (Q_{ww}) représente la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer le volume requis d'eau froide à la température de distribution. Dans ce travail, nous n'avons considéré que les besoins d'eau chaude sanitaire (ECS) des ménages. La demande liée aux surfaces non résidentielles des bâtiments mixtes n'est donc pas comptabilisée.

Il existe relativement peu de données publiées concernant les besoins unitaires d'eau chaude sanitaire (ECS) dans les bâtiments résidentiels collectifs. Pour cela, une analyse comparative a été effectuée sur la base des résultats de plusieurs retours d'expérience menés par le groupe Energie (anciennement CUEPE) de l'Université de Genève et des résultats issus de la thèse de doctorat de Zraggen [46]. Au total, l'analyse porte sur 13 complexes de bâtiments composés de 65 allées (3'826 pièces) et totalisant une surface énergétique d'environ 94'000 m². Les données détaillées sont fournies dans le tableau à l'Annexe A14.

Les besoins d'ECS ont été déterminés soit par des mesures in-situ, soit sur la base de relevés de compteurs d'eau froide à l'entrée du bouilleur. Un facteur de 176 MJ/m³ d'eau froide a été admis en considérant une température annuelle moyenne du réseau de 13°C et une température d'eau chaude de 55°C. Pour les mesures in-situ, nous avons considéré également des pertes de stockage et de conduites de 7%.

Les résultats présentés à la Figure 2.25 (graphique du haut) montrent que les besoins annuels d'ECS varient entre 843 et 1'176 kWh/habitant avec une moyenne située à 1'077 kWh/habitant. La consommation moyenne journalière est de 60 litres par jour et par habitant (cf. Annexe A14).

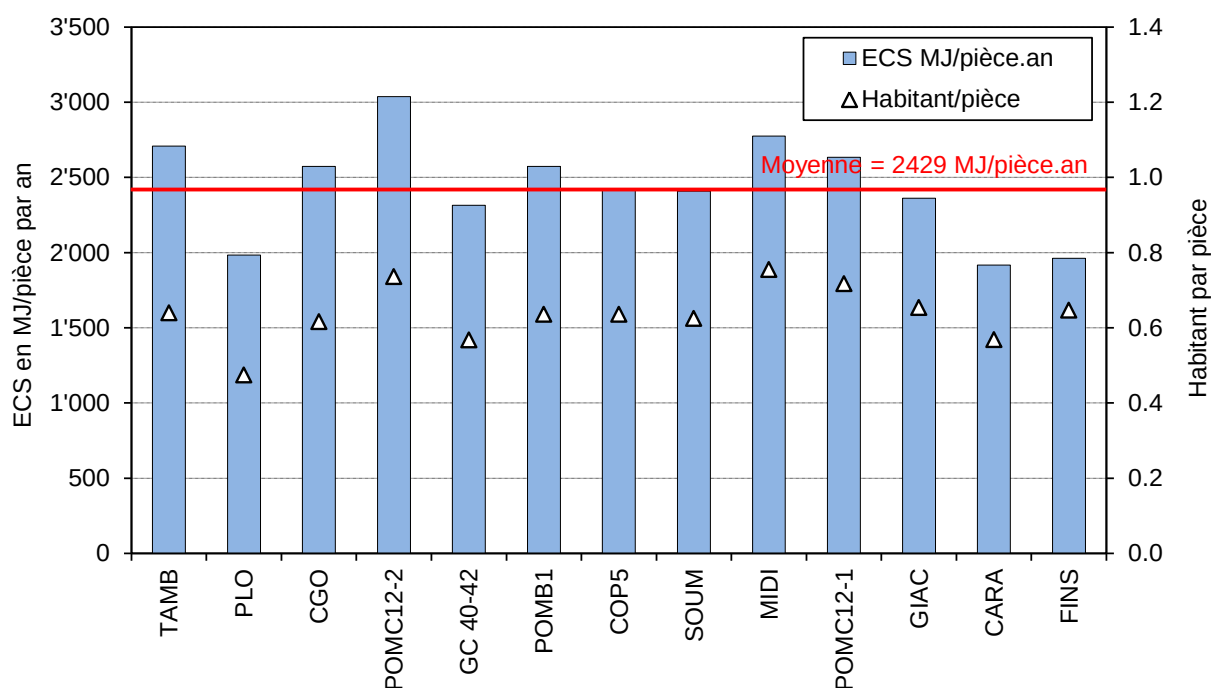
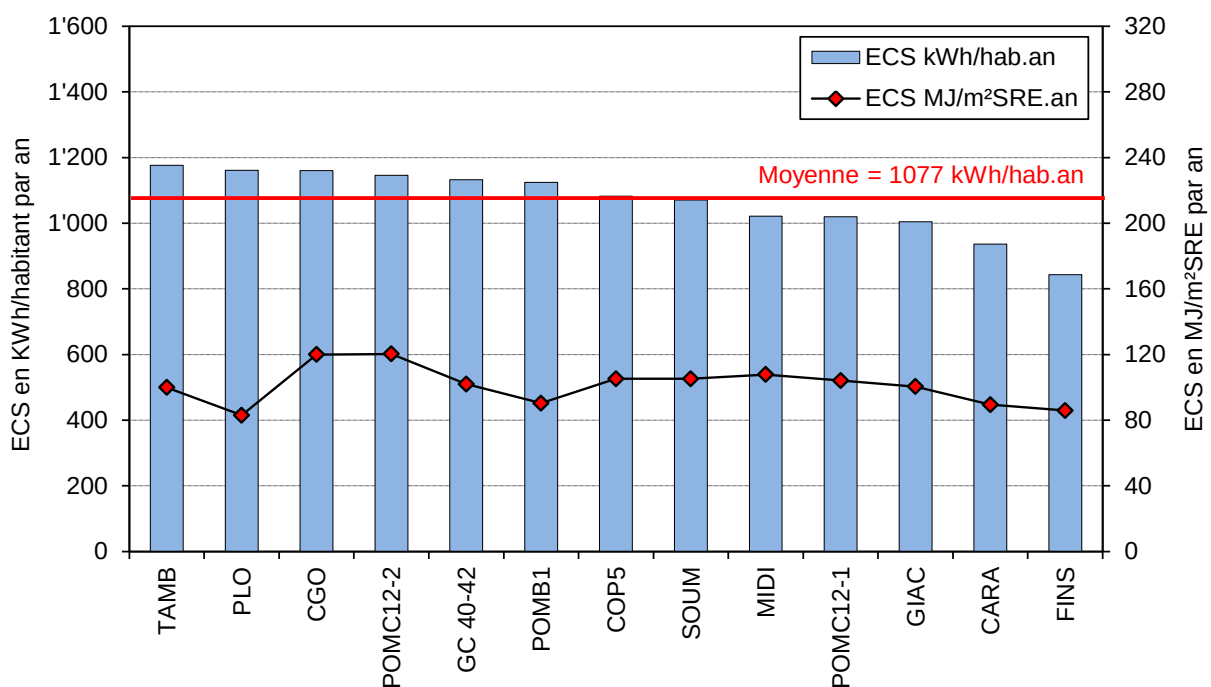
En les exprimant en fonction des m²_{SRE}, les besoins annuels d'ECS varient entre 83 et 120 MJ/m²a. La valeur moyenne est de 99 MJ/m²a, soit 32% plus élevée que la valeur de dimensionnement proposée dans la norme SIA 380/1 (75 MJ/m²a). Le graphique du bas de la Figure 2.25 montre que le besoin moyen d'ECS des bâtiments sélectionnés est de 2'429 MJ/pièce par an, ce qui est très proche de la valeur (2'455 MJ/pièce) indiquée dans la thèse de Zraggen [46].

Vu que l'utilisation de l'eau chaude sanitaire dépend avant tout du nombre d'habitants dans les ménages, **les besoins annuels d'ECS ont été estimés pour la majorité des cas à partir du nombre d'habitants sur la base de 1'080 kWh par habitant. Lorsque le nombre d'habitants n'était pas disponible ou erroné²⁷, l'estimation a été réalisée en fonction du nombre de pièces, en utilisant 2'430 MJ par pièce et par an.**

Au total, les besoins d'eau chaude sanitaire des immeubles destinés à l'habitat collectif à Genève ont été estimés à environ 400 GWh en tenant compte de la structure de la population en 2010.

²⁷ Si le nombre d'habitants est inférieur au nombre de logements, nous avons considéré que la valeur est erronée. Par conséquent, l'estimation a été réalisée sur la base du nombre de pièces.

Figure 2.25. Besoins annuels moyens d'eau chaude sanitaire (ECS) de 13 complexes de bâtiments résidentiels collectifs composés de 65 allées à Genève, exprimés en fonction du nombre d'habitants et de la surface énergétique SRE (en haut) et en fonction du nombre de pièces (en bas). Toutes les valeurs sont disponibles dans le tableau à l'Annexe A14.



Besoins moyens d'ECS (résultats du benchmark)	
par m²SRE	99 MJ/m²SRE.an
par pièce	2'429 MJ/pièce.an
par habitant	1'077 kWh/hab.an
	60 Litre/hab.jour

2.5.6.3 Estimation de la productivité solaire des capteurs (Q_{sol})

Par productivité solaire, on entend l'énergie thermique produite par un mètre carré de capteur solaire (Q_{sol}), comptabilisée à l'entrée du stock.

Pour des systèmes correctement dimensionnés et bien installés, la productivité solaire pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire dépend essentiellement de la surface spécifique, qui est le rapport entre la surface de capteurs et les besoins d'ECS exprimés par le nombre de consommateurs. La surface spécifique s'exprime en m^2/UC , où l'unité de consommation standard (UC) est définie par Lachal [47] comme la consommation moyenne journalière de 50 litres d'eau chaude à 55°C par personne, équivalent à 900 kWh par an et par personne.

Les autres paramètres liés au site (comme l'effet des ombrages lointains et les différences de températures entre ville et campagne) et ceux liés au système technique (volume du stock, etc.) sont considérés moins importants.

En tenant compte du nombre d'habitants indiqué dans le fichier FCBL et des surfaces de capteurs solaires déclarées dans les demandes de subventions arrivant à l'OCEN et celles fournies par la Ville de Genève, nous avons estimé la production solaire des installations en utilisant l'équation 2.5 établie par Lachal [47], mais en considérant les besoins réels d'ECS estimés dans le point précédent, soit 1.2 UC au lieu de 1 UC.

L'équation de la productivité moyenne solaire à Genève pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire s'écrit :

$$P = 900 * (1 - \exp(-0.23/SS^2 - 0.768/SS - 0.037)) * 0.85$$

(Équation 2.5)

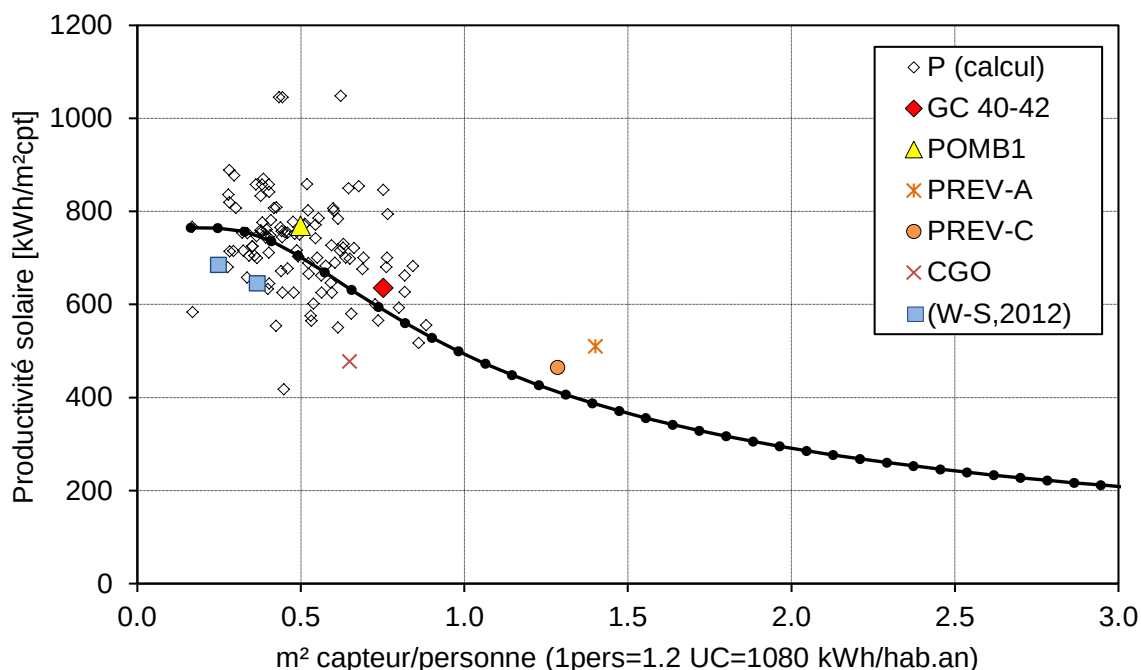
Avec :

- P : Productivité solaire (kWh/m²cpt)
- SS : Surface spécifique (m²/1.2*UC)
- UC : Nombre de consommateurs standards consommant 50 litres/jour d'ECS à 55°C
- 0.85 : La productivité d'un système en situation réelle est estimée comme 85% de celle d'un système « parfait » standard

La Figure 2.26 montre que la productivité des systèmes indiqués ci-après s'accorde assez bien avec la courbe de productivité donnée par l'équation 2.5 :

- P (calcul) : Productions théoriques des capteurs subventionnés par l'OCEN et ceux installés par la Ville de Genève, calculées avec des logiciels de dimensionnement tels que le logiciel Polysun. Les valeurs ont été normalisées avec 1.2 UC au lieu 1 UC utilisée généralement dans le calcul de dimensionnement.
- Installations GC, POMB, PREV et CGO : Productions mesurées sur des installations bien suivies en conditions réelles d'utilisation. Ces données proviennent de plusieurs retours d'expérience réalisés dans le cadre des études suivantes [46, 48, 49, 50].
- Installations (W-S, 2012) : Productions moyennes d'un ensemble d'installations solaires collectives à Genève, relevées par des professionnels et analysées dans le cadre du travail de Master de Weill-Sermet à l'UNIGE [51]. Les résultats portent sur 9 installations en 2010 et 11 autres installations en 2011.

Figure 2.26. Productivités solaires théoriques et mesurées à Genève en fonction de la surface spécifique en m²/personne



De manière générale, on remarque que les installations sont correctement dimensionnées. Le ratio de dimensionnement fluctue autour de la valeur préconisée de 0.5 m²cpt/UC ou 0.6 m²cpt/1.2UC. Hormis l'installation CGO qui s'est arrêtée au bout de 3 ans de sa mise en service au début des années 90, les installations ayant fait l'objet de retours d'expérience et bénéficié d'un suivi régulier ont une productivité plus élevée que celle donnée par la courbe. Pour les valeurs indiquées dans l'étude Weill-Sermet [51], il est envisageable que la productivité théorique a été calculée par les ingénieurs en utilisant une charge différente de celle que l'on a considérée (charge réelle basée sur le nombre de personnes en 2010 et une demande annuelle d'ECS de 1'080 kWh/habitant).

En utilisant l'équation 2.5, la chaleur produite (Q_{sol}) par les installations solaires thermiques recensées dans notre base de données et installées sur les immeubles d'habitation, a été estimée à 5.6 GWh en 2010. La productivité moyenne annuelle s'élève à près de 650 kWh/m²cpt.

2.5.6.4 Analyse des besoins de chaleur du secteur résidentiel collectif

A l'heure actuelle, la plupart des études réalisées se contentent des besoins moyens annuels de chaleur ramenés à un mètre carré de plancher chauffé (SRE) pour caractériser la performance thermique d'un parc de bâtiments. Le plus souvent, des valeurs identiques estimées dans des conditions normées d'utilisation sont affectées aux bâtiments d'une même époque, sans tenir compte des rénovations déjà effectuées.

L'intérêt de cette étude est qu'elle s'intéresse à la distribution des besoins réels de chaleur (chauffage et ECS) des bâtiments par époque de construction. Cette approche devrait permettre d'évaluer de façon plus fiable le gisement mobilisable d'économie d'énergie et de mieux piloter le parc immobilier vers les objectifs fixés par les autorités publiques.

a) Remarques préalables à la présentation des résultats

Avant de présenter les résultats, nous tenons à souligner les points suivants :

- Les résultats présentés ci-après portent sur l'ensemble des bâtiments du secteur résidentiel collectif genevois (12'602 bâtiments totalisant une surface énergétique de 19.3 millions de m²). Les bâtiments entièrement d'habitation (Hab-pur) représentent environ deux-tiers des bâtiments du secteur. Le reste (1/3) concerne les bâtiments mixtes, destinés principalement à l'habitation et qui contiennent également des surfaces non résidentielles (commerce, atelier, etc.).
- Pour les bâtiments mixtes, la demande d'eau chaude sanitaire (Q_{ww}) représente les besoins d'ECS des ménages rapportés à la surface totale de référence énergétique (résidentielle et non résidentielle). En d'autres termes, la demande d'ECS des ménages est diluée sur une plus grande surface, expliquant certaines valeurs (Q_{ww}) très faibles. Quant à la part d'ECS des surfaces non résidentielles, si elle existe, elle est comprise dans la demande totale de chauffage et d'eau chaude sanitaire (Q_{hww}).
- Sur les Figures suivantes 2.27 à 2.29, la surface en dessous de la courbe (Q_{hww}) représente les besoins pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, alors que la surface en dessous de la courbe (Q_h) représente les besoins de chaleur pour le chauffage des bâtiments. La surface entre les deux courbes exprime les besoins de chaleur pour l'ECS. La part couverte par le solaire thermique (Q_{sol}) est indiquée au bas du graphique. L'énergie nette fournie E_{hww} est également représentée sur les figures, où on peut distinguer les principaux agents énergétiques utilisés (limite supérieure = mazout ; intermédiaire = gaz ; limite inférieure = CAD).
- Dans certains cas, il est possible que l'énergie nette fournie soit inférieure à la demande thermique ($E_{hww} < Q_{hww}$). C'est notamment l'exemple d'un bâtiment connecté à un réseau de chauffage à distance et aussi équipé d'un système solaire thermique (dépassement dans ce cas égal à la productivité solaire). Bien qu'il soit possible d'éviter ces dépassements en utilisant l'énergie finale qui n'est autre que la somme de l'énergie nette fournie et la chaleur produite sur site ($E_{hww} + Q_{sol}$), nous avons préféré de présenter l'information brute E_{hww} fournie par l'OCEN.
- Enfin, les points sur la courbe classée (Q_{hww}) indiquent par ordre décroissant : le 9^{ème} décile (D9), le 3^{ème} quartile (Q3), la médiane (M), le 1^{er} quartile (Q1) et le 1^{er} décile (D1).

b) Besoins de chaleur (Q_{hww}) du secteur résidentiel collectif

Les besoins de chaleur pour le chauffage et l'ECS du secteur résidentiel collectif genevois est estimée à 2'226 GWh ou 415 MJ/m²_{SRE} en 2010. La part imputée au chauffage (Q_h) est de 1'825 GWh (340 MJ/m²_{SRE}), soit 82% de la demande totale. Le reste concerne les besoins annuels d'ECS (Q_{ww}) estimés à 401 GWh ou 75 MJ/m²_{SRE}. A l'heure actuelle, la chaleur solaire ne couvre qu'une part minime des besoins d'ECS (5.6 GWh ou 1 MJ/m²_{SRE}). Les résultats sont illustrés à la Figure 2.27 et présentés en détail au Tableau 2.16.

En ce qui concerne la distribution des besoins de chaleur (Q_{hww}) du secteur en 2010, on constate que 10% des bâtiments les plus énergivores ont des besoins supérieurs à 526

MJ/m²a (D9), alors que 10% les plus performants ont des besoins inférieurs à 316 MJ/m²a (D1). La médiane se situe à 416 MJ/m²a, très proche de la valeur moyenne (415 MJ/m²a).

Figure 2.27. Besoins classés de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (Q_{hww}) en MJ/m² des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010. Au total, 12'602 bâtiments (entièrement d'habitation et mixte) totalisant une surface énergétique de 19.3 millions de m². Les points indiquent par ordre décroissant le 9ème décile, le 3ème quartile, la médiane, le 1er quartile et le 1er décile.

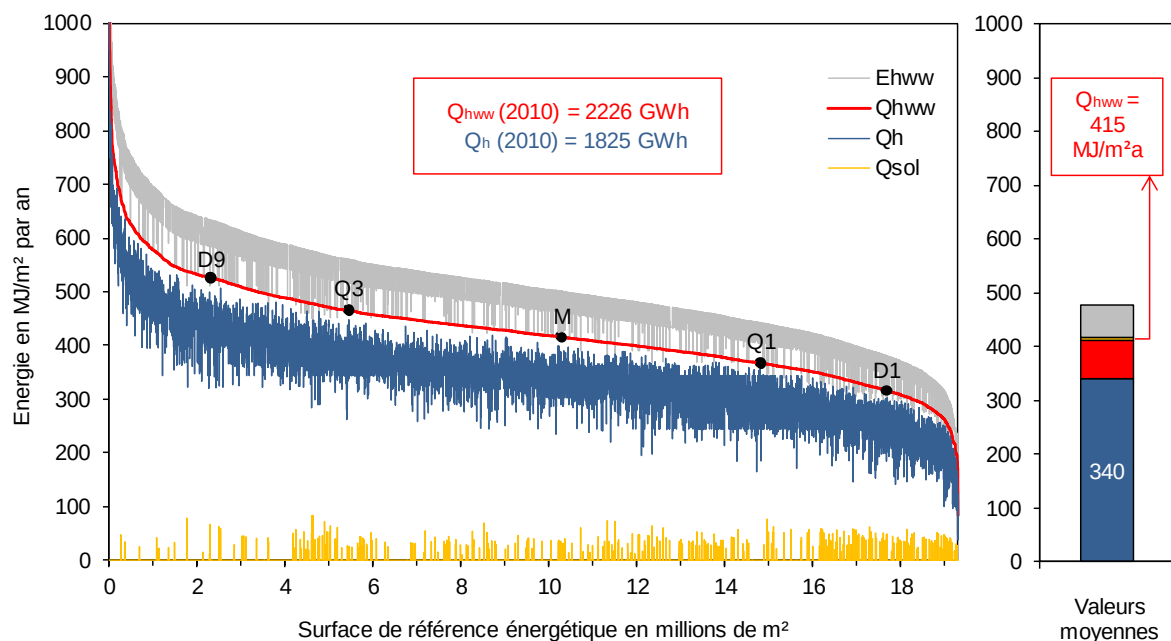


Tableau 2.16. Récapitulatif des besoins de chaleur et des énergies produites et fournies au secteur résidentiel collectif à Genève en 2010. Pour la définition des nomenclatures, se référer à 2.5.1.5.

Secteur résidentiel collectif 2010	E_{hww}	$Q_{hww(fo)}$	Q_{sol}	Q_{hww}	Q_{ww}	Q_h
	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]
Total	2'563	2'220	6	2'226	401	1'825

Secteur résidentiel collectif 2010	E_{hww}	$Q_{hww(fo)}$	Q_{sol}	Q_{hww}	Q_{ww}	Q_h
	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]
D1 (1er décile)	357	314	0	316	43	244
Q1 (1er quartile)	418	365	0	367	59	290
M (médiane)	479	415	0	416	77	344
Q3 (3è quartile)	538	464	0	465	96	381
D9 (9è décile)	615	526	0	526	116	440
Moyenne ¹ secteur (12602 bâtiments)	478	414	1	415	75	340
Moyenne ¹ Hab-pur ² (8379 bâtiments)	480	418	1	419	81	338

¹ La moyenne est le rapport de la somme des énergies par la somme des surfaces énergétiques correspondantes.

² Valeurs moyennes pour les bâtiments entièrement d'habitation (hab-pur) qui représentent deux tiers des bâtiments du secteur résidentiel collectif (8379 observations)

Remarque : Bien que le besoin d'ECS du secteur ($75 \text{ MJ/m}^2_{\text{SRE}}$ en 2010) semble bien correspondre à celui proposé dans la norme SIA 380/1 pour la catégorie habitat collectif, il convient de préciser que le tiers des bâtiments du secteur sont des bâtiments mixtes. En considérant seulement les 8'379 bâtiments entièrement d'habitation, le besoin moyen d'ECS s'élève à $81 \text{ MJ/m}^2_{\text{SRE}}$ par an. Cette valeur est donc supérieure à celle préconisée par la norme, mais inférieure à celle obtenue dans l'analyse comparative au point 2.5.6.2.

c) Distribution des besoins de chaleur (Q_{hww}) en fonction de l'époque de construction

Les Figures 2.28 et 2.29 présentent en fonction de l'époque de construction les besoins classés de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (Q_{hww}) en MJ/m^2 des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010. Le pourcentage de chaque tranche d'âge est encadré sur les graphiques. Le Tableau 2.17 récapitule les principaux résultats.

L'analyse de ces résultats permet de faire ressortir les constats suivants :

- Tout d'abord, il est étonnant de constater que le besoin médian de chaleur pour le chauffage et l'ECS (Q_{hww}) de l'ensemble des bâtiments du secteur résidentiel collectif genevois soit égal à celui des bâtiments d'avant 1946 (416 MJ/m^2 en 2010). Les valeurs moyennes respectives sont très proches ($413 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ pour les bâtiments d'avant 1946 contre $415 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ pour le secteur).

$$Q_{\text{hww}} \text{ médian (secteur)} = Q_{\text{hww}} \text{ médian (avant 1946)} = 416 \text{ MJ/m}^2_{\text{SRE}} \text{ en 2010}$$

- Ensuite, le besoin médian Q_{hww} des bâtiments construits après 1980 est inférieur de seulement 12% à celui du secteur (366 contre $416 \text{ MJ/m}^2\text{a}$) et de 18% à celui des bâtiments construits entre 1946 et 1980 (366 contre $447 \text{ MJ/m}^2\text{a}$). L'écart entre ces deux dernières valeurs s'élève donc seulement à $81 \text{ MJ/m}^2\text{a}$. L'étude réalisée par Borgström et Werner [52] sur le parc résidentiel collectif suédois montre des résultats très similaires, avec une différence de seulement 15% entre la demande thermique moyenne des immeubles d'après 1980 et celle du secteur.

$$Q_{\text{hww}} \text{ médian (1981-2010)} = 0.88 * Q_{\text{hww}} \text{ médian (secteur)} = 366 \text{ MJ/m}^2 \text{ en 2010}$$

- De par leur taille (SRE) et leur besoin thermique, les bâtiments construits entre 1946 et 1980, avant l'introduction des premières réglementations thermiques à Genève, recèlent le plus grand potentiel d'économie d'énergie. On constate sur la Figure 2.28 que 10% des bâtiments les moins performants de cette tranche d'âge ont une demande thermique supérieure à $551 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ (D9), alors que 10% les plus performants ont des besoins en chaleur inférieurs à $357 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ (D1). De manière générale, la distribution des besoins des bâtiments des années soixante est très similaire à celle des bâtiments construits entre 1946 et 1980 (cf. Tableau 2.17).
- Comme évoqué précédemment au point 2.5.3.3, une baisse significative des besoins de chaleur est constatée à la suite du premier choc pétrolier de 1973. Cette baisse s'élève en 2010 à plus de $50 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ (différence entre les besoins médians des bâtiments des années 1971-1980 et 1981-1990). Au cours de la période 1981-2000, on observe néanmoins un ralentissement de la baisse, qui a été également confirmé par Nässén et Holmberg [37] dans une étude sur le parc résidentiel collectif suédois.

Figure 2.28. Besoins classés de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (Q_{hww}) en MJ/m² des bâtiments résidentiels collectifs à Genève, selon les trois grandes périodes de construction, en 2010. Les points indiquent par ordre décroissant le 9^e décile, le 3^e quartile, la médiane, le 1^{er} quartile et le 1^{er} décile.

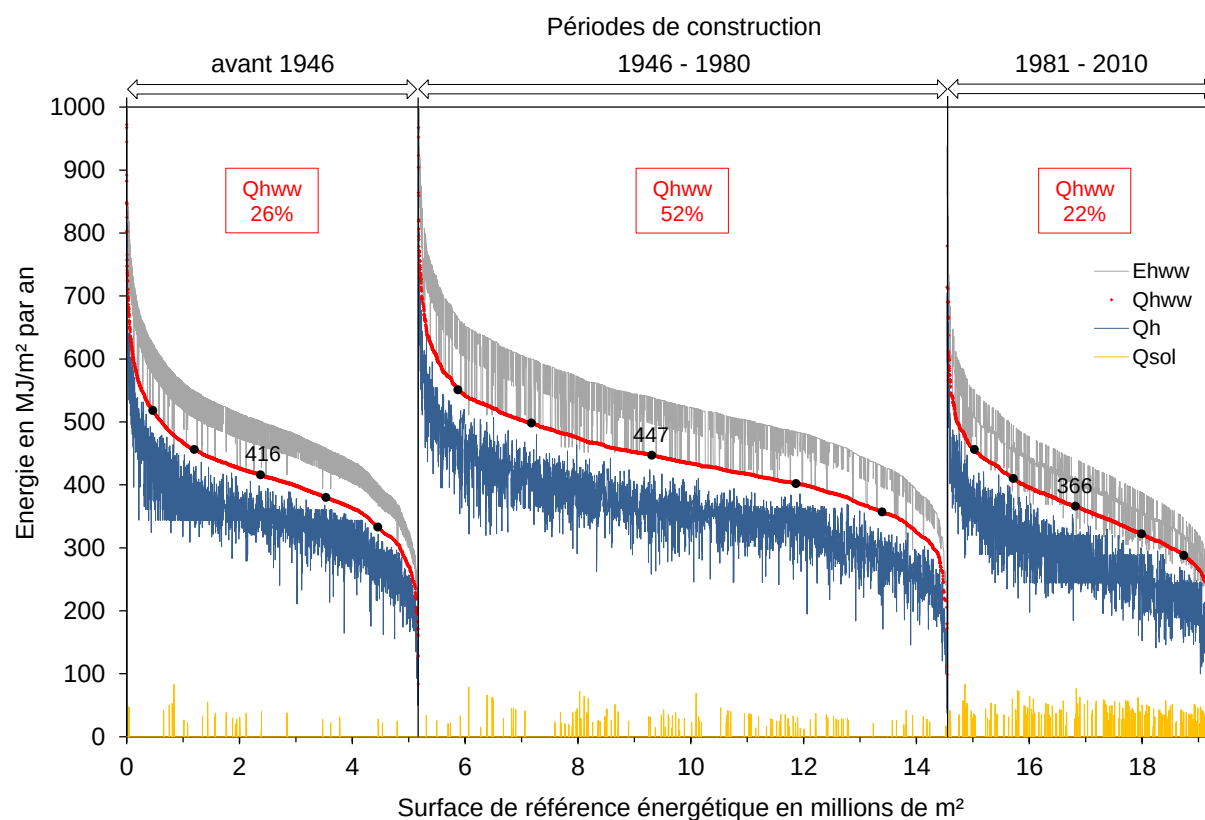
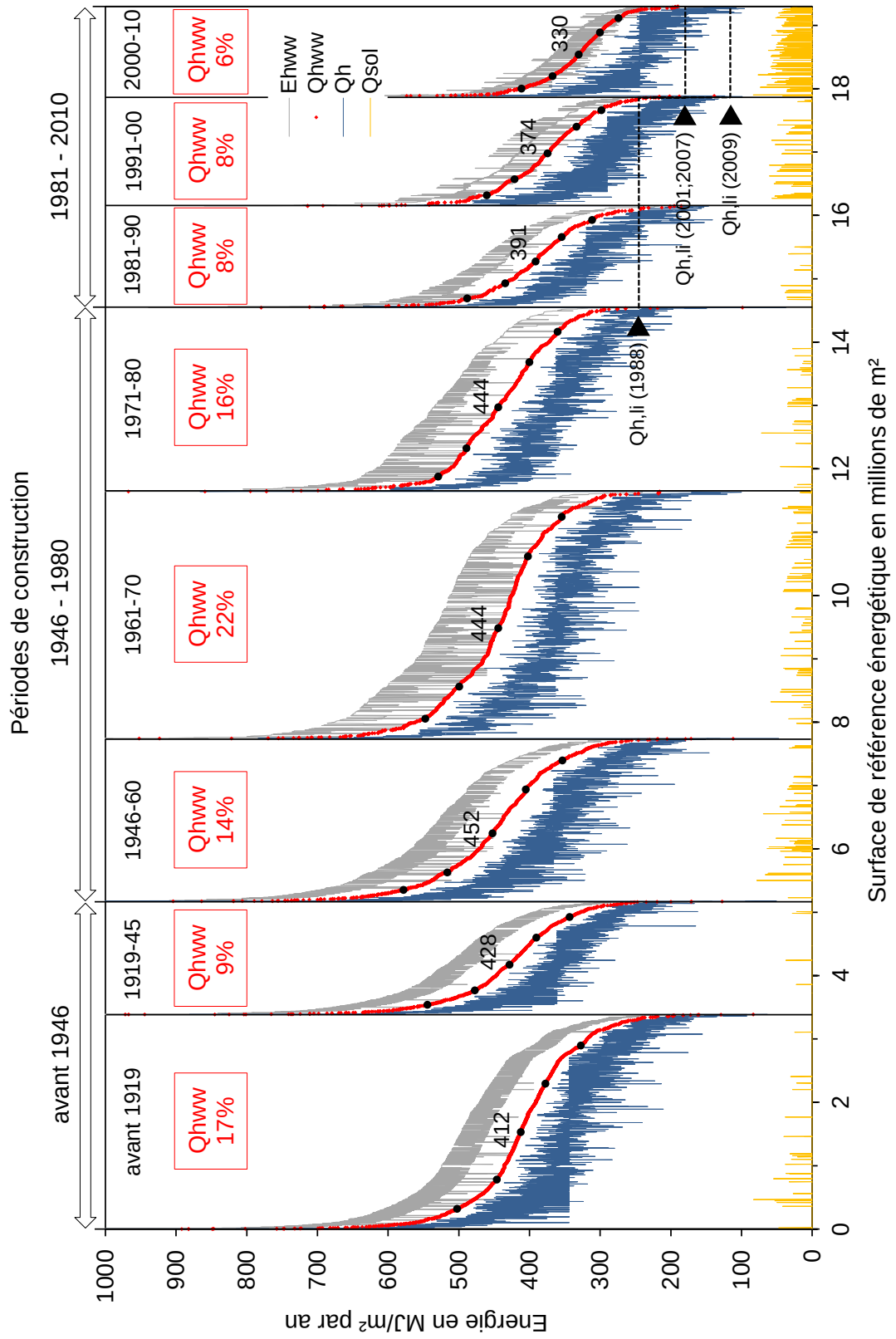


Tableau 2.17. Besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (Q_{hww}) en MJ/m² selon l'époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010

Q_{hww} 2010	Moyenne	D1	Q1	Médiane	Q3	D9
Epoqconst.	[MJ/m²a]	[MJ/m²a]	[MJ/m²a]	[MJ/m²a]	[MJ/m²a]	[MJ/m²a]
avant 1919	406	327	377	412	446	502
1919 - 1945	427	343	390	428	477	544
1946 - 1960	445	353	405	452	516	578
1961 - 1970	443	354	402	444	499	547
1971 - 1980	439	360	400	444	489	529
1981 - 1990	389	311	354	391	434	488
1991 - 2000	374	298	333	374	421	460
2001 - 2010	331	274	300	330	367	411
Total	415	316	367	416	465	526
avant 1946	413	333	380	416	456	518
1946-1980	442	357	402	447	498	551
1981-2010	366	288	322	366	410	456

D1 : premier décile; Q1: premier quartile; Q3: troisième quartile; D9 décile ; La moyenne est le rapport de la somme des besoins de chaleur par la somme des surfaces correspondantes.

Figure 2.29. Besoins classés de chaleur pour le chauffage et l'ECS (Q_{hww}) en MJ/m² des bâtiments résidentiels collectifs, selon l'époque de construction à Genève en 2010. Les points indiquent par ordre décroissant le 9^e décile, la médiane, le 3^e quartile, le 1^{er} quartile et le 1^{er} décile.



NB: Les valeurs limites des besoins de chauffage ($Q_{h,li}$) des bâtiments neufs ont été calculées avec un facteur d'enveloppe A_{th}/A_e de 1.3 (cf. SIA 2031, Tableau C.2)

- A partir 2001, on assiste de nouveau à une réduction des besoins en énergie des constructions neuves. Cette baisse, qui s'élève à 44 MJ/m²a (différence entre les besoins médians des bâtiments des années 1991-2000 et 2001-2010), résulte essentiellement du renforcement des réglementations thermiques (nouvelle édition 2001, puis 2007 de la norme SIA 380/1), de l'arrivée sur le marché du label Minergie et de l'amélioration des pratiques et des produits mis sur le marché.

Enfin, les besoins moyens de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (Q_{hww}) des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010 sont présentés à la Figure 2.30. Les résultats détaillés sont présentés au Tableau 2.18.

d) Besoins de chaleur pour le chauffage (Q_h)

Sur les Figures 2.30 et 2.31, on observe que les besoins moyens de chaleur pour le chauffage des bâtiments construits avant 1981 varient très peu selon l'époque de construction. Ils sont compris entre 344 MJ/m²a pour les bâtiments d'avant 1919 et 366 MJ/m²a pour ceux construits entre 1946 et 1960. On remarque aussi que les bâtiments construits entre 1946 et 1980 sont responsables de plus de la moitié (52%) des besoins de chauffage du secteur. Le pourcentage de chaque tranche d'âge est encadré sur la Figure 2.30.

Après 1980, les besoins moyens de chauffage des bâtiments diminuent progressivement au fur et à mesure de l'évolution des réglementations thermiques. Ils passent de 320 MJ/m²a pour les bâtiments de la tranche 1981-1990, à 244 MJ/m²a pour les bâtiments récents construits entre 2001 et 2010. La distribution en percentiles des besoins selon l'époque de construction des bâtiments est présentée à la Figure 2.32.

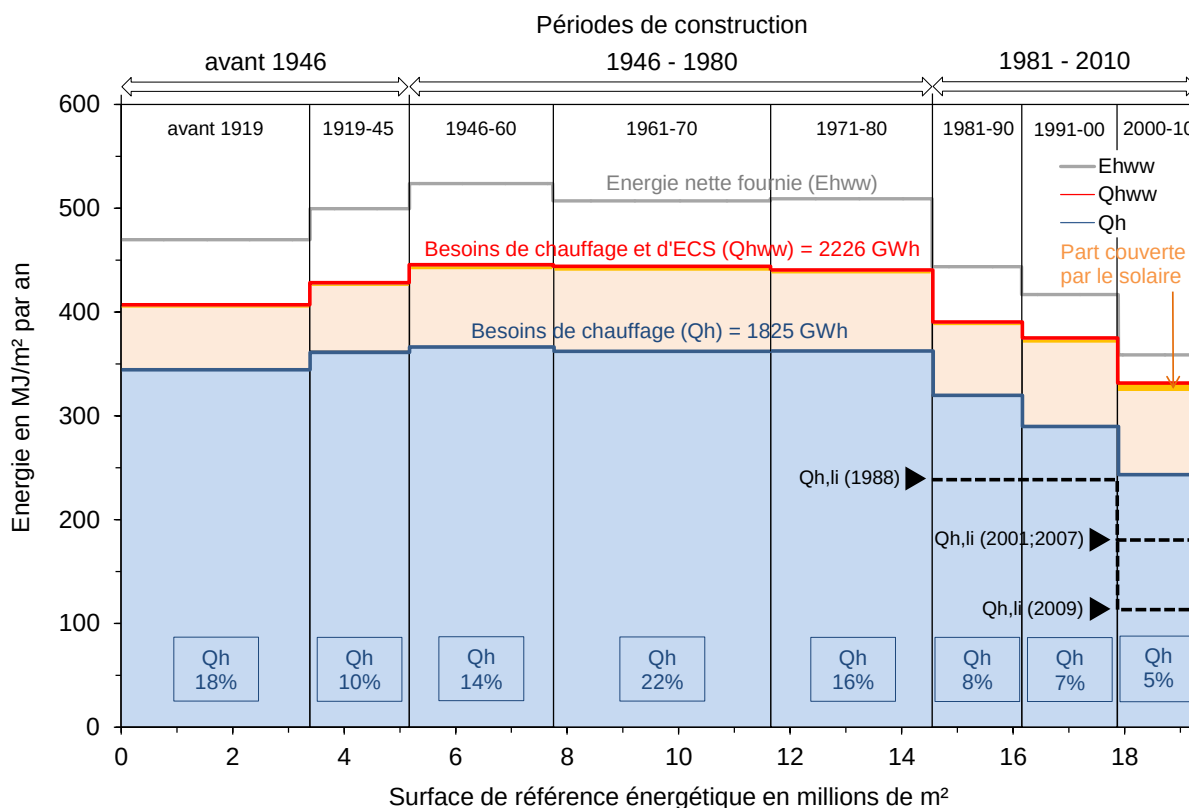
Toutefois, on observe que la performance énergétique de ces bâtiments demeure loin des valeurs limites indiquées dans les éditions 1988, 2001 et 2007 de la norme SIA 380/1 « L'énergie thermique dans les bâtiments ». La valeur limite de 2009 n'est représentée qu'à titre indicatif, car elle concerne les bâtiments construits après 2010. Il convient de préciser que les valeurs limites des besoins de chaleur pour le chauffage ($Q_{h,li}$) des bâtiments neufs ont été calculées sur la base d'un facteur d'enveloppe A_{th}/A_E de 1.3 (cf. SIA 2031, Tableau C.2). Un facteur d'enveloppe plus faible à l'instar des résultats du benchmark réalisé au point 2.4.3 aura tendance à baisser encore les valeurs limites et à augmenter l'écart entre les performances réelles et prévues. Ce point sera repris et discuté plus tard dans le chapitre 4.

e) Besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire (Q_{ww})

On constate sur la Figure 2.30 que les besoins moyens d'ECS dans les bâtiments construits avant 1946 (63 MJ/m²a) sont plus faibles que ceux observés dans les bâtiments construits après cette date (environ 80 MJ/m²a).

Deux raisons principales peuvent expliquer ceci : d'une part, les conditions d'habitation de la population peuvent être différentes selon l'époque de construction des bâtiments (personnes vivant seules dans les ménages d'avant 1946 et plus de familles qui occupent les ménages de plus de 4 pièces construits après 1946) ; d'autre part il est fort probable qu'une part significative des bâtiments édifiés avant 1946 soient situés en ville et par conséquent contiennent des surfaces non résidentielles. Dans ce cas, la demande d'ECS sera diluée sur une plus grande surface expliquant alors la différence observée.

Figure 2.30. Besoins moyens de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire en MJ/m² des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010. L'énergie produite sur site et fournie au secteur est également représentée. Le secteur regroupe 12'602 bâtiments (entièrement d'habitation et mixte) totalisant une surface énergétique SRE de 19.3 millions de m².



NB: Les valeurs limites des besoins de chaleur pour le chauffage (Qh,li) des bâtiments neufs ont été calculées avec un facteur d'enveloppe A_{th}/A_E de 1.3 (cf. SIA 2031, Tableau C.2)

Tableau 2.18. Valeurs moyennes des besoins de chaleur et des énergies produites et fournies au secteur résidentiel collectif genevois, selon l'époque de construction, en 2010. Pour la définition des nomenclatures, se référer au point 2.5.1.4.

Valeurs moyennes ¹	E_{hww}	$Q_{hww(fo)}$	Q_{sol}	Q_{hww}	Q_{ww}	Q_h
Epoqconst.	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]
avant 1919	470	406	0.3	406	62	344
1919 - 1945	499	426	0.1	427	66	361
1946 - 1960	524	444	0.9	445	79	366
1961 - 1970	507	442	0.9	443	80	363
1971 - 1980	509	438	0.7	439	77	362
1981 - 1990	444	389	0.4	389	70	320
1991 - 2000	417	373	1.0	374	85	290
2001 - 2010	359	324	6.2	331	86	244
Total	478	414	1.0	415	75	340
avant 1946	480	413	0.2	413	63	350
1946-1980	512	441	0.8	442	79	364
1981-2010	409	364	2.3	366	80	286

¹ La moyenne est le rapport de la somme des énergies par la somme des surfaces énergétiques correspondantes.

Figure 2.31. Besoins moyens de chaleur pour le chauffage en MJ/m² selon l'époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010 (valeur moyenne indiquée sur le graphique)

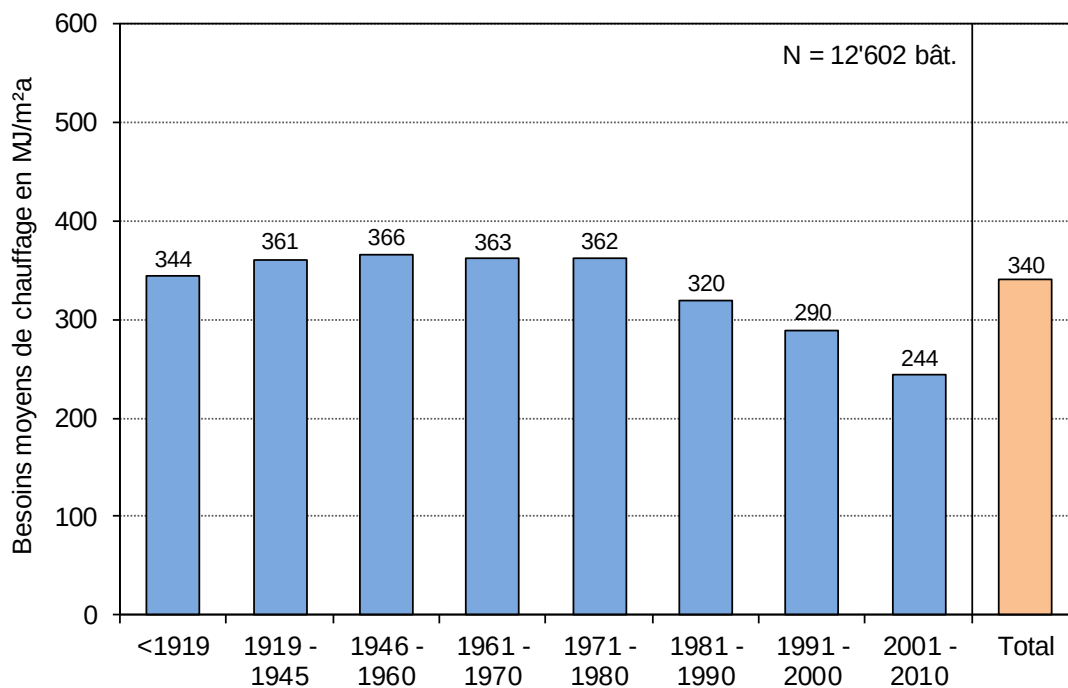
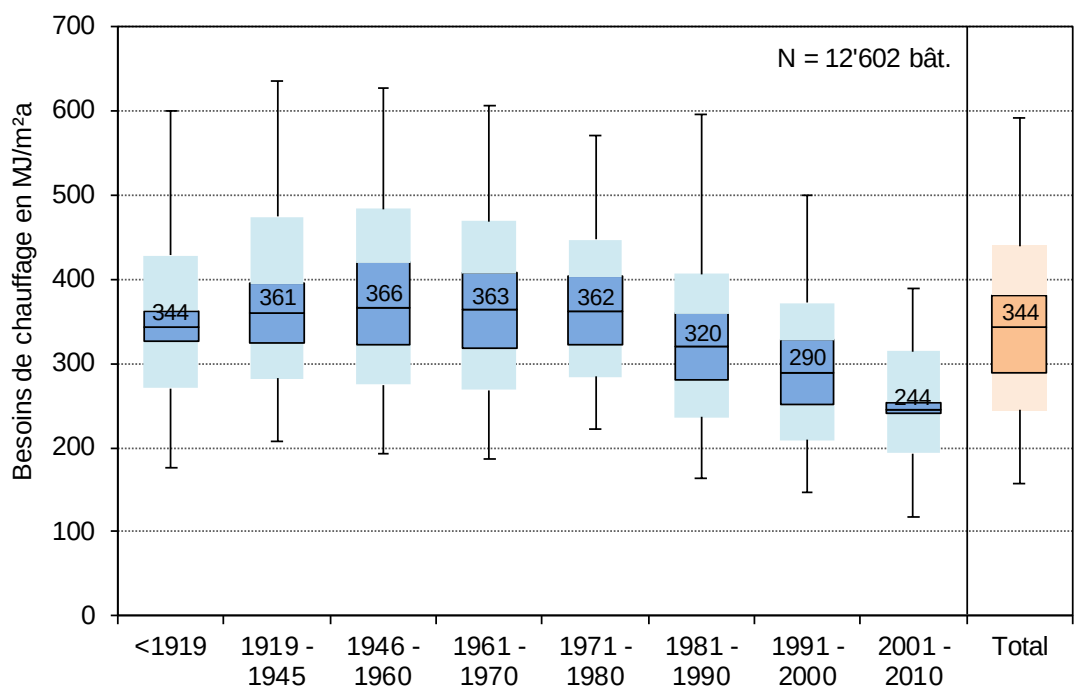


Figure 2.32. Distribution des besoins de chaleur pour le chauffage en MJ/m² selon l'époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010 (valeur médiane indiquée sur le graphique)

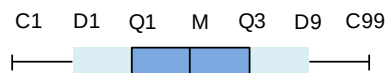


Légende

C1: premier centile ; C99 : dernier centile

D1: premier décile ; Q1 : premier quartile ; M : Médiane

Q3 : troisième quartile; D9 : neuvième décile



De manière générale, on remarque qu'au fur et à mesure que la part de l'énergie consommée par les ménages pour le chauffage diminue, la part de l'eau chaude sanitaire devient plus importante dans le bilan thermique. Nous avons identifié un certain nombre de bâtiments à très haute performance énergétique où les besoins d'eau chaude sanitaire dépassent ceux de chauffage.

Une fois les besoins en eau chaude diminués (limiteurs de débits, sensibilisation des occupants) et les pertes de stockage et de distribution maîtrisées, l'enjeu consiste à choisir des systèmes de production plus efficaces utilisant les énergies renouvelables et valorisant la chaleur fatale. L'énergie solaire, qui est rendue récemment obligatoire, contribue à diminuer l'énergie nette fournie au bâtiment pour satisfaire les besoins en eau chaude. Une autre solution consiste à récupérer la chaleur de l'eau chaude domestique soit à l'intérieur du bâtiment, soit dans le réseau d'eaux usées, soit en sortie des stations d'épurations (STEP).

Plusieurs études sur la récupération de la chaleur des eaux usées ont été réalisées ces dernières années. On cite à titre d'exemple l'étude réalisée par J.Khoury [53] pour évaluer le potentiel de récupération de la chaleur contenue dans les eaux usées pour couvrir une partie des besoins de chauffage d'un ensemble résidentiel collectif des années soixante, situé à la Jonction à Genève.

Le cœur du dispositif est constitué d'une pompe à chaleur qui élève la température de l'énergie récupérée par l'échangeur thermique intégré dans le collecteur principal d'eaux usées de la Jonction et passant au pied de l'ensemble des bâtiments à rénover. Les résultats ont montré que la ressource « eaux usées » est suffisante et que le réseau est bien positionné. Néanmoins, le paramètre clé de ce concept reste le facteur d'encrassement des échangeurs qui peut réduire considérablement le transfert de chaleur et ainsi avoir un impact significatif sur le dimensionnement et le coût de l'installation. Pour la pompe à chaleur, nous avons préconisé un dimensionnement faible, au maximum 25% de la puissance nominale de la chaufferie permettant de produire environ les 2/3 des besoins thermiques de l'ensemble.

Ce travail de recherche a été effectué en étroite collaboration avec les Services Industriels de Genève, le Service de l'énergie de la Ville de Genève et le groupe Energie de l'Université. Les conclusions soulevées à la fin de cette étude ont permis la genèse d'un projet pilote à la rue des Minoteries, à Plainpalais (GE).

2.6 Autres caractéristiques du parc genevois

2.6.1 Conservation du patrimoine bâti

Cette section est consacrée au recensement des bâtiments touchés par les différentes mesures de protection du patrimoine bâti appliquées à Genève. L'analyse porte sur l'ensemble du parc immobilier genevois, puis se concentre sur le secteur résidentiel, en particulier les bâtiments d'habitation collectifs. Enfin, les enjeux liés à la maîtrise de l'énergie dans les bâtiments sous regard de la protection du patrimoine sont discutés à la fin de cette partie.

2.6.1.1 Mesures de protection du patrimoine bâti à Genève

A Genève, plusieurs mesures légales sont utilisées pour protéger et conserver le patrimoine bâti. Ces mesures peuvent être appliquées à des échelles différentes : le territoire, les ensembles ou un édifice particulier. Parmi ces mesures, nous citons *le classement*, *l'inscription à l'inventaire*, les bâtiments soumis à un *plan de site*, à des *règlements spéciaux ou autres* (par exemple plan de zones, plan-schémas directeurs, plans localisés de quartiers, etc.), les bâtiments situés dans des *zones protégées* et les *ensembles du XIX et XXe siècles*.

A cela s'ajoutent les *objets dignes de protection* (valeurs intéressante et exceptionnelle) et les bâtiments qui méritent une conservation pour les critères évoqués par Patrimoine suisse Genève [54] :

- Exemplarité (rareté, innovation, datation, caractère d'exception)
- Intégrité (substance architecturale, matière et technique)
- Intégration (notion d'ensemble, qualité urbaine)
- Socio-culturel (valeur d'usage)
- Urgence (menace de démolition, perte de substance)

Ces différents niveaux d'exigences et d'application des mesures peuvent avoir des contraintes différentes en termes de rénovation, c'est pourquoi nous proposons d'utiliser l'expression bâtiments « touchés par des mesures de protection » au lieu de bâtiments « strictement protégés ». Ces mesures conservatoires peuvent être regroupées en quatre catégories listées ici et présentées brièvement ci-après :

- Mesures I : Bâtiments protégés (I.1 classement ; I.2 Inscription à l'inventaire)
- Mesures II : Protection des sites bâtis (II.1 Plan de site et autres instruments ; II.2 Zones 4B protégées)
- Mesure III : Ensembles bâtis du XIXe et XXe siècles
- Mesure IV : Objets dignes de protection

Mesures I. Bâtiments protégés

La catégorie des bâtiments protégés regroupe les bâtiments classés (I.1) et les bâtiments inscrits à l'inventaire (I.2). Ces bâtiments sont répertoriés dans une liste publiée par le Service des monuments et des sites (SMS).

- **I.1 Le classement** est l'instrument le plus ancien et le plus contraignant prévu par la Loi cantonal sur la protection des monuments, de la nature et des sites (LPMNS) qui vise à assurer la protection d'un monument ou d'une antiquité. Cette mesure touche

en particulier les bâtiments édifiés avant 1919. Les dispositions applicables figurent aux articles 10-18 de la LPMNS.

- **I.2 L'inscription à l'inventaire** porte sur des immeubles qui présentent un intérêt archéologique, historique, artistique, scientifique ou éducatif, dignes d'être protégés. Ces immeubles doivent être maintenus et leurs éléments dignes d'intérêt préservés. Cette mesure s'applique selon les articles 7-9 de la LPMNS et touche des immeubles datant de périodes diverses, y compris de la période 1946-1980.

Mesures II. Protection des sites bâtis

Les principales mesures destinées à garantir la sauvegarde et la mise en valeur des secteurs et zones protégées sont les suivantes :

- **II.1.a Le plan de site** détermine les mesures propres à assurer la sauvegarde ou l'amélioration d'un site méritant d'être protégé (ensembles de bâtiments existants, des sentiers pédestres, des ensembles de végétation, etc.). Il est visé par les articles 38-41 de la LPMNS. L'analyse de la couche SITG concernant les périmètres protégés du canton montre qu'il existe 29 plans de site : 4 PS naturels et 25 PS construits [9]. Seuls les plans de site construits ont été considérés dans notre étude.

Cette mesure touche plus de 2'500 bâtiments datant de périodes diverses. Notons que la Cité-satellite du Lignon édifée entre 1963 et 1971 à Vernier est protégée depuis mai 2009 par ce type de mesure (plan de site N° 29430A-540). Les plans de site portant sur les ensembles résidentiels de Budé au Petit-Saconnex et de Meyrin-Parc à Meyrin étaient en cours d'adoption et n'ont donc pas été comptabilisés.

- **II.1.b D'autres instruments** prescrivent des règles visant à conserver ou à assurer le caractère, l'harmonie ou l'aménagement de certains secteurs. Parmi les instruments appliqués aux secteurs protégés recensés dans le SITG, figurent 9 Règlements spéciaux, 4 Plans-schémas directeurs, 2 Plans localisés de quartier, 1 Plan de zone pour la Vieille-Ville et le secteur sud des anciennes fortifications [9].

Les dispositions applicables pour la Vieille-Ville et le secteur sud des anciennes fortifications sont définies aux articles 83 à 88 de la Loi sur les constructions et les installations diverses (LCI), alors que celles concernant les règlements spéciaux figurent à l'article 10 de la même loi. A cet égard, l'étude se concentre sur les règlements spéciaux ayant pour but la protection d'un quartier, comme celui de la rue du Mont-Blanc/Cornavin ou du rond-point de Rive.

- **II.2 Zones 4B protégées** : Sous réserve des dispositions de l'article 15 de la loi d'application de la loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LaLAT), les limites exactes des zones des villages protégés (4BP) sont déterminées par des plans de détail qui visent « à sauvegarder le caractère architectural et l'échelle de ces agglomérations ainsi que le site environnant ».

Deux méthodes sont possibles pour estimer le nombre de bâtiments concernés par cette mesure. On peut utiliser soit la couche SITG destinée aux zones d'aménagement « *sit_zone_amenag* », soit les données d'affectation du sol du fichier FCBL. Ces deux méthodes donnent les mêmes résultats. On recense environ 5'500 bâtiments

d'habitation situés en zone 4BP. En revanche, le Service des monuments et des sites estime d'après le dernier recensement réalisé en 2000 [10] que seule la moitié de ces bâtiments (2'821 bâtiments) seraient en effet protégés.

Mesure III. Ensembles bâtis du XIXe et XXe siècles

Sont considérés comme ensemble « les groupes de 2 immeubles ou plus en ordre contigu, d'architecture identique ou analogue, ainsi que les immeubles séparés dont l'emplacement, le gabarit et le style ont été conçus dans le cadre d'une composition d'ensemble dans le quartier ou dans la rue » (art.89, alinéa 2 de la Loi sur les constructions et les installations diverses LCI). Les ensembles dont l'unité architecturale et urbanistique est complète sont à maintenir, conformément à l'article 90, alinéa 1 de la même loi. En cas de rénovation ou de transformation, les structures porteuses, de même que les autres éléments particulièrement dignes de protection doivent, en règle générale, être sauvegardés.

Cette mesure touche les ensembles situés en dehors des périmètres de protection de la Vieille-Ville, du secteur sud des anciennes fortifications et du vieux Carouge (art.89, alinéa 1, LCI). A l'heure actuelle, le nombre précis de bâtiments touchés par cette mesure n'est pas connu, surtout que l'intérêt de la plupart des ensembles bâtis est évalué lors du dépôt de la demande d'autorisation portant sur des travaux de rénovation.

Dans sa dernière évaluation du patrimoine bâti du canton [10], le Service des monuments et des sites a estimé que le nombre de bâtiments susceptibles d'être touchés par cette mesure serait de 2'225. Cette évaluation, qui ne tient pas compte des recensements effectués après 2000, se base sur :

- III.1 *Une liste publiée* [55] qui fait part de 625 immeubles compris dans 82 ensembles résidentiels construits entre 1920 et 1960, totalisant 5'272 logements économiques à Genève. A noter que sur la période retenue, seuls 25 immeubles (sur les 625) datent d'avant la seconde guerre mondiale, la plupart des ensembles ont en fait été édifiés juste après.
- III.2 Une estimation de *1'600 bâtiments hors liste* [10] placés sous le regard de la protection du patrimoine. Nous considérons dans ce recensement que ces bâtiments font partie des grands ensembles d'habitation réalisés après-guerre. Cette estimation mérite encore d'être affinée.

Mesure IV. Objets dignes de protection

Aux mesures évoquées plus haut, s'ajoutent les objets reconnus comme étant « dignes de protection » situés hors zone protégée. Ces objets peuvent être des constructions et installations isolées ou groupées (ensembles) se distinguant soit par leur valeur propre, soit par leur valeur de situation ou leur valeur paysagère.

Le Service des monuments et des sites a recensé dans sa dernière évaluation [10], 3'298 objets qualifiés intéressants et exceptionnels (valeur 4 à HC). En l'absence d'informations explicites sur ces objets, nous avons décidé de ne pas en tenir compte dans notre analyse.

2.6.1.2 Méthodologie du recensement

Les résultats présentés ci-après ont été obtenus en compilant les données tirées du SITG avec le fichier FCBL et des estimations du Service des monuments et des sites, notamment pour les ensembles résidentiels du XIX-XXe siècles.

Pour les mesures I et II, les résultats reposent en particulier sur les données suivantes :

- Un recensement des bâtiments classés (I.1) et des bâtiments inscrits à l'inventaire (I.2) réalisé par Tschopp [9] en utilisant les couches « *dps_classement* » et « *dps_inventaire* » du système d'information du territoire à Genève (SITG).
- Un recensement des bâtiments soumis aux plans de sites construits (II.1.a) et ceux concernés par d'autres instruments légaux (II.1.b) réalisé par Tschopp [9] en utilisant la couche « *dps_secteurs_protégés* » du SITG.
- Une extraction du fichier FCBL des bâtiments situés en zone 4B protégée (II.2).

Afin de connaître les caractéristiques physiques et énergétiques des bâtiments touchés par ces mesures conservatoires, les données recensées sont jointes aux fichiers FCBL et Energie à l'aide de l'identifiant fédéral des bâtiments (EGID). Ceci nous a permis de se renseigner sur l'époque de construction, le type de bâtiments, le nombre de logements, la surface énergétique SRE et les besoins estimés de chauffage.

Ensuite, il se trouve que certains bâtiments sont touchés par plusieurs mesures à la fois. C'est le cas par exemple d'un bâtiment inscrit à l'inventaire et situé au centre d'un village dans une zone 4B protégée. Pour éviter les comptages multiples, nous présentons dans les tableaux suivants le bilan (I+II) sans redondance, comptabilisé donc en nombre de bâtiments touchés par au moins une mesure de protection.

Pour les ensembles résidentiels du XIX et XXe siècles (mesure III), nous nous sommes référés tout d'abord à la liste publiée dans l'étude [55], qui fait part de 625 immeubles recensés (5'272 logements) construits à Genève entre 1920 et 1960.

Selon cette étude, « les logements sont relativement de petite taille, moins de 83 m² par appartement en moyenne ». La surface de référence énergétique des bâtiments a été estimée à partir du nombre de logements recensés (5'272 logements) et d'une surface résidentielle moyenne de 80 m² par logement, multipliée par 1.245 (cf. 2.4.1.3) pour tenir compte des surfaces de construction et des parties communes. Au total, la surface énergétique des 625 bâtiments répertoriés est estimée à 527'200 m². Sur la période étudiée (1920-1960), on compte 600 bâtiments construits entre 1946 et 1960, comprenant 5'007 logements. Leur surface énergétique SRE estimée est près de 500'000 mètres carrés. Le reste (6 ensembles, 25 allées, 265 logements) date d'avant la Seconde Guerre mondiale.

A cela s'ajoutent 1'600 bâtiments hors liste recensés à fin 2000 par le service des monuments et des sites [10]. Leur surface énergétique a été estimée en utilisant la SRE moyenne des immeubles résidentiels collectifs de l'époque 1946-1980. Néanmoins, le recensement non complet des ensembles dignes d'être conservés ne permet pas à l'heure actuelle de déterminer les caractéristiques physiques et énergétiques de ces bâtiments.

2.6.1.3 Taux de protection

Le Tableau 2.19, présenté à la page suivante, contient les principaux résultats du recensement du patrimoine bâti à Genève. Les résultats concernant le parc immobilier et le secteur résidentiel sont présentés brièvement ci-après. L'accent est ensuite mis sur le secteur résidentiel collectif qui fait l'objet d'une analyse détaillée dans ce chapitre.

a) Taux de protection du parc immobilier genevois (tous secteurs confondus)

Il ressort de notre analyse que le quart (25%) du parc immobilier genevois recensé dans le fichier FCBL est touché par au moins une des mesures (I à III) de protection du patrimoine bâti (cf. 2.6.1.1). Le nombre de bâtiments concernés par ces mesures s'élève à 11'564 sur un total de 47'139 bâtiments (tous secteurs confondus, cf. 2.3.1). La deuxième colonne du Tableau 2.19 montre la répartition selon les mesures conservatoires. Si on tient compte des 3'298 objets dignes de protection (mesure IV), le pourcentage protégé du parc peut passer du quart au tiers (32%).

Ces résultats sont assez proches de ceux obtenus par une étude précédente [9] sur l'évaluation du taux de protection à Genève de l'ensemble des bâtiments et des objets recensés dans le SITG (au total près de 81'000). Par objet, on entend ici les bâtiments de moins de 20 m² au sol, les dépendances, les garages des maisons individuelles, etc. non compris dans le fichier FCBL, qui diffère du sens donné par le SMS aux objets dignes de protection. Les résultats présentés à la première colonne du Tableau 2.19 montrent que le taux de protection sur le canton atteint 26%, en considérant les objets dignes de protection.

On peut donc conclure qu'au moins 25% du parc immobilier recensés dans le fichier FCBL, ainsi que de l'ensemble des bâtiments et des objets recensés dans le SITG, sont touchés par des mesures de protection du patrimoine à Genève.

b) Taux de protection du parc résidentiel

Le parc résidentiel regroupe les bâtiments exclusivement à usage d'habitation et les bâtiments mixtes (avec usage annexe), y compris les maisons individuelles et les maisons à deux logements (cf. 2.3.1).

La proportion de bâtiments d'habitation touchés par au moins une des mesures (I à III) de protection du patrimoine bâti s'élève à 26% (10'336 sur un total de 39'987 bâtiments). Cette proportion est très proche des 25% obtenus pour la totalité du parc immobilier genevois. Près de 4/5 des bâtiments sont protégés par les mesures I et II ; le reste (21%) fait partie des ensembles bâtis des XIX-XXe siècles dignes d'être sauvegardés. Ces résultats sont présentés dans la troisième colonne du Tableau 2.19.

Quant à la part de logements dignes d'être protégés à Genève, elle est estimée à 29% (se référer à la 7ème colonne du Tableau 2.19). On recense ainsi 62'480 logements protégés par au moins une des mesures I à III. La proportion de logements touchés par les mesures I et II représente ici 43%, le reste est situé dans les ensembles bâtis à conserver des XIX-XXe siècles (environ 35'000 sur un total de 62'500 logements protégés).

Tableau 2.19. Tableau récapitulatif des bâtiments touchés par des mesures de protection du patrimoine à Genève

Mesures de protection du patrimoine bâti à Genève (situation à fin 2010)	Tous secteurs confondus (Objets & Bât., SITG (II))	Secteur résidentiel (Bâtiments d'habitation, cf. 2.3.1)				Secteur résidentiel collectif			
		Bât. Tot	Bât. à1log.	Bât. à2log.	Bât. à3log.	Log. Tot	Bât. à3log.	Logements	SRE [m²] (2)
I. BATIMENTS PROTEGES									
I.1. Bâtiments classés	[a]	358	163						
I.2. Bâtiments inscrits à l'inventaire	[b]	891	449						
→ BILAN (I)	1'249	612	574	353	78	143	143	1'045	149'493
II. PROTECTION DES SITES BATIS									
II.1. Secteurs protégés	[c]	8'129	5'094						
II.1.a. Plan de site		2'777	1'640						
II.1.b. Autres instruments légaux (1)		5'352	3'454						
II.2. Zones 4B protégées	[d]	9'641	6'043						
→ BILAN (II)	17'770	11'137	9'790	6'201	859	2'730	2'730	22'742	2'917'344
→ BILAN (I+II) avec redondance	19'019	11'749	10'364	6'554	937	2'873	2'873	23'787	3'066'837
→ BILAN (I+II) sans redondance	15'315	9'339	8'131	5'031	727	2'366	2'366	20'295	2'591'982 (3)
III. ENSEMBLES des XIX-XXe siècles (situés en dehors des périmètres de protection)									
III.1. Liste publiée (1920-1960)	[e]	625	625	0	0	625	625	5'272	527'200 (4)
III.2. Estimation SMS hors liste	[f]	1'600	1'600	0	0	1'600	1'600	30'400	2'862'400 (5)
→ BILAN (III)	2'225	2'225	2'225	0	0	2'225	2'225	35'672	3'389'600
TOTAL (I, II & III) BATIMENTS TOUCHES PAR DES MESURES DE PROTECTION DU PATRIMOINE									
Bilan protégé (I+II+III, sans redondance)	17'540	11'564	10'356	5'031	727	4'591	4'591	55'967	5'981'582
Total recensé dans le SITG / FCBL	81'313	47'139	39'987	25'162	2'223	12'602	12'602	185'155	19'299'548
Pourcentage protégé (Bilan I+II+III)	22%	25%	26%	20%	33%	36%	36%	30%	31%
IV. OBJETS DIGNES DE PROTECTION									
(hors zone protégée, recensement : valeurs exceptionnelles et intéressante)	[g]	3'298	3'298	-	-	-	-	-	-
Pourcentage protégé (Bilan I+II+III+IV)	26%	32%	-	-	-	-	-	-	-

Source de données:

[a] Recensement réalisé en utilisant la couche du SITG "aps_classement" (Source : Tschopp, 2012; 4.3.1)

[b] Recensement réalisé en utilisant la couche du SITG "aps_inventaire" (Source : Tschopp, 2012; 4.3.2)

[c] Recensement réalisé en utilisant la couche du SITG "aps_secteurs_protégés" (Source : Tschopp, 2012; 4.3.4)

[d] Recensement réalisé en utilisant la couche du SITG "sit_zone_amenag" et le fichier FCBL (zone d'aménagement 4BP)

[e] Recensement des logements économiques construits à Genève entre 1920 et 1960 (DCTI & DT, 2007) et Evaluation du patrimoine bâti du canton de Genève, communiquée par M. Lovisa (OPS, 2012)

[f] Evaluation du patrimoine bâti du canton de Genève, communiquée par M. Lovisa (OPS, 2012)

[g] SITG: Le système d'information du territoire à Genève (http://ge.ch/sitg)

[h] FCBL: Le fichier cantonal des bâtiments, des logements et des surfaces non résidentielles

Notes:

(1) Autres instruments regroupant 9 Règlements spéciaux, 4 Plans-schémas directeurs, 2 Plans localisés de quartier PLQ, 1 Plan de zone (Vieille Ville et secteur sud des anciennes fortifications).

(2) Pour l'estimation de la SRE des bâtiments, se référer au point 2.4.1 de ce chapitre.

(3) Etant donné qu'un bâtiment peut être touché à la fois par plusieurs mesures de protection, le bilan présenté ici donne les résultats sans redondance, c.à.d. en évitant les comptages multiples.

(4) La SRE des ensembles répertoriés (1920-1960) a été estimée à partir du nombre de logements répertoriés (5'272) et d'une surface utile moyenne de 80m² par logement (DCTI & DT, 2007)

majorée de 1.245 pour obtenir la SRE (SRE = 1.245*Sres, cf.2.5.1.3), soit 100 m² SRE/logement

(5) SRE estimée en utilisant la SRE moyenne des bâtiments de l'époque 1946-1980 (cf. 2.4.2)

Les résultats par type de bâtiments d'habitation sont présentés aux colonnes 4 à 6 du Tableau 2.19. On constate que le pourcentage protégé des immeubles à trois logements et plus s'élève à 36% et dépasse ainsi celui des maisons à deux logements (33%) et celui des maisons individuelles (20%). Enfin, les dernières colonnes du tableau fournissent plus de détails sur les bâtiments, les logements et les surfaces énergétiques protégées du secteur résidentiel collectif. Les résultats seront présentés et discutés au point suivant.

c) Taux de protection du parc résidentiel collectif

La répartition des bâtiments résidentiels collectifs genevois (à 3 logements et plus) touchés par les mesures I à III de protection du patrimoine est présentée en fonction de l'époque de construction dans le Tableau 2.20. La partie inférieure du tableau présente aussi par époque de construction le taux de protection des bâtiments, des logements et des surfaces énergétiques du secteur.

Tableau 2.20. Répartition par époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs genevois touchés par les mesures I à III de protection du patrimoine. Les taux de protection des bâtiments, des logements et des surfaces énergétiques du secteur sont présentés par époque de construction dans la partie inférieure du tableau.

Mesures de protection du patrimoine bâti à Genève (situation à fin 2010)	Secteur résidentiel collectif par époque de construction						TOTAL
	avant 1919	1919-1945	1946-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	
I. BATIMENTS PROTEGES							
I.1. Bâtiments classés	50	3	3	2	0	0	58
I.2. Bâtiments inscrits à l'inventaire	49	7	25	4	0	0	85
→ BILAN (I)	99	10	28	6	0	0	143
II. PROTECTION DES SITES BATIS							
II.1. Secteurs protégés	663	140	522	91	55	86	1'557
II.1.a. Plan de site	250	78	192	28	12	20	580
II.1.b. Autres instruments légaux (1)	413	62	330	63	43	66	977
II.2. Zones 4B protégées	272	39	466	143	137	116	1'173
→ BILAN (II)	935	179	988	234	192	202	2'730
→ BILAN (I+II) avec redondance	1'034	189	1'016	240	192	202	2'873
→ BILAN (I+II) sans redondance	882	164	806	192	158	164	2'366
III. ENSEMBLES des XIX-XXe siècles (situés en dehors des périmètres de protection)							
III.1. Liste publiée (1920-1960)	0	25	600	0	0	0	625
III.2. Estimation SMS hors liste	0	0	1'600	0	0	0	1'600
→ BILAN (III)	0	25	2'200	0	0	0	2'225
TOTAL (I, II & III, sans redondance) TOUCHES PAR DES MESURES DE PROTECTION (2)							
Nombre de bâtiments touchés [-]	882	189	3'006	192	158	164	4'591
Taux de bâtiments touchés	34%	16%	57%	19%	12%	14%	36%
Nombre de logements touchés [-]	6'569	1'981	44'385	1'190	917	925	55'967
Taux de logements touchés	22%	11%	44%	10%	6%	9%	30%
Surfaces énergétiques touchées [m²]	998'785	255'275	4'295'601	179'460	109'836	142'625	5'981'582
Taux de SRE touchées	29%	14%	46%	11%	6%	10%	31%

(1) Autres instruments regroupant 9 Règlements spéciaux, 4 Plans-schémas directeurs, 2 Plans localisés de quartier PLQ, 1 Plan de zone (Vieille Ville et secteur sud des anciennes fortifications).

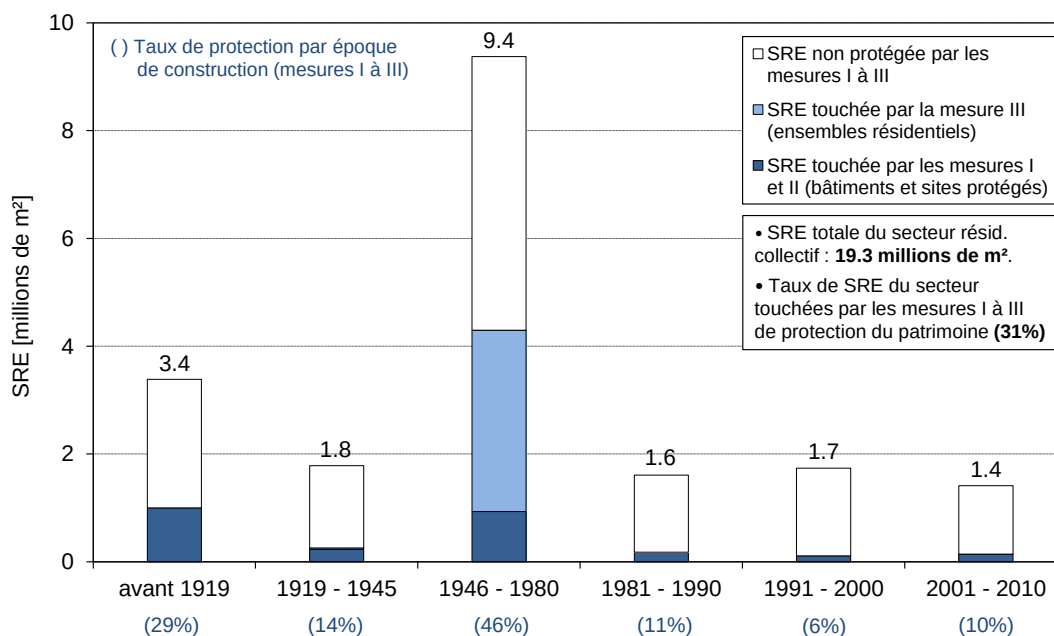
(2) Bilan sans tenir compte des 3'258 objets dignes de protection (hors zone protégée, recensement valeurs exceptionnelle et intéressante).

Les résultats montrent que **la proportion de bâtiments résidentiels collectifs touchés par au moins une des mesures (I à III) de protection du patrimoine s'élève à 36%** (4'591 sur un total de 12'602 bâtiments). Cette proportion est plus élevée que celle du secteur résidentiel (26%) et que celle de la totalité du parc immobilier genevois (25%). Près de la moitié des bâtiments protégés (52%) le sont par les mesures I et II ; le reste fait partie des ensembles bâtis des XIX-XXe siècles (mesure III). **Le taux de protection des logements et des surfaces énergétiques du secteur résidentiel collectif s'élève respectivement à 30% et 31%. On compte 55'967 logements protégés totalisant près de 6 millions de m² de plancher chauffé.**

En ce qui concerne la date de construction, on remarque que plus de la moitié des bâtiments protégés du secteur résidentiel collectif (57%, 3'006 bâtiments) ont été construits entre 1946 et 1980. Les bâtiments de cette tranche d'âge touchés par les mesures I et II ne représentent ici qu'environ un quart (27%, 806 bâtiments). Le reste (73%, 2'200 bâtiments) fait partie des ensembles bâtis du XXe siècle dignes d'être protégés.

En termes de surfaces énergétiques, on constate sur la Figure 2.33 que la part la plus importante de SRE protégée dans ce secteur se trouve dans les bâtiments édifiés entre 1946 et 1980. Le taux de protection de cette tranche s'élève à 46%. La surface énergétique protégée est estimée à 4.3 millions de m² et se répartit comme suit : 3.4 millions de m² (36%) sont comprises dans des ensembles bâtis à conserver du XXe siècle (mesure III), le reste 10% (0.9 millions de m²) est touché majoritairement par la mesure II (site protégée).

Figure 2.33. Répartition par époque de construction des surfaces énergétiques touchées et non touchées par les mesures de protection du patrimoine I à III (se référer au point 2.6.1.1) du secteur résidentiel collectif à Genève



Il convient par ailleurs de préciser que les bâtiments construits après 1980 et touchés par les mesures de protection sont essentiellement des bâtiments édifiés au centre des villages ruraux dans des zones 4BP ou dans des secteurs soumis à des règles précises de conservation (cf. Tableau 2.20).

La protection des bâtiments d'après-guerre (1946-1980) est donc de type préventif portant sur un site donné ou sur des ensembles bâtis dignes d'être protégés. Le recensement de ces bâtiments par le Service des monuments et des sites est loin d'être achevé et continue d'être réalisé au cas par cas. L'évaluation des 1'600 bâtiments hors listes mérite d'être affinée et complétée par les objets qualifiés intéressants et exceptionnels (mesure IV). Sur le plan énergétique, le défi majeur consiste aujourd'hui à réussir la rénovation de ces ensembles résidentiels, construits avant l'introduction des premières réglementations thermiques, et qui arrivent simultanément en période de rénovation.

Se pose alors la question de savoir comment concilier les exigences énergétiques et celles de conservation du patrimoine bâti ? Faut-il protéger tous les ensembles bâtis recensés ou vaut-il mieux sélectionner quelques ensembles représentatifs à conserver ? Lesquels choisir et combien de temps faut-il pour le réaliser ? Comment compenser le potentiel d'économie d'énergie non mobilisable de ces ensembles, et à quelle échelle faut-il le faire (celle du bâtiment, du quartier, de la commune ou du canton) ?

2.6.1.4 Enjeux énergétiques liés à la rénovation des bâtiments résidentiels collectifs touchés par les mesures de protection

Pour mieux comprendre et identifier ces enjeux, nous avons tout d'abord comparé les besoins estimés de chauffage des bâtiments touchés par les mesures I et II de protection de patrimoine avec ceux de la globalité du secteur résidentiel collectif. Les résultats sont présentés dans le Tableau 2.21. Les ensembles bâtis (mesure III) n'ont pas été considérés puisque nous ne disposons à ce jour que d'une estimation grossière du nombre de bâtiments touchés par cette mesure. Les enjeux liés à la rénovation de ces bâtiments seront donc discutés à partir de l'exemple de la Cité du Lignon.

Tableau 2.21. Comparaison des besoins moyens de chauffage ($Q_{h\text{moy}}$) en 2010 des bâtiments touchés par les mesures de protection I et II avec ceux du secteur résidentiel collectif genevois

Epoque de construction	Bâtiments touchés par les mesures I et II		Total secteur résidentiel collectif	
	Nombre de bâtiments [-]	Besoin moyen de chauffage $Q_{h\text{moy}}$ [MJ/m²a]	Nombre de bâtiments [-]	Besoin moyen de chauffage $Q_{h\text{moy}}$ [MJ/m²a]
avant 1919	882	337	2'623	344
1919 - 1945	164	345	1'208	361
1946 - 1980	806	367	5'240	364
1981 - 1990	192	343	995	320
1991 - 2000	158	299	1'349	290
2001 - 2010	164	244	1'187	244
TOTAL	2'366	342	12'602	341

On constate que les besoins moyens de chauffage en 2010 des bâtiments touchés par les mesures I et II de protection de patrimoine semblent être très proches de ceux du secteur résidentiel collectif. Ce constat est valable pour toutes les catégories d'âge.

Ce résultat, à priori non attendu, pourrait s'expliquer d'une part par le faible taux de rénovation énergétique des bâtiments existants du secteur (la performance énergétique des rénovations n'étant pas perceptible à ce jour); d'autre part par le fait que la proportion de bâtiments « strictement » protégés (mesure I) est relativement faible comparée à celles des bâtiments situés dans des secteurs protégés (leurs besoins seraient probablement dilués). Seule une étude plus approfondie menée sur des échantillons plus restreints permettrait de confirmer et de mieux comprendre ce résultat.

Bien que la performance énergétique de ces bâtiments semble être proche de la moyenne du secteur, **l'enjeu se situe principalement dans le potentiel d'économie d'énergie à mobiliser et le surcoût à payer**. Or, on a vu dans la partie précédente que les bâtiments d'après-guerre, qui recèlent le plus grand potentiel d'économie d'énergie de chauffage, sont les plus touchés par les mesures de protection. Près du tiers des surfaces énergétiques du secteur résidentiel collectif, construites entre 1946 et 1980 à Genève, sont comprises dans des ensembles bâtis dignes d'être protégés (mesure III).

Parmi les ensembles résidentiels genevois bien documentés, nous présentons ci-après l'exemple de la Cité satellite du Lignon construite en périphérie urbaine dans les années soixante et protégée depuis 2009 par un plan de site (cf. Figure 2.38). Ces bâtiments sont donc touchés à la fois par la mesure III (ensembles bâtis) et la mesure II.1a (plan de site n° 29430 A-540) qui a pour but « d'assurer la protection de l'ensemble du site du Lignon pour ses qualités urbanistiques, architecturales, paysagères et naturelles ».

Construite en bordure de Rhône à environ 5 km du centre de la ville de Genève, la cité du Lignon comprend 2'780 logements totalisant une surface énergétique SRE de 286'000 m². Cet ensemble est connecté au réseau de chauffage à distance à haute température (110°C) du Lignon (100% gaz en 2010). En attendant que le niveau de température du réseau baisse dans les années à venir, le principal domaine d'intervention consiste aujourd'hui à améliorer la performance thermique de l'enveloppe des bâtiments de manière à conserver d'une part la qualité architecturale et le caractère unitaire des 125'000 m² de façades-rideaux et à respecter d'autre part les exigences en matière d'économies d'énergie.

Figure 2.34. Vue d'ensemble de la Cité satellite du Lignon construite dans les années soixante en périphérie de la Ville de Genève et protégée depuis 2009 par un plan de site. Les allées n°20 à 24 sont représentées à droite de la figure



A cet égard, une étude architecturale et énergétique des enveloppes de la Cité du Lignon a été menée par le laboratoire des Techniques et de la Sauvegarde de l'Architecture Moderne TSAM de l'EPFL-ENAC [28] en collaboration avec le professeur Willi Weber du groupe Energie de l'Institut des sciences de l'environnement de l'Université de Genève.

Cette étude vise à étudier les caractéristiques architecturales du bâtiment existant et à définir des interventions possibles sur l'enveloppe qui seraient en accord avec les valeurs patrimoniales et les exigences énergétiques. La complexité réside principalement dans la difficulté d'effectuer la pesée des intérêts entre la protection du patrimoine qui relève d'un aspect *qualitatif* (valeurs de témoignage, urbanistiques, d'unicité et d'usage, et concepts de réversibilité des interventions et d'intégration) et les exigences en matière d'économies d'énergie qui sont plutôt d'ordre *quantitatif* (valeurs limites et cibles des besoins de chauffage, objectifs chiffrés de réduction, etc.).

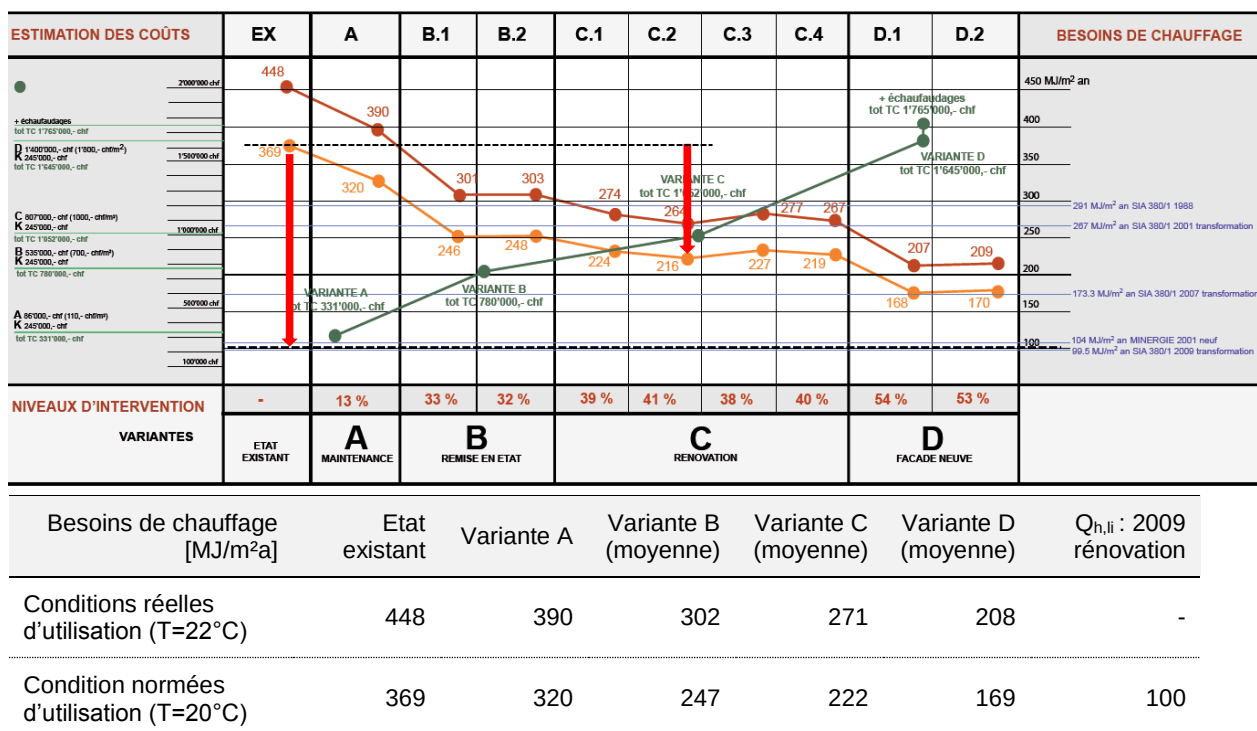
Dans ce contexte, l'étude menée par le TSAM propose quatre variantes principales pour intervenir sur les façades-rideaux de la Cité du Lignon :

- Variante A (maintenance) : nettoyage des surfaces des éléments de façade sans démontage, amélioration de l'étanchéité air/eau de la façade par le remplacement des cordons d'étanchéité des panneaux et des fenêtres existants, et réparation ou remplacement localisé du mécanisme oscillo-battant si nécessaire.
- Variante B (remise en état) : maintien de la couche extérieure de la façade avec des interventions ciblées sur la face intérieure, remplacement des vitrages simples intérieurs des doubles-fenêtres existantes et de la paroi intérieure des loggias par des verres isolants posés par parcloses à recouvrement avec adaptation des battues en bois, remplacement des stores à lamelles des fenêtres et isolation en applique des parties opaques. A cela s'ajoutent les travaux décrits dans la variante A.
- Variante C (rénovation) : remplacement des ouvrants des fenêtres en bois/alu tout en gardant les sections apparentes existantes et isolation intérieure des allèges et des panneaux. Le principe de double fenêtre avec stores intégrés est maintenu, de même que les matériaux d'origine et les proportions des profilés. Les vitrages simples des loggias sont remplacés par des verres isolants avec maintien des châssis en bois. A cela s'ajoutent les travaux décrits dans la variante A.
- Variante D (façade neuve) : remplacement à l'identique de l'ensemble des façades-rideaux en bois/métal, des menuiseries et des vitrages de la paroi intérieure des loggias, tout en respectant les prescriptions du plan de site.

Ces variantes d'intervention présentées sur la Figure 2.35 sont accompagnées de travaux généraux, intitulés travaux K, qui consistent à isoler le rez-de-chaussée, les galeries, les balcons, l'attique et la toiture des bâtiments.

La Figure 2.35 présente, sur l'axe vertical secondaire, les besoins de chauffage simulés avec une température ambiante de 22°C (conditions réelles d'utilisation) et de 20°C conformément à la norme SIA 380/1. L'axe vertical principal présente une estimation des coûts de chaque variante en CHF toutes taxes comprises. Les coûts englobent les coûts d'intervention sur la façade-rideau et sur les éléments opaques (toiture, terrasse, coursives et plancher) ainsi que le coût des échafaudages pour la variante D, sans compter les honoraires des architectes et des mandataires. L'indication des variantes (A à D) ainsi que des niveaux d'intervention sont présentés sur l'axe horizontal.

Figure 2.35. Synthèse des différentes variantes proposées pour l'amélioration thermique de l'enveloppe de l'immeuble n°22 (SRE = 2'919 m²) de la Cité satellite du Lignon à Genève [28]



Le Tableau 2.22 récapitule les économies d'énergie annuelles des quatre variantes, estimées en conditions réelles d'utilisation par rapport à l'état existant, pour l'immeuble n°22 et pour l'ensemble de la Cité du Lignon. Il donne aussi les coûts des variantes par mètre carré de surface énergétique, comme indiqués dans l'étude [28].

Tableau 2.22. Récapitulatif des économies d'énergie de chauffage des différentes variantes estimées en conditions réelles d'utilisation pour l'immeuble n°22 et pour l'ensemble de la Cité du Lignon. Les coûts concernent les travaux sur l'enveloppe et sont exprimés en CHF TTC/m²_{SRE}.

	Economie d'énergie pour l'immeuble n°22 (SRE= 2919 m ²) [MWh/a]	Economie d'énergie pour la Cité du Lignon (SRE= 286'000 m ²) [MWh/a]	Coût des interventions sur l'enveloppe (y compris travaux K) [CHF TTC/m ² _{SRE}]
Variante A (maintenance)	47	4'592	113
Variante B (remise en état)	118	11'558	267
Variante C (rénovation)	144	14'052	360
Variante D (remplacement)	195	19'000	605

On peut remarquer tout d'abord sur la Figure 2.35 qu'aucune des variantes proposées pour l'amélioration thermique de cet ensemble protégé du XXe siècle ne permet d'atteindre la valeur limite de 100 MJ/m² par an de la norme SIA 380/1:2009 pour la rénovation. Ensuite, le remplacement complet des façades (variante D) a été écarté dès le début par le Service des monuments et des sites, malgré le fort potentiel d'économie d'énergie qui peut en découler (195 MWh/a pour l'immeuble n°22 et 19 GWh/a pour l'ensemble de la Cité). Cette variante, qui permet une fois réalisée de réduire d'environ 5% les besoins de chauffage en 2010 de

l'ensemble des immeubles résidentiels de cette époque (1961-1970) à Genève, semble ne pas être compatible avec le règlement du plan de site.

D'après le Service des monuments et des sites, les variantes intermédiaires B et C offrent par ailleurs un bon compromis entre les exigences en matière de patrimoine et d'énergie. Elles répondent également aux recommandations destinées à la rénovation des ensembles bâtis qui méritent d'être protégés. Ces variantes permettent de conserver l'unicité de l'ensemble et de respecter le principe de réversibilité des interventions, puisque que les travaux sont réalisés depuis l'intérieur.

Sur le plan économique, le comité central du Lignon CCL qui représente les 173 propriétaires de la Cité évoque le rapport défavorable entre le coût des travaux et les économies d'énergie engendrées. Selon la même étude, le coût de la variante D (605 CHF/m²) atteint presque le double de la variante C (360 CHF/m²) pour des économies d'énergie supplémentaires de 35%. Le surcoût entre ces deux variantes s'élève pour l'ensemble de la Cité à près de 69 millions de CHF. L'investissement nécessaire pour réaliser les travaux de la variante D est de 172 millions, contre 103 millions de CHF pour la variante C.

On note toutefois que le coût unitaire de la variante D reste inférieur au coût moyen observé sur les opérations de rénovation de cette ampleur (rénovation quasi-complète ou complète de l'enveloppe, mais sans contraintes patrimoniales) analysées au point 4.5, et qui s'élève à 875 CHF/m²_{SRE} (coût des travaux d'entretien et à plus-values). Le montant élevé des investissements nécessaires à la rénovation de cet ensemble est principalement dû à l'effet de taille (286'000 m² de surface énergétique).

Sur le plan énergétique, la demande réelle de chaleur (chauffage et ECS) des allées n°20 à 24, calculée sur la base des relevés de consommation de la sous-station, est de 522 MJ/m²a (moyenne 2003-2008). Cette valeur est supérieure au besoin moyen de chaleur des bâtiments construits dans les années soixante, et qui atteint 443 MJ/m²a en 2010 (cf. Tableau 2.18). En considérant une demande d'ECS de 80 MJ/m²a, l'étude estime les besoins en chauffage de l'immeuble n°22 à 442 MJ/m²a, ce qui est assez proche de la valeur (448 MJ/m²a) simulée avant travaux dans des conditions réelles d'utilisation (cf. Figure 2.35).

Si l'on définit le *potentiel normé* d'économie d'énergie comme la différence entre le besoin de chauffage calculé avant travaux dans des conditions normées d'utilisation et la valeur limite SIA 380/1:2009 pour la rénovation (cf. 4.5.3.1 du chapitre 4), ce potentiel s'élève à 21.3 GWh/a (77 TJ/a) pour l'ensemble de la Cité du Lignon. **Mobiliser ce potentiel nécessite de réduire les besoins de chauffage de cet ensemble de 73% (-269 MJ/m²a).**

La rénovation de la Cité du Lignon selon la variante C (en accord avec les valeurs patrimoniales) permet une réduction des besoins de chauffage de 40% seulement (-148 MJ/m²a, calculés toujours dans des conditions normées d'utilisation). **Le potentiel mobilisable d'économie d'énergie n'atteint alors que 11.7 GWh/a (42 TJ/a), soit près de la moitié (55%) du potentiel total d'économie d'énergie normée (21.3 GWh/a).** En reprenant ce raisonnement avec les besoins réels en chauffage au lieu des besoins normés avant travaux, le potentiel mobilisable d'économie de chauffage n'atteint que 51% du potentiel total, appelé par la suite potentiel théorique (cf. définitions au point 4.5.3.1).

A ce stade de l'analyse et en tenant compte des pratiques actuelles des services de protection du patrimoine et de l'énergie, **on peut admettre que seulement la moitié du potentiel total d'économie d'énergie de chauffage est mobilisable, lorsqu'on veut rénover des immeubles faisant partie d'ensembles bâtis du XXe siècle et/ou protégés par des plans de site.**

L'enjeu réside principalement dans le potentiel d'économie d'énergie non mobilisable des ensembles résidentiels dignes d'être protégés, construits entre 1946 et 1980, et qui arrivent aujourd'hui en période de rénovation. D'après le recensement réalisé dans cette partie, leur surface énergétique s'élève à 3.4 millions de m² et constitue environ un tiers (36%) de la SRE totale des immeubles d'habitation de cette tranche d'âge.

2.6.1.5 Conclusions

La maîtrise de l'énergie dans le patrimoine bâti digne d'être protégé est une problématique récente et complexe qui mérite d'être traitée et approfondie dans le cadre d'un travail spécialement dédié. Son traitement nécessite des personnes qualifiées avec un double profil énergétique et architecte-historien, rare à l'heure actuelle.

Le recensement effectué dans cette partie a révélé que les proportions touchées par les mesures de protection du patrimoine I à III (bâtiment, périmètre et ensembles) à Genève sont de :

- 25% pour le parc immobilier genevois recensé dans le fichier FCBL ;
- 26% pour l'ensemble des bâtiments et des objets recensés dans le SITG (y compris mesure IV : objets dignes de protection à valeurs intéressante et exceptionnelle) ;
- 26% pour les bâtiments du secteur résidentiel (10'336 bâtiments) ;
- 36% pour les bâtiments du secteur résidentiel collectif (4'591 bâtiments) ;
- 31% pour les surfaces énergétiques du secteur résidentiel collectif (6 millions de m²)

Il convient de rappeler que ces bâtiments ne sont pas tous strictement protégés, et qu'il est possible d'améliorer leur performance énergétique, sous réserve du respect de certaines conditions qui dépendent du niveau de conservation du patrimoine.

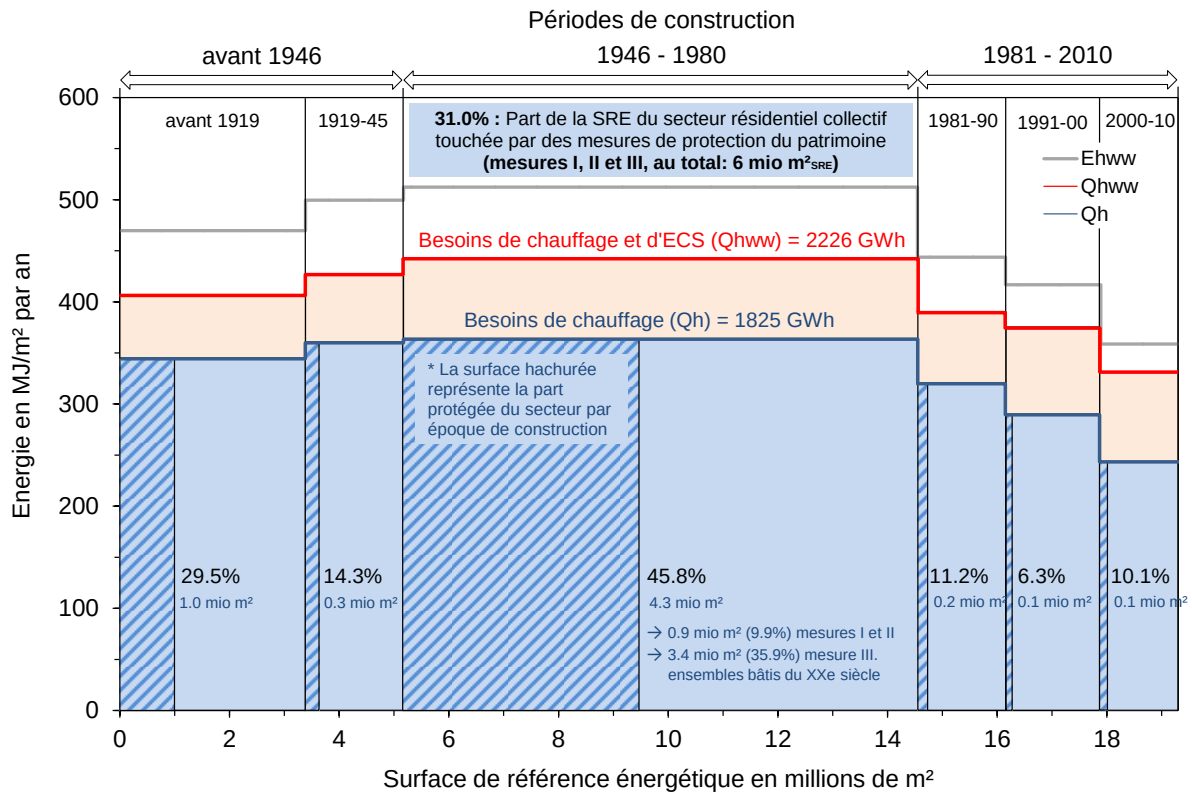
Ainsi sur les 6 millions de m² du secteur, 57% se trouvent dans des ensembles résidentiels dignes d'être protégés (mesure III). Le reste est touché majoritairement par la mesure II (périmètres protégés) et, dans une moindre mesure, par la première catégorie (bâtiments strictement protégés). Les objets qualifiés intéressants et exceptionnels (mesure IV) n'ont pas été pris en considération.

La répartition par époque de construction des surfaces énergétiques touchées par des mesures de conservation du patrimoine I à III est présentée sur la Figure 2.36. L'axe vertical donne les besoins moyens de chauffage de l'ensemble des bâtiments de chaque tranche d'âge, sans différencier entre les bâtiments protégés et non protégés.

Bien que la performance énergétique des immeubles d'habitation touchés par les mesures de protection I et II semble être proche de la moyenne du secteur, l'enjeu se situe principalement dans le potentiel d'économie d'énergie à mobiliser et le surcoût à payer. La Figure 2.36 montre que les bâtiments d'après-guerre, qui recèlent le plus grand potentiel d'économie d'énergie de chauffage et qui arrivent aujourd'hui en période de rénovation,

sont les plus touchés par les mesures de protection. En fait, près du tiers des surfaces énergétiques construites entre 1946 et 1980 sont comprises dans des ensembles bâtis dignes d'être protégés (mesure III).

Figure 2.36. Répartition par époque de construction des surfaces énergétiques touchées par les mesures de protection du patrimoine I à III (se référer au point 2.6.1.1) du secteur résidentiel collectif à Genève. Les besoins de chauffage sont indiqués pour chaque tranche d'âge sans différencier entre les bâtiments protégés et autres.



En analysant les variantes proposées par l'étude du TSAM [28] sur l'amélioration thermique de l'enveloppe de la Cité-satellite du Lignon, qui est touchée à la fois par les mesures de protection III (ensemble résidentiel) et II.1a (plan de site) depuis 2009, il ressort que seulement la moitié du potentiel total d'économie d'énergie de chauffage est mobilisable lorsqu'on veut rénover selon une variante en accord avec les valeurs patrimoniales (variante C).

2.6.2 Statut d'occupation et type de propriété

2.6.2.1 Méthodologie

Cette section analyse les statuts d'occupation et la structure de la propriété des logements collectifs dans le canton de Genève. Les résultats sont mis en perspective avec ceux observés dans sept autres cantons-villes et pour l'ensemble de la Suisse. Le *statut d'occupation* désigne les conditions dans lesquelles un ménage privé occupe son logement, alors que le *type de propriété* indique à quel type de propriétaire les logements appartiennent.

L'analyse menée ici porte sur les logements occupés en permanence, appelés aussi résidences principales. Cette catégorie représente la différence entre le total des logements et les logements occupés temporairement (résidences secondaires et logements réservés à une clientèle de passage à Genève) et non occupés (vacants et vides). L'étude se concentre sur les logements collectifs situés dans des bâtiments exclusivement à usage d'habitation ou dans des bâtiments mixtes composés de deux logements et plus²⁸.

Les résultats présentés sont issus de la banque de données statistiques interactive (STAT-TAB) de l'Office fédéral de la statistique, après croisement des données du recensement fédéral de la population RFP 2000 et du relevé structurel des logements. Il convient de noter que le croisement des indices énergétiques avec des données sur le mode d'occupation et le type de propriété n'a pas été possible puisque les identifiants dans la base de données ne sont pas accessibles à l'utilisateur.

Au total, le nombre de logements sélectionnés s'élève à 155'000 pour Genève en 2000 (année du dernier recensement). Cette valeur est très proche de celle publiée²⁹ par l'OCSTAT dans sa communication statistique [56] pour la même année. Les spécificités des logements occupés en permanence dans le canton de Genève, dans sept autres cantons-villes et pour l'ensemble de la Suisse sont donc présentées ci-après pour l'année 2000.

2.6.2.2 Statut d'occupation des logements occupés

A Genève, les logements collectifs occupés en permanence par les locataires ou sous-locataires représentent à eux seuls 86%³⁰ du total (cf. Figure 2.37). Les propriétaires (catégorie qui regroupe les propriétaires par étages, les copropriétaires et les propriétaires de maison) ne représentent que 8% des ménages, les coopérateurs (5%) et les autres statuts d'occupation (bail à ferme, logement de service ou gratuit) sont marginaux.

Par rapport aux autres cantons suisses, Genève (GE) se trouve à l'extrême avec la plus forte proportion de locataires. Cette proportion est de 83% dans le canton de Bâle-Ville (BS), de 80% dans les cantons de Neuchâtel (NE) et de Vaud (VD), de 76% dans le canton de Zurich (ZH), de 72% dans le canton de Lucerne (LU), de 71% dans les cantons de Berne (BE) et de Fribourg (FR) et de 74% dans toute la Suisse (CH).

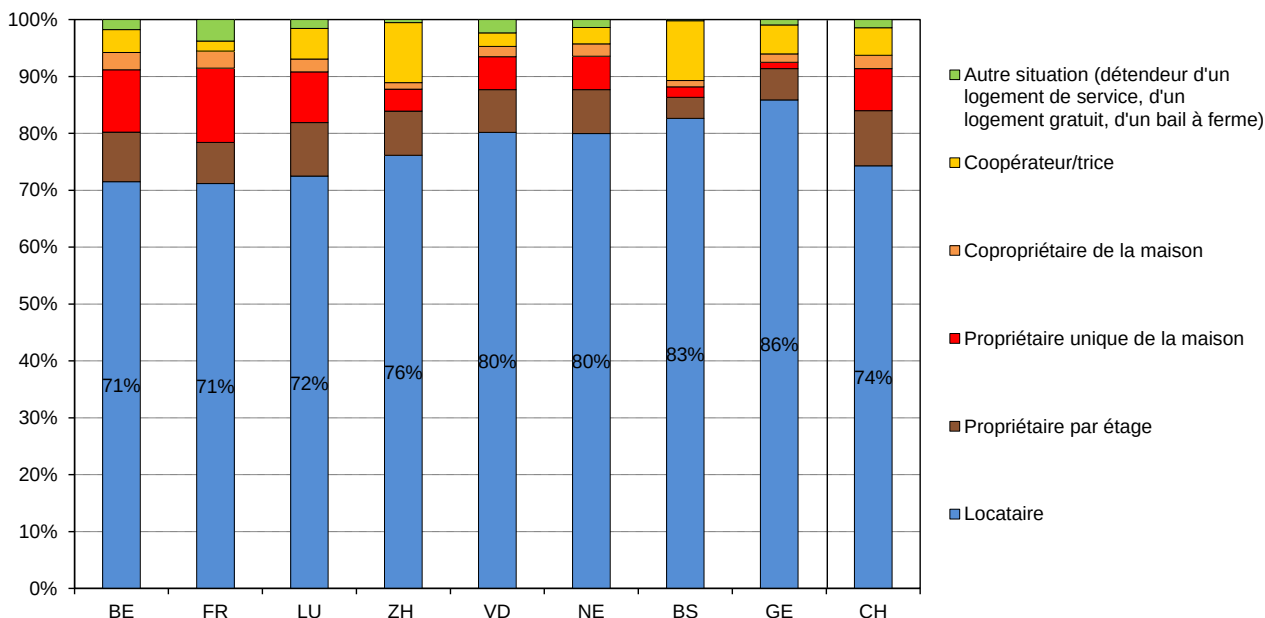
²⁸ La base de données utilisée ne permet pas de sélectionner les bâtiments à trois logements et plus. Etant donné la faible proportion de logements situés dans des maisons à deux logements, on peut considérer que cette sélection est assez représentative du secteur résidentiel à trois logements et plus étudié dans ce chapitre.

²⁹ Le nombre de logements recensés à la page 5 de la communication statistique de l'OCSTAT est de 155'175 en 2000 et concerne les bâtiments entièrement d'habitation ou destinés principalement à l'habitation.

³⁰ Cette proportion serait encore plus élevée, si l'on considère uniquement les immeubles à 3 logements et plus.

La proportion de propriété individuelle à Genève est proche de celle observée dans le canton de Bâle-Ville (BS, 7% extrême inférieur), alors que la plus forte proportion (23%) est enregistrée dans les cantons de Berne (BE) et de Fribourg (FR). Pour l'ensemble de la Suisse, la proportion de propriétaires s'établit à 19%. Globalement, la Suisse reste un pays à faible proportion de propriété individuelle, comparée à ses pays voisins.

Figure 2.37. Statut d'occupation des logements collectifs⁽¹⁾ occupés⁽²⁾ dans huit cantons-villes (dont Genève) et pour l'ensemble de la Suisse, en 2000



(1) Logements situés dans des bâtiments exclusivement à usage d'habitation (à 2 logements et plus) et bâtiments d'habitation avec usage annexe

(2) Logements habités en permanence appelés aussi résidences principales, sans tenir compte des logements inoccupés (vacants et vides) et des logements habités temporairement (résidences secondaires, logements réservés à une clientèle de passage à Genève, etc.)

Source : Résultats générés à partir de la banque de données statistiques interactive (STAT-TAB) de l'Office fédéral de la statistique (croisement des données du recensement fédéral de la population RFP 2000 et du relevé structurel des logements)

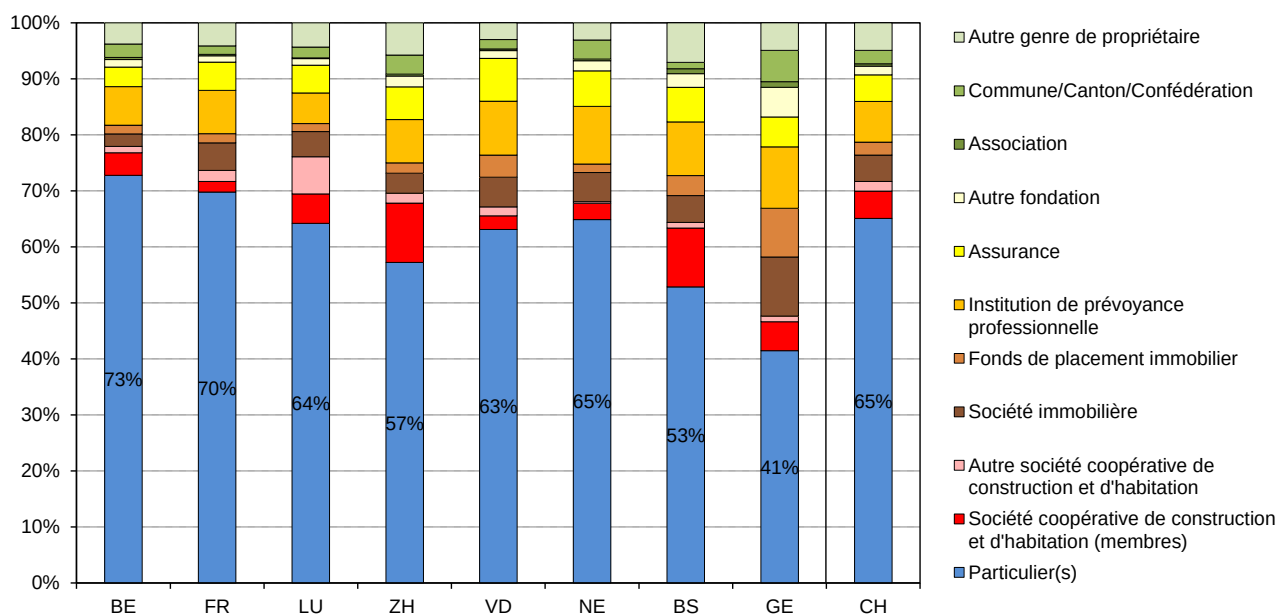
Enfin, le fort caractère locatif du canton de Genève rend complexe le déclenchement des travaux de rénovation, dans le sens où le propriétaire investit dans l'assainissement énergétique et les locataires bénéficient des économies d'énergie. Ce problème connu aussi en anglais sous le nom de « *split incentives* » a été identifié dans l'enquête menée par le BPIE [6] comme le quatrième plus important obstacle au déploiement des mesures d'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel.

Dans la littérature, l'étude menée par Stephen Bird et Diana Hernandez [57] donne un aperçu des principaux outils et instruments politiques existants pour contourner ce problème. On distingue tout d'abord les contrats (le bail vert, les prêts hypothécaires visant à accroître l'efficacité énergétique, le contracting), ensuite les lois et les réglementations (instruments directs) et enfin les programmes d'accompagnement et les incitations. Leur implémentation dépend surtout des conditions locales. A Genève, l'entrée en vigueur de la nouvelle loi sur l'énergie à partir de 2010 prévoit la possibilité aux propriétaires de répercuter sur les loyers une partie des coûts d'amélioration énergétique. Cet aspect sera traité en détail dans l'étude de cas au point 4.4.5.

2.6.2.3 Type de propriété des logements occupés

Le type de propriété a une influence significative sur la pratique de gestion immobilière et la décision d'investissement dans l'efficacité énergétique. La Figure 2.38 présente la répartition des logements collectifs occupés en permanence par type de propriétaire selon le recensement fédéral de la population de 2000 dans huit cantons-villes et au niveau suisse.

Figure 2.38. Type de propriétaire des logements collectifs⁽¹⁾ occupés⁽²⁾ dans huit cantons-villes (dont Genève) et pour l'ensemble de la Suisse, en 2000



(1) Logements situés dans des bâtiments exclusivement à usage d'habitation (à 2 logements et plus) et bâtiments d'habitation avec usage annexe

(2) Logements habités en permanence appelés aussi résidences principales, sans tenir compte des logements inoccupés (vacants et vides) et des logements habités temporairement (résidences secondaires, logements réservés à une clientèle de passage à Genève, etc.)

Source : Résultats générés à partir de la banque de données statistiques interactive (STAT-TAB) de l'Office fédéral de la statistique (croisement des données du recensement fédéral de la population RFP 2000 et du relevé structurel des logements)

On constate que les propriétaires particuliers ne possèdent à Genève que 41% des logements collectifs, contre 65% au niveau national. Près d'un cinquième des logements genevois appartiennent à des sociétés immobilières ou à des sociétés de capitaux, alors qu'en Suisse elles possèdent 7% seulement des logements. Les assurances et les institutions de prévoyance détiennent ensemble 16% des ménages genevois, les sociétés coopératives de construction et d'habitation ainsi que les collectivités publiques (communes, canton et confédération) chacune 6%, le reste (10%) appartient aux autres genres de propriétaire et autre fondation.

Par rapport aux autres cantons-villes sélectionnés, Genève (GE) se trouve aussi à part et compte à la fois la plus faible proportion de propriétaires particuliers et le plus fort taux de logements collectifs détenus par les sociétés immobilières et les fonds de placement immobilier (20%). Cette proportion est respectivement 5 fois et 3.5 fois plus importante que celle recensée dans les cantons de Berne (BE) et de Zurich (ZH). Elle est 2 à 3.25 fois plus élevée que celle observée dans les autres cantons.

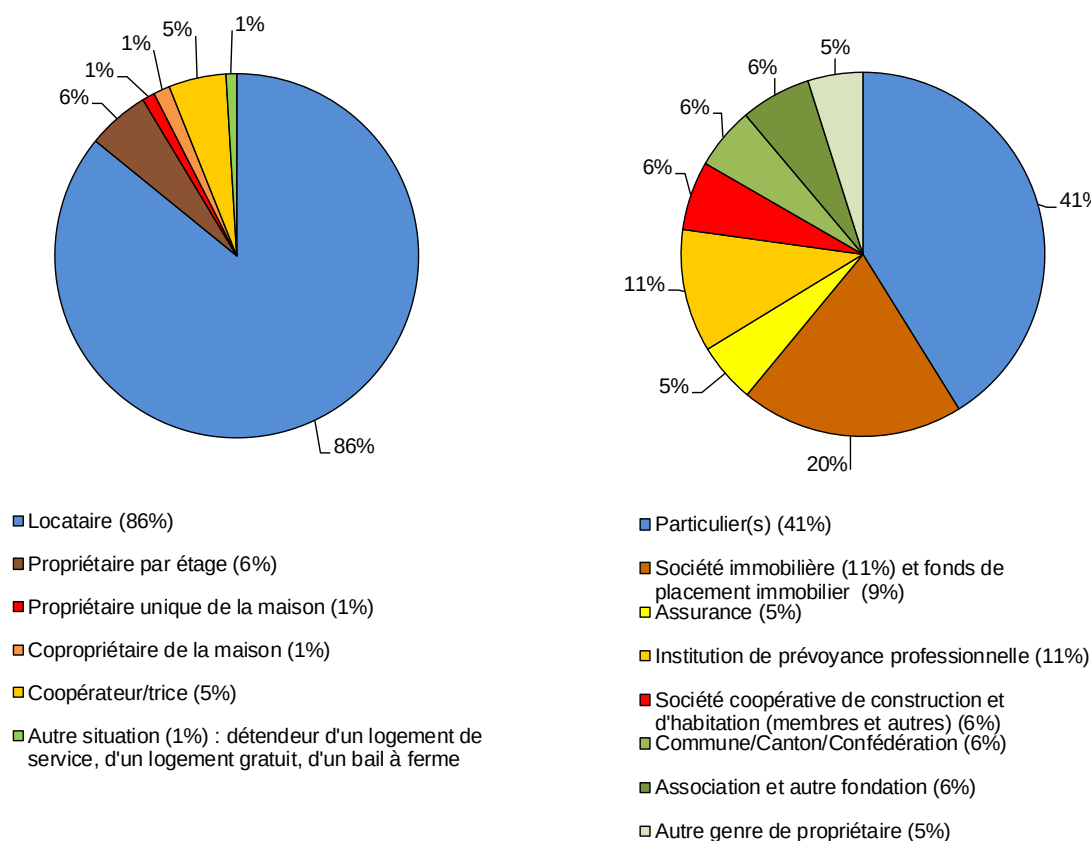
A cet égard, l'étude réalisée par Khoury [58] dans le cadre de la formation continue en Management de l'énergie à l'Université de Genève a permis d'analyser le « business model » et la place de l'énergie au sein d'une société immobilière basée à Genève. La société choisie est de par sa taille assez représentative des sociétés genevoises.

Il ressort de cette étude que la mise en œuvre d'un management de l'énergie au sein de cette société nécessite une démarche incrémentale qui exige de remettre à plat certaines stratégies et organisations internes qui se limitent actuellement à des activités classiques de gestion des actifs et de valorisation du portefeuille immobilier. Cette démarche exige de développer de nouvelles compétences et de considérer de nouveaux critères d'évaluation de la rentabilité pour les investissements en efficacité énergétique.

2.6.2.4 Conclusions

En conclusion, la répartition des logements collectifs occupés en permanence à Genève selon le statut d'occupation (à gauche) et le type de propriétaire (à droite) est présentée à la Figure 2.39.

Figure 2.39. Statut d'occupation et type de propriétaire des logements collectifs⁽¹⁾ occupés en permanence⁽²⁾ à Genève, en 2000 (N= 155'000 logements)



- (1) Logements situés dans des bâtiments exclusivement à usage d'habitation (à 2 logements et plus) et bâtiments d'habitation avec usage annexe
- (2) Logements habités en permanence appelés aussi résidences principales, sans tenir compte des logements inoccupés (vacants et vides) et des logements habités temporairement (résidences secondaires, logements réservés à une clientèle de passage à Genève, etc.)

Source : Résultats générés à partir de la banque de données statistiques interactive (STAT-TAB) de l'Office fédéral de la statistique (croisement des données du recensement fédéral de la population RFP 2000 et du relevé structurel des logements)

Dans le contexte suisse, le secteur résidentiel collectif genevois se caractérise par :

- la plus forte proportion de logements occupés par des locataires (86%)
- le plus faible taux de logements appartenant à des particuliers (41%)
- le plus fort taux de logements collectifs détenus par les sociétés immobilières et les fonds de placement immobilier (20%).

2.6.3 Taux de rénovation global

Dans cette dernière section, on se propose de déterminer le taux de rénovation des surfaces énergétiques des immeubles d'habitation, en utilisant les données sur l'époque de rénovation contenues dans le fichier FCBL.

Avant de présenter les résultats, il convient de tenir compte des remarques suivantes :

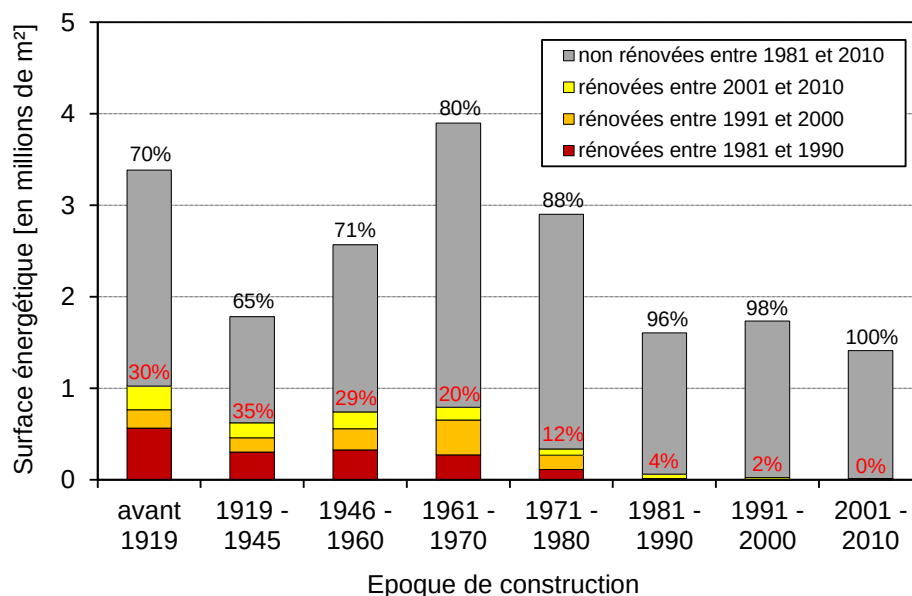
- Par « époque de rénovation », on entend ici l'époque de la dernière rénovation ayant augmenté sensiblement la valeur du bâtiment. Elle est générée à partir de l'année de l'achèvement des travaux de rénovation. Si plusieurs rénovations augmentant la valeur du bâtiment ont été effectuées successivement depuis 1981, **seule la dernière époque de rénovation est prise en compte** [12]. Ainsi, les rénovations échelonnées dans le temps sont comptées une seule fois, en considérant l'époque de la dernière rénovation.
- Sont répertoriés dans le fichier FCBL, **les rénovations ayant augmenté sensiblement la valeur du bâtiment**, c'est-à-dire les rénovations ayant un impact énergétique, mais aussi les transformations, les agrandissements et les surélévations, qui requièrent une autorisation et vont au-delà des travaux d'entretien courant [12]. Le taux de rénovation calculé est donc considéré comme un taux global.

Les résultats montrent que la surface énergétique rénovée depuis 1981 (rénovations à plus-values énergétique et non énergétique) est d'environ 3.6 millions de m², soit 19% de la surface totale du secteur résidentiel collectif en 2010. Le taux annuel de rénovation est donc de l'ordre de 0.6%/an en moyenne sur la période 1981-2010. Les parts de surfaces énergétiques non rénovées et rénovées durant cette période sont présentées à la Figure 2.40, selon l'époque de construction des bâtiments.

Le Tableau 2.23 compare les besoins moyens de chauffage des immeubles rénovés entre 1981 et 2010 avec ceux de l'ensemble du secteur résidentiel collectif genevois. On constate qu'il n'existe pas de différences significatives entre les besoins de ces deux groupes. On en déduit que ces données ne permettent pas d'évaluer les économies d'énergie engendrées par la rénovation des immeubles d'habitation à Genève.

En conclusion, les données sur l'époque de rénovation du fichier FCBL ne distinguent pas entre les travaux à plus-values énergétique et non énergétique. Le croisement de ces données avec les données du fichier Energie ne permet donc ni de déterminer le taux de rénovation énergétique des surfaces des immeubles d'habitation, ni d'évaluer la qualité des rénovations et les économies d'énergie engendrées. C'est pourquoi une autre méthode est proposée dans le chapitre suivant, qui consiste à déterminer le taux de rénovation énergétique des immeubles résidentiels genevois en se basant sur les requêtes d'autorisation.

Figure 2.40. Surfaces énergétiques en 2010 des bâtiments résidentiels collectifs à Genève selon l'époque de construction et de rénovation⁽¹⁾ depuis 1981. Les taux de surfaces rénovées et non rénovées entre 1981 et 2010 sont indiqués sur la figure.



(1) Rénovation ayant augmenté sensiblement la valeur du bâtiment

Tableau 2.23. Comparaison des besoins moyens de chauffage des bâtiments rénovés⁽¹⁾ entre 1981 et 2010 avec ceux de l'ensemble du secteur par tranches d'âge de construction

	Epoque de construction	Surface de référence énergétique SRE [m ²]	Besoin moyen de chauffage [MJ/m ² a]
Total	avant 1946	5'171'687	350
Part rénovée	avant 1946	1'648'053	349
Total	1946-1980	9'373'045	364
Part rénovée	1946-1980	1'876'778	365
Total	1981-2010	4'754'816	286
Part rénovée	1981-2010	102'321	309
Total	secteur	19'299'548	341
Part rénovée	secteur	3'627'152	356

(1) Rénovation ayant augmenté sensiblement la valeur du bâtiment

2.7 Conclusions

Ce chapitre dresse un état des lieux du parc résidentiel collectif genevois en 2010, fondé sur des données récupérées auprès de l'administration genevoise.

A fin 2010, ce secteur comprend 12'602 bâtiments d'habitation à trois logements et plus (2/3 bâtiments exclusivement destinés à l'habitation ; 1/3 bâtiments mixtes). Ces bâtiments, bien qu'ils ne représentent que 27% du parc immobilier genevois, constituent presque la moitié (47%) de la surface totale de plancher chauffé du canton. La surface de référence énergétique estimée du secteur est de 19.3 millions de m². Des modèles de régression linéaire établis à partir de variables explicatives (surface résidentielle, nombre de pièces, etc.) ont permis de déterminer la surface manquante du secteur.

L'analyse par tranche d'âge montre que près de la moitié des surfaces énergétiques du secteur appartiennent à des bâtiments construits entre 1946 et 1980 ($SRE_{1946-1980} = 9.4$ millions de m²). De par leur taille et leur ancienneté, ces bâtiments constituent un enjeu important surtout qu'ils arrivent aujourd'hui en période de rénovation. Près de la moitié des 9.4 millions de m² se trouvent sur le territoire de la Ville de Genève, alors que le reste se répartit dans les autres communes.

Les immeubles construits durant les années de haute conjoncture se caractérisent par un mode de construction en série et par une qualité de construction inférieure à celles des autres tranches d'âge. Le benchmark réalisé sur un ensemble de bâtiments de cette époque montre aussi que ces derniers ont une forme très compacte (facteur d'enveloppe moyen d'environ 0.7) et des façades avec une proportion vitrée importante (40% en moyenne).

Sur le plan énergétique, l'analyse a porté dans un premier temps sur les 10'168 bâtiments résidentiels collectifs (81% du total) dont les données énergétiques étaient disponibles, ensuite les données manquantes ont été extrapolées en utilisant la structure de la consommation connue. Ceci nous a permis d'établir le bilan des flux d'énergie thermique de la globalité du secteur et de déterminer la consommation thermique et les émissions de CO₂ liées. Les indices de dépense de chaleur IDC des bâtiments en 2010 (calculés selon l'ancienne directive) ont également été analysés et discutés, et des pistes ont été proposées pour améliorer l'indicateur.

En 2010, l'énergie nette fournie (E_{hww}) pour le chauffage et la préparation de l'eau chaude sanitaire de l'ensemble des bâtiments du secteur résidentiel collectif est estimée à 2'569 GWh PCI (478 MJ/m²a) et représente près de la moitié (43%) de la consommation d'énergie thermique du canton (environ 6'000 GWh). Le mazout (1'537 GWh) et le gaz (958 GWh) fournissent presque la totalité (97%) de l'approvisionnement. On constate aussi que la substitution du mazout par le gaz dans le secteur résidentiel collectif est en retard par rapport à la situation cantonale (½ gaz - ½ mazout, en 2010). Si on ajoute à l'énergie nette fournie au secteur les 6 GWh d'énergie produite par les capteurs solaires thermiques, la consommation finale du secteur résidentiel collectif atteint 2'575 GWh en 2010.

Les émissions de CO₂ liées à la consommation thermique du secteur résidentiel collectif sont estimées à 595 kilotonnes (31 kgCO₂/m²_{SRE}) et représentent environ 45% des émissions totales du parc immobilier genevois. Les bâtiments construits entre 1946 et 1980 sont responsables d'un peu plus de la moitié des émissions du secteur (53% ; 316 ktCO₂) et consomment environ 52% de l'énergie nette fournie au secteur, soit 1'335 GWh en 2010.

Le Tableau 2.24 récapitule par époque de construction les principaux indicateurs du secteur résidentiel collectif genevois pour l'année 2010.

Tableau 2.24. Synthèse des principaux indicateurs du secteur résidentiel collectif genevois en 2010 (pour les acronymes, voir texte)

2010	Bâtiment	SRE	E _{hww} moy	Emissions moy	Q _{hww} moy	Q _h moy
Epoqconst.	[-]	[mio m ²]	[MJ/m ² a]	[kgCO ₂ /m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]
avant 1919	2'623	3.39	470	31.0	406	344
1919 - 1945	1'208	1.78	499	33.7	427	361
1946 - 1960	1'791	2.57	524	36.2	445	366
1961 - 1970	1'877	3.90	507	32.1	443	363
1971 - 1980	1'572	2.90	509	33.5	439	362
1981 - 1990	995	1.61	444	27.3	389	320
1991 - 2000	1'349	1.74	417	24.2	374	290
2001 - 2010	1'187	1.41	359	19.7	331	244
Total	12'602	19.30	478	30.8	415	340
< 1946	3'831	5.17	480	31.9	413	350
1946-1980	5'240	9.37	512	33.7	442	364
1981-2010	3'531	4.75	409	23.9	366	286

Le besoin de chaleur pour le chauffage et l'ECS (Q_{hww}) a été déterminé pour chacun des 12'602 bâtiments du secteur résidentiel collectif. La connaissance de la distribution des besoins de chaleur devrait permettre d'évaluer de façon plus fiable le potentiel mobilisable d'économie d'énergie et de mieux piloter le parc vers les objectifs énergétiques fixés. Le besoin total de chaleur de ce secteur a été estimé à 2'226 GWh en 2010. Il est toutefoix étonnant de constater sur le Tableau 2.24 que le besoin moyen du secteur (415 MJ/m²_{SRE}) soit presque égal à celui des bâtiments d'avant 1946 (413 MJ/m²) et que le besoin moyen des bâtiments construits après 1980 soit inférieur de seulement 12% à celui du secteur. La part imputée au chauffage (Q_h) est de 1'825 GWh (340 MJ/m²_{SRE}). Le reste concerne les besoins annuels d'ECS (Q_{ww}) estimés à 401 GWh (75 MJ/m²_{SRE}). A l'heure actuelle, la chaleur solaire (6 GWh) ne couvre qu'une part minime de ces besoins.

La dernière partie de ce chapitre porte sur les aspects liés à la conservation du patrimoine et ceux associés au statut d'occupation et au type de propriété.

Il ressort tout d'abord du recensement effectué que la proportion de bâtiments résidentiels collectifs touchés par au moins une des mesures (I à III) de protection du patrimoine s'élève à 36% (4'591 sur un total de 12'602 bâtiments). Cette proportion est plus élevée que celle du secteur résidentiel (26%) et que celle de la totalité du parc immobilier genevois (25%). Près de la moitié des bâtiments protégés (52%) le sont par les mesures I et II (bâtiments et sites protégés); le reste fait partie des ensembles bâtis des XIX-XXe siècles (mesure III). Au total, la surface énergétique touchée par ces mesures de protection est estimée à 6 millions de m²_{SRE} et représente 31% de la SRE totale du secteur. Environ la moitié de ces surfaces seraient comprises dans des ensembles résidentiels dignes d'être protégés, construits entre 1946 et 1980.

Il convient de rappeler que ces bâtiments ne sont pas tous strictement protégés, et qu'il est possible d'améliorer leur performance énergétique, sous réserve du respect de certaines conditions qui dépendent du niveau de conservation du patrimoine. L'enjeu réside principalement dans le potentiel d'économie d'énergie non mobilisable de ces bâtiments et le surcoût à payer pour les rénover.

En analysant les variantes proposées par l'étude du TSAM [28] sur l'amélioration thermique de l'enveloppe de la Cité-satellite du Lignon, qui est touchée à la fois par les mesures de protection III (ensemble résidentiel) et II.1a (plan de site) depuis 2009, il ressort que seulement la moitié du potentiel total d'économie d'énergie de chauffage est mobilisable lorsqu'on veut rénover selon une variante en accord avec les valeurs patrimoniales.

D'un point de vue plus global, la comparaison des statuts d'occupation et de la structure de la propriété des logements collectifs entre le canton de Genève et sept autres cantons-villes en Suisse a révélé que le secteur résidentiel collectif genevois se caractérise par :

- la plus forte proportion de logements occupés par des locataires (86%)
- le plus faible taux de logements appartenant à des particuliers (41%)
- le plus fort taux de logements collectifs détenus par les sociétés immobilières et les fonds de placement immobilier (20%).

Enfin, le croisement des données sur l'époque de rénovation contenues dans le fichier cantonal des bâtiments et des logements (fichier FCBL) avec les données du fichier Energie ne nous a pas permis de déterminer le taux de rénovation énergétique des immeubles d'habitation, ni d'évaluer leur qualité. Cela est dû essentiellement au fait que les données du fichier FCBL ne distinguent pas entre les travaux à plus-values énergétique et non énergétique. A cet égard, une autre méthode basée sur les requêtes d'autorisation entrant à l'OCEN sera proposée dans le chapitre suivant.

Chapitre 3 - Dynamique récente des rénovations des immeubles résidentiels dans le canton de Genève (2004-2012)

3.1 Introduction

Ce chapitre s'intéresse à la dynamique des rénovations des immeubles résidentiels à trois logements et plus à Genève, en se basant sur les requêtes d'autorisation entrant à l'Office cantonal de l'énergie entre 2004 et 2012. Il renseigne sur l'évolution du taux de rénovation énergétique des bâtiments sur cette période, ainsi que sur la nature et le type de travaux envisagés, l'époque de construction des bâtiments concernés et le type de propriétaires impliqués.

3.2 Contexte et objectifs

Améliorer l'efficacité énergétique du parc de bâtiments existants nécessite d'augmenter le taux (quantité) et la qualité (performance énergétique) des rénovations. Bien que peu de pays disposent à l'heure actuelle de données statistiques permettant d'évaluer la taille du marché de la rénovation énergétique, on constate que les politiques en matière d'énergie se fixent depuis 2010 des objectifs annuels de rénovation.

Au niveau européen, l'article 5 de la nouvelle directive européenne relative à l'efficacité énergétique 2012/27/UE [59] stipule que chaque Etat membre veille à ce qu'à partir du 1^{er} janvier 2014, 3% de la surface totale des bâtiments chauffés et/ou refroidis appartenant au gouvernement central de l'Etat membre et occupés par celui-ci soient rénovés chaque année de manière à satisfaire au moins aux exigences minimales en matière de performance énergétique fixées en vertu de l'article 4 de la directive 2010/31/UE. Cette obligation de rénover chaque année 3% de la surface énergétique s'applique aux bâtiments publics ayant une surface supérieure à 500 m², puis à 250 m² à partir de juillet 2015. Ceci met en évidence le rôle moteur et exemplaire que doit jouer les Etats membres dans les prochaines années.

Une étude de l'ADEME [60] publiée en 2011 révèle un manque de données statistiques sur le taux de rénovation énergétique des bâtiments au niveau national en Allemagne et en France. Les données existantes proviennent d'enquêtes réalisées sur des échantillons à l'échelle régionale ou d'études statistiques sur des travaux d'économie d'énergie ayant bénéficié de subventions (comme dans le cadre du programme de financement de la banque publique KfW en Allemagne).

En France, l'observatoire permanent de l'amélioration énergétique du logement (OPEN), créé en 2006 par l'ADEME, fournit des données quantitatives sur le marché de rénovation des logements et sur la pénétration des équipements efficaces énergétiquement. Ces données devraient permettre de mieux suivre l'évolution du marché et d'évaluer l'impact des mesures en efficacité énergétique prises par le gouvernement. Les résultats sur la période 2006-2008 montrent que la part de logements français rénovés énergétiquement représente 40% du marché global de travaux (entretien et amélioration énergétique) [61].

Au niveau national, le premier paquet de mesures pour la mise en œuvre de la stratégie énergétique 2050 [4] propose, dans le domaine du bâtiment, le renforcement et le développement du Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC), le renforcement du programme Bâtiments et l'adaptation du droit fiscal. Ces mesures visent à exploiter le potentiel d'efficacité particulièrement dans les bâtiments existants et à augmenter le taux des assainissements énergétiques pour atteindre les objectifs visés. Dans ce cadre, plusieurs scénarios de réduction de la demande de chauffage basés sur une évolution des taux d'assainissement énergétique par époque de construction du parc immobilier suisse [2] ont été établis par la société Prognos AG sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie.

A l'heure actuelle, le taux d'assainissement énergétique des bâtiments existants en Suisse « ne dépasse pas 0.9% », comme le mentionne le rapport de l'OFEN [4] en page 15. Cependant, ni la source ni la méthode de calcul adoptée n'est précisée. D'après les renseignements fournis par l'OCEN³¹, il semble que cette valeur empirique, considérée comme la meilleure estimation des experts des cantons, soit reprise du Modèle d'encouragement harmonisé des cantons (ModEnHa). Pour étayer cette valeur, l'Office fédéral de l'énergie a lancé un projet dont les résultats sont attendus prochainement.

Par ailleurs, plusieurs études [32, 62, 63] basées sur des échantillons ont été réalisées ces dernières années par le CEPE (Centre for Energy Policy and Economics). Elles visent, entre autres, à déterminer la part des rénovations énergétiques et non énergétiques réalisées au niveau des différents éléments de l'enveloppe et le taux annuel de rénovation énergétique des éléments. Le Tableau 3.1 résume les résultats obtenus pour la période 1996-2010, concernant les bâtiments résidentiels collectifs construits avant 1980 [32].

Tableau 3.1. Part de rénovations énergétiques réalisées au niveau des différents éléments de l'enveloppe et taux annuel de rénovation énergétique durant la période 1996-2010 [32]

Habitat collectif construit avant 1980 (période d'analyse 1996-2010)	Taux annuel de rénovation énergétique des éléments d'enveloppe	Part de rénovations énergétiques sur l'ensemble des rénovations (énergie et non énergie)
Fenêtre	3.0%-6.0%	env. 90%
Façade opaque	0.4%-1.8%	20%-40% (<1960) 40%-60% (>1960)
Toit incliné	1.0%-2.7%	70%-80%
Toit plat	1.8%-4.2%	70%-80%
Plancher	0.3%-2.0%	80%-90%

³¹ Communication privée de Myriam Garbely (OCEN)

Il ressort également de ces études que la plupart des rénovations effectuées ne sont pas complètes et s'intègrent rarement dans un concept global de rénovation.

Au niveau cantonal, l'Office de l'énergie (OCEN) ne dispose pas non plus d'informations empiriques sur les pratiques de rénovations énergétiques dans le canton de Genève. Le recensement actuel des rénovations englobe les rénovations énergétiques, les transformations et les agrandissements, qui requièrent une autorisation et vont au-delà des travaux d'entretien courant. Pour le moment, aucune distinction n'est faite entre les travaux d'amélioration énergétique et les travaux à plus-value non énergétique, qui consistent par exemple à modifier la surface habitable, le nombre de logements ou le nombre de pièces.

Toutefois, le premier axe prioritaire en matière d'énergie dans le programme de législature 2009-2013 du gouvernement genevois consiste à accélérer l'assainissement énergétique des bâtiments du canton dans le but d'atteindre un taux de rénovation de 2% par an³² à partir de 2012.

En l'absence de statistiques officielles sur les rénovations énergétiques à Genève, le présent chapitre consiste à :

- étudier la dynamique des rénovations des immeubles d'habitation soumis à autorisation selon la nature des travaux « énergie » et « non énergie » à Genève ;
- analyser en particulier les rénovations énergétiques selon l'époque de construction des bâtiments et le type de travaux envisagés ;
- déterminer les taux annuels de rénovation énergétique entre 2004 et 2012 ;
- connaître qui rénove à Genève et quels travaux les propriétaires ont-ils envisagés ?

3.3 Base documentaire et méthodologie

Cette partie décrit la méthode utilisée pour sélectionner les requêtes d'autorisation qui ont servi à analyser la dynamique des rénovations des immeubles d'habitation à Genève. Elle présente aussi brièvement la méthode d'accès aux données et leur traitement.

3.3.1 Méthode de sélection des requêtes d'autorisation

Il existe deux procédures possibles pour obtenir une autorisation de réaliser des travaux de rénovation :

- a. **Procédure de demande d'autorisation** : Au sens de l'article 3, alinéa 3 de la loi sur les constructions et les installations diverses (LCI), « les demandes d'autorisation sont soumises, à titre consultatif, au préavis des communes, des départements et des organismes intéressés. L'autorité de décision n'est pas liée par ces préavis. Les communes et toutes les instances consultées formulent leur préavis dans un délai de 30 jours à compter de la date d'enregistrement de la demande ».

³² Extrait de la diapositive n°6 de la présentation de Olivier Epelly (OCEN) intitulée « Mise en œuvre de la politique énergétique, bilan 2011 et perspectives 2012 » présentée le 16 décembre 2011 dans le cadre des Rencontres de l'OCEN (<http://www.ge.ch/energie>).

- b. Procédure simplifiée par annonce de travaux :** Lorsque les travaux ne nécessitent pas le préavis d'autres départements ou organismes intéressés, « le département peut se borner à en publier l'annonce dans la Feuille d'avis officielle et ce dans un délai de 15 jours. L'annonce vaut autorisation de construire » (LCI, article 3, alinéa 8).

Ce travail analyse en particulier les travaux soumis à autorisation (procédure a.), étant donné le peu d'informations qui existent au sujet des demandes par annonce de travaux.

Entre janvier 2000 et août 2012, environ 104'000 requêtes d'autorisation de construire³³ ont été adressées au Département³⁴, soit environ 8'000 autorisations entrant en moyenne par an. Ces demandes concernent tous les types de travaux du secteur privé et du secteur public, aussi bien dans le domaine du bâtiment que du génie civil et des infrastructures routières. Ces demandes d'autorisation sont ensuite soumises, à titre consultatif, au préavis des communes, des départements et des organismes intéressés.

Etant donné que notre intérêt se porte sur l'aspect énergétique des travaux de rénovation effectués dans les bâtiments, nous nous sommes adressés à l'Office cantonal de l'énergie pour obtenir la liste des requêtes d'autorisation qui lui a été transmise par le Département. La liste que nous avons reçu contient 8'051 requêtes d'autorisation entrant, déposées pour préavis entre le 1^{er} mars 2004 et fin mai 2012. Les caractéristiques des données contenues dans ce fichier sont présentées au point 3.3.2.

Ces requêtes d'autorisation peuvent être de différents types (demande définitive DD, autorisation en procédure accélérée APA, demande de renseignement DR, etc.). Elles concernent plusieurs genres de construction (habitat collectif, maison à un ou deux logements, bâtiments du secteur tertiaire, etc.) et différents types de travaux (construction neuve, rénovation, entretien, transformation ou démolition).

Après traitement des données, codage et couplage avec différentes bases de données (fichier FCBL et données du SITG), nous avons sélectionné **870 requêtes d'autorisation** (sur un total de 8'051) sur la base des critères suivants :

- Type d'autorisation : demande définitive ou autorisation en procédure accélérée ;
- Genre de construction : bâtiments résidentiels collectifs (à 3 logements et plus) ;
- Type de travaux : Travaux de rénovation, d'entretien ou de transformation. On entend ici par transformation, les travaux qui consistent à augmenter la surface habitable suite à une surélévation ou un aménagement des combles. Les modifications à l'intérieur des appartements n'ont pas été considérées.

Pour différentes raisons, certaines demandes d'autorisation ont été soumises à plusieurs reprises à l'Office cantonal de l'énergie. Dans ce cas, nous n'avons retenu que la dernière requête. L'élimination des redondances permet de ramener **le nombre à 538 requêtes d'autorisation, totalisant 990 immeubles d'habitation.**

³³ Communication personnelle du département.

³⁴ Par Département, on entend le Département de l'urbanisme (DU), qui a changé de nom depuis 2014 pour devenir le Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie (DALE).

La Figure 3.1 illustre la démarche utilisée pour sélectionner les requêtes d'autorisation analysées dans ce chapitre. Les résultats sont également présentés dans le Tableau 3.2 suivant.

Figure 3.1. Schéma récapitulatif de la démarche utilisée pour sélectionner les 538 requêtes d'autorisation concernant les travaux de rénovation, d'entretien et de transformation³⁵ de bâtiments résidentiels collectifs à Genève

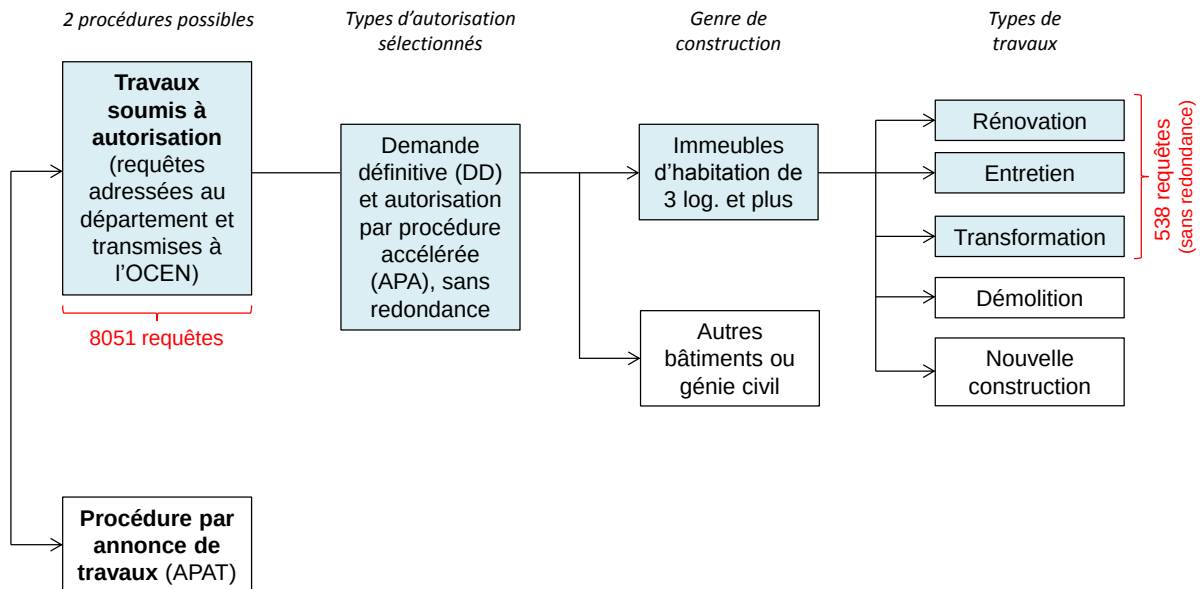


Tableau 3.2. Tableau récapitulatif des résultats (au total, 538 requêtes d'autorisation sélectionnées totalisant 990 immeubles d'habitation, enregistrées à Genève entre le 1^{er} mars 2004 et fin mai 2012)

Requêtes d'autorisation Période : 3.2004 - 5.2012	Nombre de requêtes	Nombre de bâtiments	Remarques
Total requêtes d'autorisation entrant à l'OCEN pour préavis	8'051	-	• Tous types de travaux : construction, rénovation, entretien, transformation, etc. • Tous genres de construction : habitation - collectif, villa, tertiaire, etc. • Tous types d'autorisations : DD, APA, etc.
Requêtes non sélectionnées	7'181	-	• Autres non sélectionnées
Requêtes sélectionnées (avec redondance)	870	-	• Type de travaux : rénovation, entretien et transformation • Genre de construction : habitation collectif • Type d'autorisation : DD et APA
Requêtes sélectionnées (sans redondance)	538	990	• Idem (sans redondance)

³⁵ Par transformation, on entend les travaux qui consistent à augmenter la surface habitable suite à une surélévation ou un aménagement des combles. Les modifications à l'intérieur des appartements n'ont pas été considérées.

3.3.2 Base documentaire

Les caractéristiques des données contenues dans le fichier que nous avons reçu de la part de l'Office cantonal de l'énergie (OCEN) sont présentées ci-après :

- **Accès aux données:** extraction des dossiers entrant à l'OCEN, en utilisant le logiciel de gestion administrative des correspondances (AIGLE) utilisé par l'Etat depuis mars 2004.
- **Aspect temporel :** requêtes déposées entre le 1^{er} mars 2004 et fin mai 2012 (date de l'extraction des données). Au total, 8'051 dossiers d'autorisation entrant, soit environ 1'000 autorisations en moyenne par année.
- **Contenu :** le fichier reçu comporte les informations suivantes : N° de la requête, sujet de la demande avec une brève description des travaux réalisés, adresses des bâtiments concernés, le requérant, la date d'entrée (date à laquelle a eu lieu le transfert de la demande).
- **Exemple :** les données concernant chaque autorisation se trouvaient dans une seule cellule (cf. Tableau 3.3). Par conséquent, un très gros travail a été fourni pour créer une nouvelle base de données.

Tableau 3.3. Extrait de la liste des requêtes d'autorisation

N° dossier	Sujet	Date pièce
DD 100674-4 DD 100667-5	SI HORIZONS DU SUD A p.a. Regimo Zurich AG 40,42 avenue du Gros-Chêne Rénovation de l'enveloppe de deux immeubles Rénovation de l'enveloppe de deux immeubles	12.07.2006
DD 100676-6 DD 100671-5	CAISSE DE PREVOYANCE DU CANTON DE GENEVE 12 à 18, rue SONNEX 12 à 18, rue SONNEX 22 à 28, rue SONNEX construction de 8 immeubles de logements et d'un centre commercial - garage souterrain	13.07.2006
DD 102791/ 3-4 DD 102791-4	Wincasa Sa, Services Immobiliers - Rue de Berne 3 - Rue du Mont-Blanc 13 - (réfection des Façades et de la toiture d'un immeuble de logements et commercial) - transformation de la marquise et des vitrines des arcades au rez-de-chaussée - CLIM	14.05.2012
APA 36360-2	Madame A. Reinhard et Monsieur D. Junker - Chemin du Pont-Bochet 6 - Véranda + isolation des façades et toiture - changement des fenêtres au 1er étage - NORMAL	07.05.2012
DD 104838-3 DD 104838-3	Guineu immeubles suisses SA 3 place du Molard réfection des façades rénovation des fenêtres assainissement de la toiture et pose d'un monobloc / patrimoine et cflim	21.03.2012
APA 35937-4	Hospice Général - Rue de la Servette 96 - Remplacement des fenêtres et portes-fenêtres d'un immeuble - LDTR	24.01.2012
APA 35665-2	La Rente Immobilière SA - Rue de la Mairie 3 - Transformation de bureaux au 1er étage - changement des vitrages et réfection de l'entrée de l'immeuble	06.01.2012
DD 104141-1 DD 104141-1	Caisse de pensions Migros - Chemin de la Milice 1,2,3,5,6,7,8,9,10,12,14 - Surélévation et réfection des façades de onze immeubles de logements - création d'ascenseurs intérieurs, marquises et rampe extérieure - isolation extérieure des façades	15.12.2011

Remarque : L'indication en couleur des travaux a été réalisée après réception du fichier.

- **Types de travaux :** concerne le domaine du bâtiment (constructions neuves, travaux de démolition, de rénovation, d'entretien et de transformation) du secteur privé et du secteur public.
- **Limite et fiabilité des données :** les données sont globalement fiables, mises à jour, mais peu développées. Concernant le sujet des travaux, point qui nous intéresse en particulier, la description des travaux peut être considérée comme suffisante pour l'analyse et la différence est bien établie entre travaux d'entretien et travaux de rénovation. Cependant, l'information est peu développée et se limite à la description

des travaux importants sans indication par exemple des caractéristiques thermiques des composants ajoutés ou remplacés. Enfin, un contrôle des travaux mentionnés dans une dizaine de requêtes confirme la fiabilité de ces données.

Données complétées :

Nous avons ensuite complété cette base de données avec les informations suivantes :

- Numéro fédéral du bâtiment EGID (à partir des adresses)
- Nombre de bâtiments concernés (à partir des adresses)
- Affectation des bâtiments: habitation pur ou avec activité (cf. fichier FCBL)
- Epoque de construction (cf. fichier FCBL)
- Statut des dossiers au 15.08.2012 (cf. SAD-Consult³⁶) : il existe 12 statuts depuis l'enregistrement du dossier d'autorisation jusqu'à la fermeture du chantier.
- Types de propriétés (cf. SAD-Consult)

3.3.3 Codification des travaux soumis à autorisation

Une liste des travaux soumis à autorisation a été établie à partir des informations contenues dans le fichier transmis par l'OCEN (cf. Tableau 3.4). Au total, 16 types de travaux ont été définis, codifiés puis regroupés en 4 grandes catégories :

- Catégorie T-1 : Travaux d'amélioration énergétique de l'enveloppe
- Catégorie T-2 : Rénovation des systèmes de production de chaleur
- Catégorie T-3 : Création de logements
- Catégorie T-4 : Travaux de réfection et d'entretien

Les catégories T-1 et T-2 regroupent les travaux d'amélioration énergétique, la catégorie T-3 les travaux à plus-value non énergétique (création de nouvelles surfaces habitables) et la catégorie T-4 les travaux de réfection et d'entretien. Le plus souvent, les travaux d'amélioration énergétique de l'enveloppe ont été accompagnés de travaux d'entretien. Des sous-catégories ont été ensuite définies pour les catégories T-1 et T-3 où les informations fournies étaient plus précises.

En ce qui concerne les travaux d'amélioration énergétique de l'enveloppe (catégorie T-1), les sous-catégories définies sont les suivantes :

- [P1/3] : Rénovation « Partielle ou Ponctuelle », portant sur un seul élément de l'enveloppe thermique (par exemple, remplacement des fenêtres ou assainissement de la toiture).
- [F2/3] : Rénovation portant sur la « Façade » du bâtiment, le plus souvent avec deux éléments assainis (isolation des éléments opaques et remplacement des fenêtres).
- [C3/3] : Rénovation « Complète ou quasi-complète » de l'enveloppe thermique, portant sur trois éléments et plus, à savoir les parois opaques et vitrées des façades, la toiture et/ou le plancher et les combles.

Pour la catégorie T-3, nous avons différencié entre la création de logements par surélévation ou par aménagement des combles. Les catégories, les sous-catégories et les types de travaux soumis à autorisation sont présentées dans le Tableau 3.4.

³⁶ SAD-Consult : plateforme de suivi des dossiers de l'Etat de Genève.

Tableau 3.4. Catégories, sous-catégories et types de travaux soumis à autorisation

Catégorie T-1 : Travaux d'amélioration énergétique de l'enveloppe [travaux énergétiques]	
Type de travaux	Sous-catégories
[T-1] Rénovation globale de l'enveloppe thermique	T-1 [P1/3] partielle T-1 [F2/3] façade T-1 [C3/3] complète
[T-1a] Remplacement des fenêtres et des portes-fenêtres	
[T-1b] Isolation des éléments opaques de la façade	
[T-1c] Rénovation globale des façades	
[T-1d] Isolation toiture/comble/plancher	
Catégorie T-2 : Rénovation des systèmes de production de chaleur [travaux énergétiques]	
Type de travaux	Sous-catégories
[T-2a] Rénovation de la chaufferie	T-2 Technique
[T-2b] Installation solaire thermique	
[T-2c] Autres renouvelables : géothermie, etc.	
Catégorie T-3 : Création de logements [travaux à plus-value non-énergétique]	
Type de travaux	Sous-catégories
[T-3a] Surélévation d'immeubles	T-3a Surélévation T-3b Aménagement des combles
[T-3b] Aménagement des combles	
[Asc] T-3 avec ajout d'ascenseurs	
Catégorie T-4 : Travaux de réfection et d'entretien [travaux d'entretien]	
Type de travaux	Sous-catégories
[T-4a] Réfection des façades	T-4 Travaux de réfection et d'entretien
[T-4b] Réfection de la toiture	
[T-4c] Réfection des communs d'immeuble	
[T-4d] Réfection à l'intérieur des appartements (cuisine, etc.)	
[T-4e] Réaménagement du sous-sol (buanderie, etc.)	

Définition des sous-catégories pour les travaux d'amélioration énergétique de l'enveloppe (T-1) :

- Rénovation ponctuelle : T-1 [P1/3] (« P » pour rénovation Ponctuelle et 1/3 signifie que la rénovation porte sur un seul élément de l'enveloppe thermique) = [T-1d] ou [T-1a] ou [T-1b].
- Rénovation des façades (murs et fenêtres) : T-1 [F2/3] = [T-1a] + [T-1b] ou [T-1c].
- Rénovation quasi-complète (3 éléments) ou complète (plus de 3 éléments) de l'enveloppe : T-1 [C3/3] = [T-1], ou [T-1c] + [T-1d], ou [T-1a] + [T-1b] + [T-1d].

3.3.4 Définitions : « Energie » et « non Energie »

Dans ce qui suit, on distingue entre requêtes ou travaux « Energie » et « non Energie » :

- **Par requêtes d'autorisation « Energie »**, on entend les demandes concernant des travaux d'amélioration énergétique de l'enveloppe (catégorie T-1) et/ou de rénovation des systèmes de production de chaleur pour le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire (catégorie T-2). Ces catégories peuvent être accompagnées de travaux d'entretien (catégorie T-4) et/ou de création de logements (catégorie T-3).

Remarque : D'après nos constatations, il convient de noter que le recensement des travaux consacrés à la rénovation des systèmes de production de chaleur (catégorie T-2) n'est pas complet.

- **Par requêtes d'autorisation « non Energie »**, on entend uniquement les demandes concernant des travaux de réfection et d'entretien des façades, de la toiture, des communs d'immeubles, des appartements ou du sous-sol (catégorie T-4) et/ou de création de logements en surélévation ou par l'aménagement des combles, avec ou sans ajout d'ascenseur (catégorie T-3, travaux à plus-value non énergétique).

Autorisation «Energie»	=	catégories T-1 et/ou T-2 avec ou sans T-3 et T-4
Autorisation «non Energie»	=	catégories T-3 et/ou T-4

3.4 Présentations des résultats

3.4.1 Répartition des rénovations soumises à autorisation selon la nature des travaux « énergie » et « non énergie »

3.4.1.1 Bilan de la période : mars 2004-mai 2012

Entre mars 2004 et mai 2012, environ la moitié des 538 autorisations de rénovation sélectionnées comprenaient des travaux d'amélioration énergétique de l'enveloppe et/ou des systèmes de production de chaleur (catégorie T-1 et/ou T-2). Elles concernent 630 immeubles d'habitation (ou allées), soit environ deux-tiers du nombre total de bâtiments concernés par les autorisations sélectionnées (cf. Tableau 3.5).

Tableau 3.5. Répartition des autorisations de rénovation et des immeubles d'habitation concernés, selon la nature des travaux envisagés énergie et non énergie (mars 2004-mai 2012)

Habitat collectif à Genève (3.2004 - 5.2012)	Autorisations de rénovation		Bâtiments concernés	
	nombre	pourcentage	nombre	pourcentage
Energie	275	(51%)	630	(64%)
Non Energie	263	(49%)	360	(36%)
Total	538	(100%)	990	(100%)

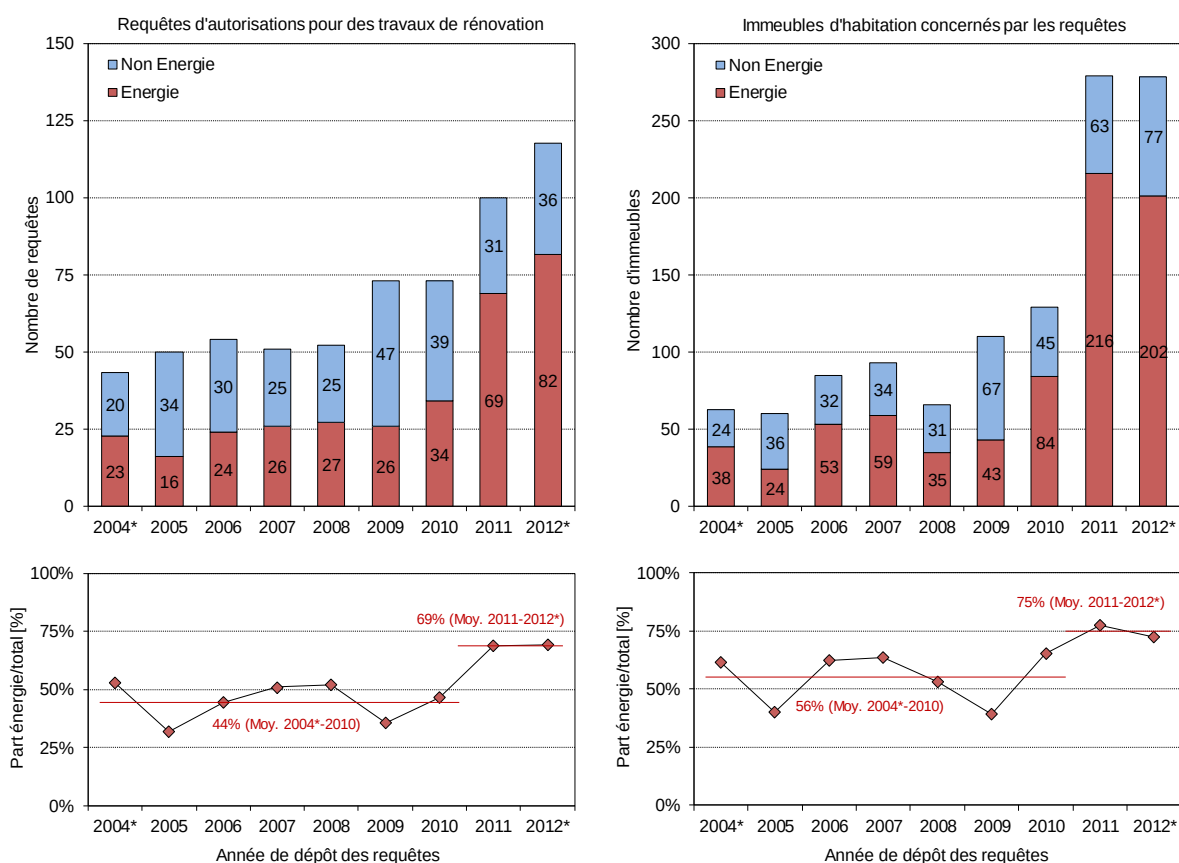
Remarque : Pour la définition des travaux « énergie » et « non énergie », se référer au point 3.3.4.

Leur surface de référence énergétique est d'environ 1.35 millions de m² et représente 7% de la surface énergétique totale en 2010 du parc résidentiel collectif genevois. Le reste (263 autorisations; 360 bâtiments, 0.6 millions de m²_{SRE}) concerne des travaux à plus-value non énergétique (création de logements en surélévation ou par l'aménagement de combles, catégorie T-3) et/ou des travaux d'entretien et de réfection (catégorie T-4). On remarque aussi que le ratio énergie/non énergie des bâtiments concernés est globalement assez proche de celui des surfaces énergétiques. Enfin, le nombre de bâtiments par autorisation est en moyenne plus élevé dans les opérations de rénovation énergétique que non énergétique.

3.4.1.2 Evolution entre 2004 et 2012

La Figure 3.2 présente l'évolution entre 2004 et 2012 des requêtes d'autorisation de rénovation (à gauche) et des immeubles d'habitations concernés (à droite) selon la nature des travaux (énergie/non énergie) et l'année de dépôt des requêtes à Genève. Les valeurs des années 2004 et 2012 ont été extrapolées sur 12 mois et sont indiquées par un astérisque.

Figure 3.2. Evolution des requêtes d'autorisation de rénovation (à gauche) et des immeubles d'habitations concernés (à droite) selon la nature des travaux (énergie/non énergie) et l'année de dépôt des requêtes (2004 à 2012), dans le canton de Genève



* Valeurs extrapolées sur 12 mois.

Le nombre total de requêtes d'autorisation (énergie et non énergie) et de bâtiments concernés a augmenté considérablement entre 2004 et 2012, en particulier à partir de l'année 2010 qui correspond à l'année de référence retenue dans le chapitre précédent. En comparant la période 2004-2010 à la période 2011-2012, on constate que le nombre annuel de

bâtiments soumis à autorisation pour des travaux de rénovation « énergie » a augmenté en moyenne d'un facteur 4.3. Cette augmentation est environ 2.5 fois plus importante que celle des bâtiments concernés par les requêtes « non énergie ».

En ce qui concerne les requêtes déposées annuellement, le nombre de requêtes « énergie » a augmenté en moyenne entre ces deux périodes d'un facteur 3, tandis que le nombre de requêtes « non énergie », qui comprend uniquement des travaux d'entretien et/ou à plus-value non énergétique, est resté presque constant.

Le pourcentage de bâtiments soumis à autorisation « énergie » par rapport au nombre total de bâtiments sélectionnés est passé de 56% (moyenne 2004-2010) à 75% (moyenne 2011-2012), soit une augmentation d'un facteur 1.6. Cette hausse est proche de celle observée pour les requêtes d'autorisation « énergie » (facteur 1.3, passage de 44% (moyenne 2004-2010) à 69% (moyenne 2011-2012)).

En conclusion, les résultats montrent une augmentation significative depuis 2010 du nombre d'immeubles d'habitation soumis à autorisation « énergie » à Genève et de la proportion de rénovation énergétique par rapport au total (énergie et non énergie).

3.4.1.3 Répartition par nature et type de travaux

La répartition des requêtes d'autorisation de rénovation et des bâtiments concernés selon la nature des travaux (énergie/non énergie) et le type de travaux envisagés (catégories et sous-catégories de travaux) est proposée sous forme de tableau en Annexe A15. Nous avons choisi ici de n'aborder que la problématique des rénovations à plus-value non énergétique avec création de logements (catégorie T-3). La répartition des rénovations énergétiques par type de travaux sera présentée plus tard au point 3.4.2.2.

Sur le total des requêtes d'autorisation (538 requêtes), 64% proposait de créer une surface habitable supplémentaire, soit en surélevant les immeubles existants, soit en aménageant les combles. Ce nombre important de requêtes est parvenu essentiellement après la modification de la loi sur les surélévations dans le canton de Genève qui permet désormais depuis 2008 de rehausser jusqu'à deux étages un certain nombre de bâtiments.

Cette loi, préparée par le Département de construction à l'époque, devrait apporter une bouffée d'oxygène à un marché de logements très tendu. Elle devrait être également considérée par les acteurs de l'énergie comme une opportunité à saisir pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments existants.

Cependant, on constate que seulement 28% de ces requêtes (ou 31% des bâtiments concernés) ont bénéficié de travaux d'amélioration énergétique de l'enveloppe et/ou du système de production de chaleur (catégorie T-1 et/ou T-2). Cela révèle le manque de réflexion globale dans les projets déposés. C'est finalement une opportunité manquée pour 328 immeubles d'habitation.

Une meilleure coordination entre l'Office de l'urbanisme et l'Office de l'énergie aurait permis de réaliser un dumping des rénovations énergétiques à travers la loi sur les surélévations. On note que depuis 2014, ces deux offices sont réunis dans le Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie (DALE), ce qui devrait permettre une meilleure coordination des politiques publiques.

3.4.2 Répartition des rénovations énergétiques selon l'époque de construction des bâtiments et le type de travaux envisagés

3.4.2.1 Bâtiments selon l'époque de construction

La Figure 3.3 présente l'évolution du nombre d'immeubles d'habitation concernés par les requêtes d'autorisation « énergie » déposées entre 2004 et 2012 à Genève, selon l'époque de construction des bâtiments. Le Tableau 3.6 donne une comparaison des résultats entre les deux périodes 2004-2010 et 2011-2012.

Figure 3.3. Evolution du nombre d'immeubles d'habitation concernés par les requêtes d'autorisation « énergie » selon l'époque de construction des bâtiments et l'année de dépôt des requêtes (2004 à 2012), dans le canton de Genève

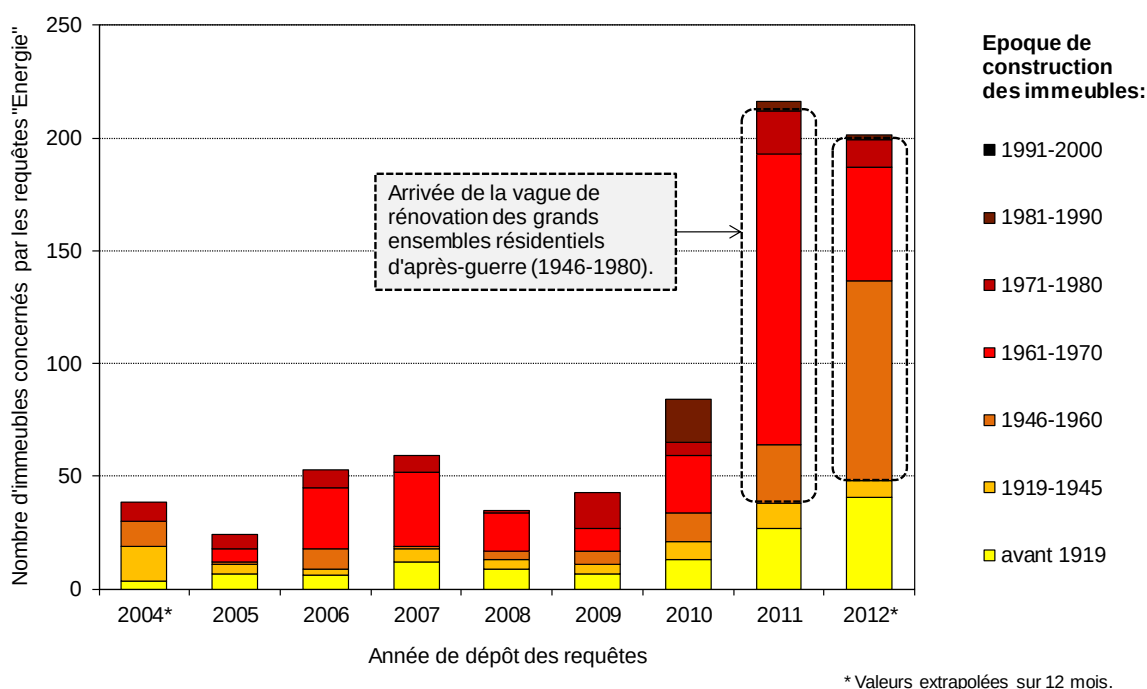


Tableau 3.6. Comparaison des résultats entre les deux périodes 2004-2010 et 2011-2012

	Période 2004*-2010			Période 2011-2012*			Total 2004*-2012*	
Epoque de construction	Bâtiment (nombre; %)			Bâtiment (nombre; %)			Bâtiment	
	Moy.an [-]	Total [-]	Total [%]	Moy.an [-]	Total [-]	Total [%]	Total [-]	Total [%]
avant 1946	15	102	30%	43	86	21%	188	25%
1946-1980	31	215	64%	163	325	78%	540	72%
1981-2010	3	19	6%	3	6	2%	25	3%
TOTAL	48	336	100%	209	418	100%	754	100%
Total sans extrapolation**	-	330	-	-	300	-	630	-

* Valeurs extrapolées sur 12 mois

** Total sur la période mars 2004 à mai 2012 (sans extrapolation)

On constate que le nombre annuel d'immeubles d'habitation construits entre 1946 et 1980 et soumis à autorisation de rénovation « énergie » a augmenté en moyenne d'un facteur 5.3 entre la période 2004-2010 et la période 2011-2012. Ce nombre est passé de 31 (moyenne 2004-2010) à 163 (moyenne 2011-2012).

Cette augmentation est due essentiellement à l'arrivée après 2010 de la vague de rénovation des grands ensembles résidentiels d'après-guerre. Ces ensembles, qui ont pour la plupart dépassé la cinquantaine, arrivent simultanément en période de rénovation. Parmi les projets de rénovation déposés, citons celui de la Cité du Lignon, de l'ensemble résidentiel de Budé, de Miremont, de La Cigale, etc.

On note également que la proportion de bâtiments construits durant cette tranche d'âge (1946-1980) par rapport au total des bâtiments soumis à autorisation « énergie » a légèrement augmenté, passant de 64% (période 2004-2010) à 78% (période 2011-2012), alors que celles des autres tranches d'âge ont reculé.

3.4.2.2 Bâtiments selon le type de travaux « énergie »

Entre mars 2004 et mai 2012, nous avons recensé 630 immeubles d'habitation concernés par des requêtes « énergie », qui se répartissent comme suit :

- 558 immeubles visent des travaux d'assainissement énergétique de l'enveloppe (catégorie T-1), dont 78 incluent aussi la rénovation du système de production de chaleur (catégorie T-2). Environ la moitié du total (558 immeubles) devraient bénéficier d'une rénovation quasi-complète ou complète de l'enveloppe (C3/3), le quart d'une rénovation des façades (F2/3) et le reste d'une rénovation partielle d'un élément de l'enveloppe (P1/3).
- 72 immeubles visent uniquement une rénovation du système de production de chaleur pour le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire (catégorie T-2). Près de deux tiers des immeubles ont été équipés d'une nouvelle installation solaire thermique.

L'Annexe A15 donne plus de détails concernant les types de travaux énergétiques envisagés. La Figure 3.4 présente l'évolution du nombre d'immeubles d'habitation concernés par les requêtes d'autorisation « énergie » déposées entre 2004 et 2012 à Genève, selon le type de travaux envisagés (par sous-catégories). Une comparaison des résultats entre les deux périodes 2004-2010 et 2011-2012 est proposée dans le Tableau 3.7.

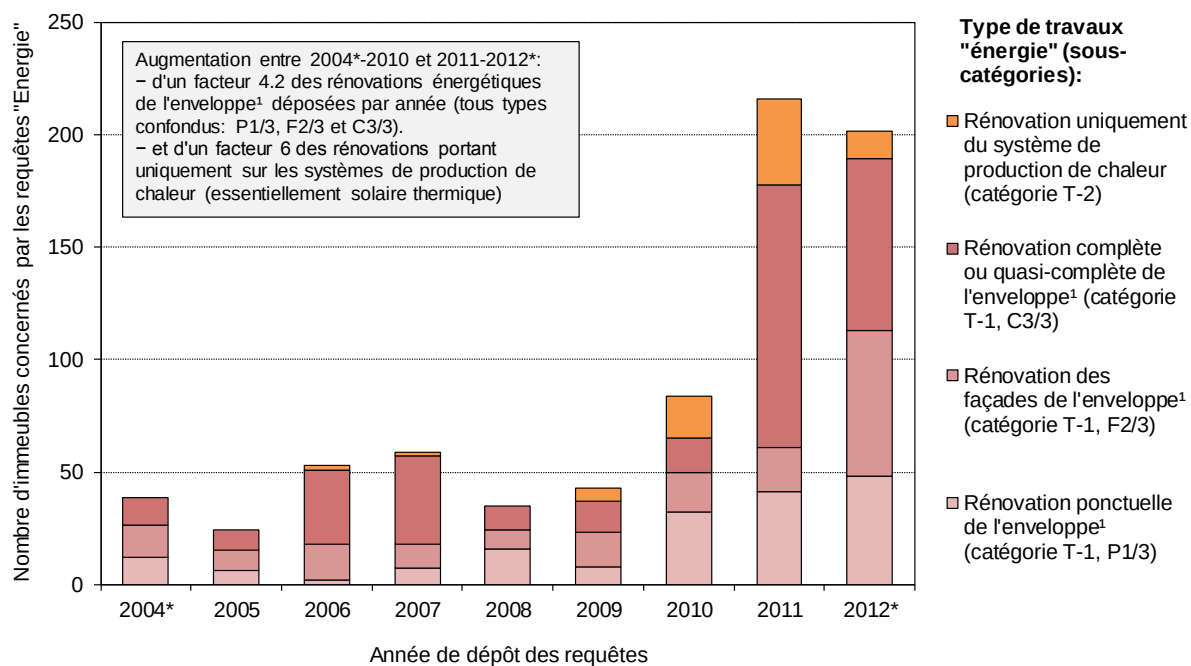
Après extrapolation sur 12 mois des valeurs des années 2004 et 2012, le nombre d'immeubles soumis à autorisation « énergie » passe de 630 à 754 (cf. Tableau 3.7), mais les pourcentages évoqués plus haut restent quasiment les mêmes (25% rénovation ponctuelle de l'enveloppe ; 26% rénovation des façades et 48% rénovation quasi-complète ou complète).

En comparant la période 2004-2010 à la période 2011-2012, on constate un léger recul du pourcentage de rénovation ponctuelle de l'enveloppe (de 27% à 24%), une diminution du taux de rénovation des façades de 30% à 23% et une augmentation du taux de rénovation quasi-complète ou complète de 43% à 53%.

En termes de nombre, les rénovations énergétiques de l'enveloppe par année ont augmenté en moyenne d'un facteur 4.2 entre ces deux périodes : les rénovations ponctuelles d'un facteur 3.8, les rénovations des façades d'un facteur 3.2 et les rénovations quasi-complètes et

complètes d'un facteur 5.1. Certaines de ces rénovations comportent également des travaux de rénovation du système de production de chaleur. Les rénovations portant seulement sur les systèmes techniques (essentiellement ajout d'installations solaires thermiques) ont augmenté en moyenne entre ces deux périodes d'un facteur 6.

Figure 3.4. Evolution du nombre d'immeubles d'habitation concernés par les requêtes d'autorisation « énergie » selon le type de travaux envisagés (par sous-catégories) et l'année de dépôt des requêtes (2004 à 2012) dans le canton de Genève



* Valeurs extrapolées sur 12 mois.
 ¹ Avec ou sans la rénovation du système de production de chaleur.

Tableau 3.7. Evolution du nombre d'immeubles d'habitation concernés par les requêtes d'autorisation « énergie » entre la période 2004*-2010 et la période 2011-2012*, selon le type de travaux envisagés (par catégories et sous-catégories)

Type de travaux "énergie"	Période 2004*-2010			Période 2011-2012*			Total 2004*-2012*	
	Bâtiment (nombre; %)			Bâtiment (nombre; %)			Bâtiment	
	Moy.an [-]	Total [-]	Total [%]	Moy.an [-]	Total [-]	Total [%]	Total [-]	Total [%]
Catégorie T-1: Rénovation de l'enveloppe¹	44	307	100%	184	368	100%	675	100%
• Rénovation ponctuelle (P1/3)	12	83	27%	45	89	24%	172	25%
• Rénovation des façades (F2/3)	13	91	30%	42	85	23%	176	26%
• Rénovation (quasi-)complète (C3/3)	19	133	43%	97	194	53%	327	48%
Rénovation de l'enveloppe avec la production de chaleur (T-1&T-2)	4	28	9%	47	94	26%	122	18%
Rénovation seulement de l'enveloppe (T-1 seul)	40	279	91%	137	274	74%	553	82%
Catégorie T-2 seul: Rénovation seulement du système de production de chaleur	4	29	-	25	50	-	79	-
Total "énergie" (T-1 et/ou T-2)	-	336	-	-	418	-	754	-
Total "énergie" sans extrapolation**	-	330	-	-	300	-	630	-

* Valeurs extrapolées sur 12 mois

** Total sur la période mars 2004 à mai 2012 (sans extrapolation)

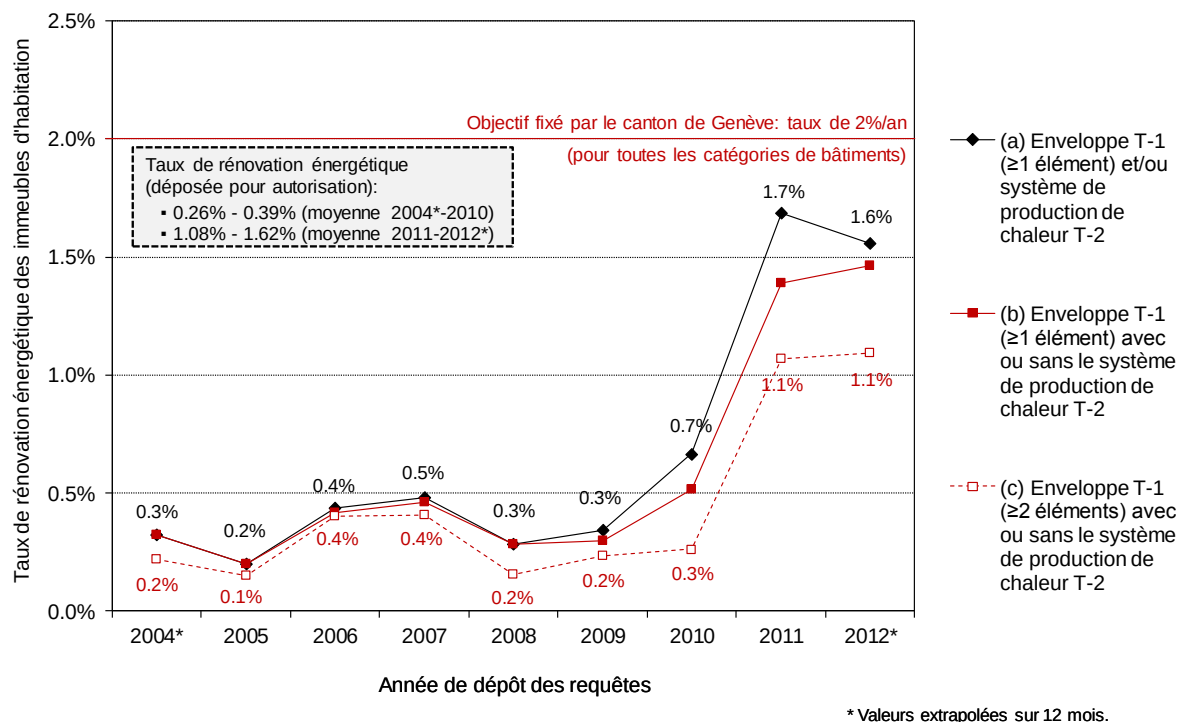
¹ Avec ou sans la production de chaleur

Comme évoqué précédemment, la hausse observée est due essentiellement à l'arrivée après 2010 de la vague de rénovation des grands ensembles résidentiels d'après-guerre. Cela peut également s'expliquer par l'entrée en vigueur des nouvelles modalités de la nouvelle loi sur l'énergie en août 2010, le renforcement de la norme SIA 380/1 en 2009 et la mise en place par l'OCEN d'un bouquet d'instruments et d'aides pour inciter les propriétaires à entamer des rénovations globales.

3.4.3 Evolution du taux de rénovation énergétique entre 2004 et 2012

La Figure 3.5 donne l'évolution du taux de rénovation énergétique des immeubles d'habitation entre 2004 et 2012 à Genève.

Figure 3.5. Evolution du taux de rénovation énergétique des immeubles d'habitation concernés par les requêtes d'autorisation "énergie" déposées entre 2004 et 2012 à Genève



- (a) Immeubles dont au moins un élément de l'enveloppe et/ou le système de production de chaleur (chauffage et/ou ECS) a été soumis à autorisation de rénovation.
- (b) Immeubles dont au moins un élément de l'enveloppe a été soumis à autorisation de rénovation (avec ou sans la rénovation du système de production de chaleur).
- (c) Immeubles dont au moins deux éléments de l'enveloppe ont été soumis à autorisation de rénovation (avec ou sans la rénovation du système de production de chaleur).

Il convient avant de présenter les résultats de préciser les points suivants :

- Les rénovations énergétiques considérées pour le calcul du taux sont celles déposées pour autorisation et non pas les rénovations réalisées. La durée médiane entre le dépôt de la requête d'autorisation et la fin des travaux est d'environ 40 mois pour les immeubles d'habitation [18].
- Afin d'éviter les comptabilisations multiples, les rénovations énergétiques planifiées par étapes entre 2004 et 2012 n'ont été comptées qu'une seule fois, en retenant l'année de dépôt du dernier dossier.

Le taux de rénovation énergétique dépend essentiellement du type de travaux « énergie » considérés. On peut alors se demander s'il faut compter toutes les rénovations visant l'amélioration énergétique de l'enveloppe (y compris les travaux ponctuels qui consistent par exemple à remplacer uniquement les fenêtres) ou bien faut-il plutôt se limiter aux rénovations plus conséquentes, comme la rénovation des façades (F2/3), voire complète de l'enveloppe thermique (C3/3) ? En ce qui concerne les systèmes techniques, quelles actions doivent être considérées comme travaux d'amélioration de la performance énergétique (remplacement de chaudière à l'identique, recours aux énergies renouvelables et/ou mise en valeur de rejets thermiques) ? Comment éviter les comptages multiples en cas de rénovations échelonnées sur des périodes plus longues ? Faut-il calculer le taux en fonction du nombre de bâtiments (allées), de logements ou de mètres carrés chauffés (SRE) ?

Etant donné qu'il n'existe pas encore une méthodologie établie pour calculer le taux de rénovation énergétique, nous avons décidé de réaliser les calculs pour trois catégories, à savoir les immeubles dont les travaux d'amélioration énergétique devraient porter sur :

- (a) au moins un élément de l'enveloppe et/ou le système de production de chaleur (chauffage et/ou ECS).
- (b) au moins un élément de l'enveloppe (avec ou sans la rénovation du système de production de chaleur).
- (c) au moins deux éléments de l'enveloppe (avec ou sans la rénovation du système de production de chaleur).

Si l'on retient la définition des travaux « énergie » énoncée au point 3.3.4 et qui correspond au cas (a), on constate que le taux de rénovation énergétique des immeubles d'habitation est passé de 0.39%/an (moyenne 2004-2010) à 1.62%/an (moyenne 2011-2012). Les taux atteints depuis 2011 ne sont donc pas très loin de l'objectif de 2%/an fixé par le canton de Genève pour toutes les catégories de bâtiments.

En ne tenant compte que des immeubles dont au moins deux éléments de l'enveloppe sont prévus d'être assainis énergétiquement (cas (c)), avec ou sans la rénovation du système de production de chaleur, les taux deviennent 0.26%/an (moyenne 2004-2010) et 1.08%/an (moyenne 2011-2012).

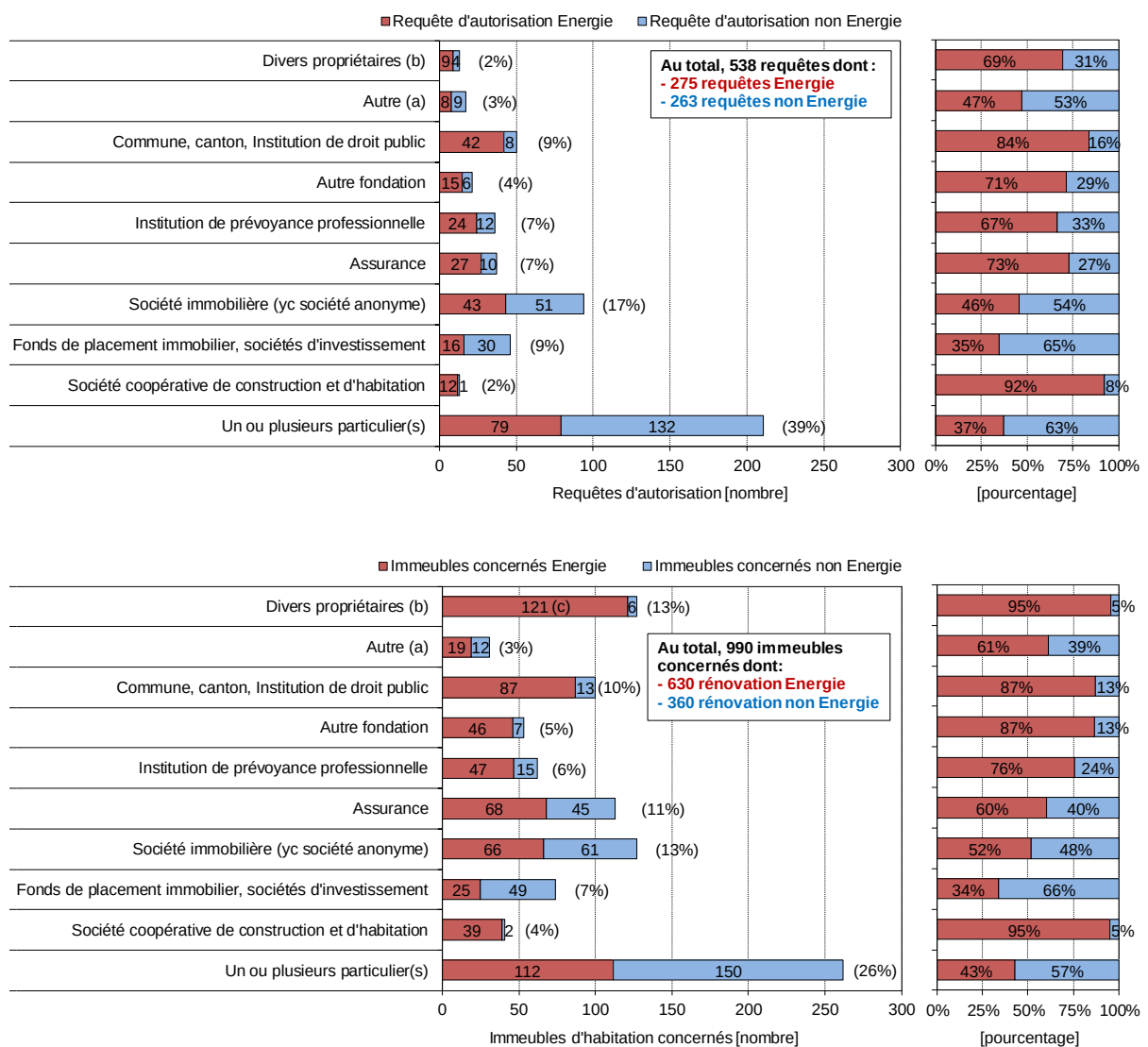
Enfin, l'évolution du taux de rénovation énergétique des immeubles d'habitation peut être influencée par plusieurs facteurs tels que ceux liés :

- à la conjoncture économique (baisse constatée des taux de rénovation durant la crise financière 2008-2009) ;
- au changement des prescriptions énergétiques (renforcement en 2009 des exigences de la norme SIA 380/1, puis celles du standard Minergie) ;
- à la modification du cadre légal (comme l'adoption en 2009 de la loi 10'088 sur les surélévations et l'entrée en vigueur attendue de la loi qui oblige le remplacement des fenêtres à simple vitrage (art. 56 A LCI)) ;
- aux différentes mesures liées à l'énergie adoptées au niveau cantonal (introduction du chèque bâtiment, de la nouvelle loi sur l'énergie, etc.) et au niveau national (programme centime climatique, suivi en 2010 par le programme Bâtiments, etc.) ;
- à l'arrivée de la vague de rénovation des grands ensembles d'après-guerre ;
- au niveau de coordination entre les services de l'Etat (principalement entre la DAC et l'OCEN) et enfin à la prise de conscience progressive par les divers acteurs impliqués (en particulier les propriétaires) de la nécessité d'améliorer l'efficacité énergétique du parc immobilier actuel.

3.4.4 Qui rénove à Genève et quels travaux les propriétaires ont-ils envisagés ?

La Figure 3.6 présente la répartition des requêtes d'autorisation enregistrées entre mars 2004 et mai 2012 (en haut) et des immeubles d'habitation concernés (en bas), selon le type de propriétaires et la nature des travaux envisagés (énergie/non énergie). Les propriétaires ont été classés en 10 catégories indiquées sur les graphiques.

Figure 3.6. Requêtes d'autorisation (en haut) et immeubles d'habitation concernés (en bas) selon le type de propriétaires et la nature des travaux envisagés (énergie/non énergie) à Genève entre mars 2004 et mai 2012



- Remarques :
- (a) La catégorie « Autre » regroupe les associations, les banques, les autres sociétés du secteur de la construction, les Etats étrangers, etc.
 - (b) La catégorie « Divers propriétaires » regroupe plusieurs types de propriétaires ayant déposé conjointement une autorisation pour des travaux de rénovation.
 - (c) Dans la catégorie « divers propriétaires », on trouve la requête d'autorisation pour la rénovation énergétique de l'enveloppe de la Cité du Lignon qui regroupe plus de 80 immeubles.

En termes de nombre de bâtiments, on remarque tout d'abord que les particuliers, qui détiennent la plus grande part des bâtiments et des logements collectifs à Genève, planifient le plus grand volume de rénovation « énergie » et « non énergie » (39% des requêtes

d'autorisation et 26% des bâtiments). Cependant, le pourcentage de bâtiments rénovés énergétiquement est parmi les plus faibles (43%), mais leur nombre reste parmi les plus élevés (112 immeubles).

La catégorie « Divers propriétaires » regroupe plusieurs types de propriétaires ayant déposé conjointement une autorisation pour des travaux de rénovation. Les autorisations déposées par cette catégorie sont peu nombreuses (13 requêtes) mais concernent un nombre important d'immeubles (127 immeubles). Cela s'explique par le fait que dans le cadre d'un projet pilote, une des requêtes vise la rénovation énergétique de l'enveloppe de la Cité du Lignon composée de plus de 80 immeubles et dont les propriétaires sont représentés par le Comité central du Lignon.

Hormis ces deux catégories (les particuliers et divers propriétaires) qui arrivent en tête de classement, les propriétaires ayant envisagé de rénover énergétiquement le plus grand nombre de bâtiments entre mars 2004 et mai 2012 peuvent être classés comme suit :

- les communes, le canton et les institutions de droit public, avec 87 immeubles ;
- puis les assurances et les sociétés immobilières, avec respectivement 68 et 66 immeubles ;
- puis les institutions de prévoyance professionnelle et les fondations (autres que celles de droit public), avec respectivement 47 et 46 immeubles ;
- puis les sociétés coopératives de construction et d'habitation, avec 39 immeubles ;
- et enfin les fonds de placement immobilier et la catégorie « autre » avec respectivement 25 et 19 immeubles.

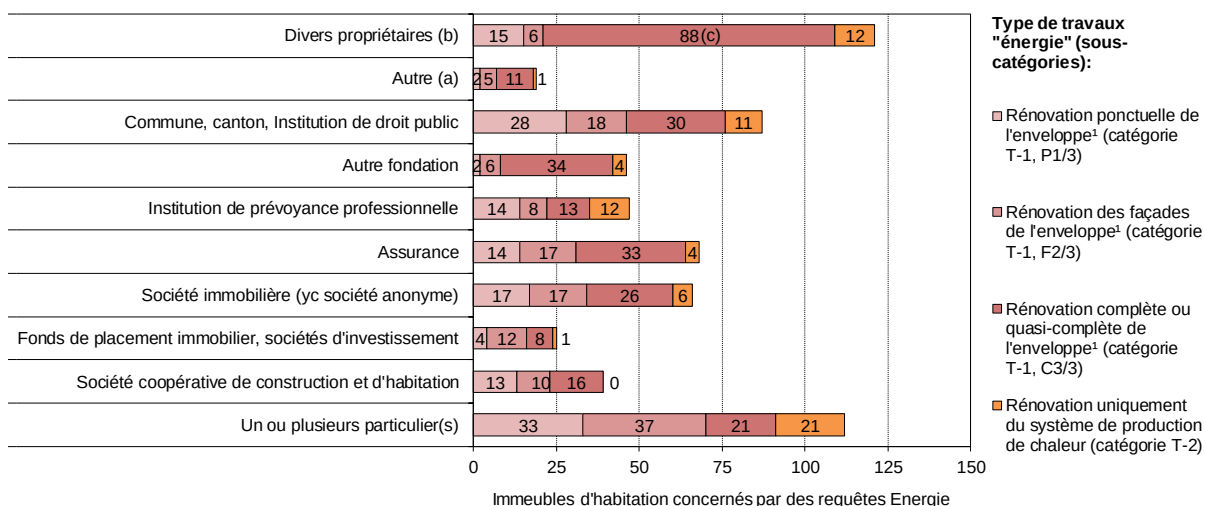
La comparaison de ces résultats avec le nombre total de bâtiments résidentiels collectifs détenus à Genève par type de propriétaire n'a pas pu être réalisée en raison de la non-disponibilité des données. Il est toutefois possible de se référer à la proportion de logements collectifs détenus par type de propriétaire, déterminée au chapitre précédent au point 2.6.2.

Le pourcentage de bâtiments soumis à autorisation « énergie » entre mars 2004 et mai 2012 par rapport au total (énergie et non énergie) est indiqué à droite de la Figure 3.6 précédente pour chaque type de propriétaire. On peut distinguer trois classes majeures :

- Taux supérieur à 75% : les propriétaires qui ont envisagé des travaux énergétiques sur plus de 75% des bâtiments qu'ils ont soumis à autorisation sont les communes, le canton et les institutions de droit public qui jouent un rôle exemplaire en matière d'économies d'énergie, ainsi que les institutions de prévoyance professionnelle et les autres fondations qui ont une vision à long terme dans la gestion de leur parc immobilier. A cela s'ajoutent les « divers propriétaires » dont la plupart des bâtiments sont compris dans le projet-pilote de rénovation de la Cité du Lignon qui a été mené en étroite collaboration avec plusieurs services de l'Etat.
- Taux compris entre 50% et 75% : on trouve les sociétés immobilières, les assurances et la catégorie « autre » qui regroupe les associations, les banques, les états étrangers et les autres sociétés du secteur de la construction.
- Taux compris entre 25% et 50% : les fonds de placement immobilier et les sociétés d'investissement sont en bas du classement avec seulement un tiers des bâtiments soumis à autorisation comportant des travaux d'amélioration énergétique. Ils sont suivis par les particuliers dont le pourcentage n'atteint que 43%.

La Figure 3.7 présente la répartition des immeubles d'habitation selon le type de propriétaires et le type de travaux énergétiques envisagés (par sous-catégories) entre mars 2004 et mai 2012.

Figure 3.7. Immeubles d'habitation concernés par les requêtes d'autorisation « Energie » selon le type de propriétaires et le type de travaux envisagés (mars 2004 - mai 2012)



- Remarques :
- (a) La catégorie « Autre » regroupe les associations, les banques, les autres sociétés du secteur de la construction, les Etats étrangers, etc.
 - (b) La catégorie « Divers propriétaires » regroupe plusieurs types de propriétaires ayant déposé conjointement une autorisation pour des travaux de rénovation.
 - (c) Dans la catégorie « divers propriétaires », on trouve la requête d'autorisation pour la rénovation énergétique de l'enveloppe de la Cité du Lignon qui regroupe plus de 80 immeubles.

On distingue, parmi les travaux énergétiques envisagés par les propriétaires, les sous-catégories suivantes définies au point 3.3.3 et indiquées sur la figure ci-dessus : les rénovations ponctuelles de l'enveloppe (P1/3), les rénovations de façades (F2/3) et les rénovations quasi-complètes ou complètes de l'enveloppe thermique (C3/3), avec ou sans la rénovation des systèmes de production de chaleur. A cela s'ajoutent les travaux visant à rénover uniquement les systèmes de production de chaleur.

Les résultats montrent que les trois catégories de propriétaires qui présentent les taux de rénovation complète de l'enveloppe les plus bas sont : les particuliers (19%), les institutions de prévoyance (28%) et les fonds de placement immobilier et sociétés d'investissement (32%). Ce taux représente le rapport entre le nombre d'immeubles d'habitation dont les travaux touchent au moins trois éléments de l'enveloppe thermique (rénovation type C3/3) et le nombre total d'immeubles concernés par les requêtes Energie (catégories T-1 et T-2).

Le taux le plus faible se trouve chez les particuliers qui sont confrontés à des difficultés d'accès au financement nécessaire pour entamer des rénovations complètes souvent très onéreuses. A cet égard, il est nécessaire de mettre en place pour cette catégorie de propriétaire qui détient une grande partie des bâtiments et des logements collectifs à Genève, des programmes spécifiques d'accompagnement et d'aide à la planification et au financement des travaux énergétiques. Enfin, les institutions de prévoyance et les sociétés immobilières, qui utilisent généralement des fonds propres pour financer les projets de rénovation, sont plutôt confrontées à des exigences de rentabilité élevées (par exemple, de l'ordre de 4 à 6% pour les caisses de pension).

3.5 Conclusions

Ce chapitre a étudié la dynamique des rénovations énergétiques des immeubles d'habitation à Genève en se basant sur les requêtes d'autorisation entrant à l'OCEN entre mars 2004 et mai 2012. Les résultats montrent une augmentation significative depuis 2010 des rénovations énergétiques déposées à Genève (augmentation du nombre et du pourcentage énergie par rapport au total énergie et non énergie).

Le taux de rénovation énergétique des immeubles d'habitation dont au moins un élément de l'enveloppe et/ou le système de production de chaleur serai(en)t assaini(s) est passé de 0.39%/an (moyenne 2004-2010) à 1.62%/an (moyenne 2011-2012), s'approchant ainsi de l'objectif de 2%/an fixé par le canton de Genève pour toutes les catégories de bâtiments. Parmi les principales raisons de cette hausse figurent l'arrivée de la vague de rénovation des grands ensembles d'habitation d'après-guerre, qui représentent environ la moitié des surfaces chauffées résidentielles (hors villas) à Genève, ainsi que le durcissement des prescriptions énergétiques et l'entrée en vigueur de la nouvelle loi sur l'énergie.

Néanmoins, un suivi continu par l'administration de la dynamique des rénovations énergétiques dans le canton nécessite d'abord de mieux définir cet indicateur, ensuite d'inventorier et de qualifier les données existantes en lien avec les travaux de rénovation énergétique au sein des services de l'Etat, en vue de les regrouper dans une base de données interactive.

Les propriétaires qui ont envisagé des travaux énergétiques sur plus de 75% des bâtiments qu'ils ont soumis à autorisation durant cette période sont les communes, le canton et les institutions de droit public qui jouent un rôle exemplaire en matière d'économies d'énergie ainsi que les institutions de prévoyance professionnelle et les fondations (autres que les fondations de droit public) qui ont une vision à long terme dans la gestion de leur parc immobilier.

En ce qui concerne les rénovations énergétiques complètes de l'enveloppe, avec ou sans l'amélioration du système de production de chaleur, les taux les plus bas sont observés chez les particuliers (19%), les institutions de prévoyance (28%) et les fonds de placement immobilier et sociétés d'investissement (32%).

Les obstacles à la rénovation lourde sont nombreux et peuvent différer selon le type de propriétaires. Si les particuliers mettent en avant le problème de l'accès au financement pour entamer des rénovations complètes, les caisses de pension ne sont pas confrontées à ce problème mais doivent répondre à des exigences sévères en matière de rentabilité (de l'ordre de 4 à 6%). Ainsi, des aides mieux ciblées devraient être proposées par type de propriétaire afin d'augmenter la quantité et la qualité des rénovations envisagées.

Enfin, une analyse de la qualité des rénovations énergétiques des immeubles d'habitation d'après-guerre sélectionnés dans ce chapitre a été effectuée, mais les résultats ne seront pas présentés ici. Une analyse plus fine de 10 opérations de rénovation totalisant 50 immeubles sera présentée dans la partie 4.5 du chapitre suivant. Ce dernier analyse en profondeur la performance énergétique et économique d'une de ces opérations visant le standard Minergie.

Chapitre 4 - Retour d'expérience sur un bâtiment rénové Minergie à Onex (GE)

4.1 Contexte de l'étude

4.1.1 Analyse bibliographique

Le retour d'expérience peut être défini comme « une évaluation complète et fouillée de systèmes énergétiques innovants, en situation réelle, c'est-à-dire mis en œuvre dans le cadre de l'organisation traditionnelle de la construction et de la gestion énergétique » [64]. L'innovation, auquel il est fait référence ici, n'est pas seulement technique, mais peut être de nature variée : économique, financière, organisationnelle, etc.

Cette démarche s'applique soit après un événement (réalisation pionnière, accident ou panne d'un système), soit lorsqu'on constate un écart à la norme ou au fonctionnement normal du système. Ces évaluations ex-post permettent de créer une base de connaissance des pratiques observées, de comprendre les causes et l'amplitude des écarts entre l'objectif prévu et la réalité afin d'en tirer des enseignements pour l'avenir, de stimuler par un processus de « feedbacks » entre académiques et praticiens les bonnes pratiques (processus d'innovation incrémentale) et enfin de sensibiliser les acteurs concernés.

Le système étudié dans ce chapitre est un bâtiment résidentiel collectif rénové selon le standard de haute performance énergétique Minergie. Ce système est composé de plusieurs sous-systèmes énergétiques qui interagissent entre eux, formant des boucles de rétroaction positives ou négatives. Cette complexité est aggravée ici par le fait que le comportement des usagers influence significativement l'efficacité des sous-systèmes et par conséquent la performance énergétique planifiée du bâtiment. On distingue deux types d'usage : l'usage par les gestionnaires et l'usage par les occupants des technologies mises en place.

L'analyse de la littérature fait état de peu de publications existantes proposant des résultats de retours d'expérience sur des bâtiments rénovés. Les études sur les opérations neuves sont plus nombreuses et mettent en avant des écarts de l'ordre de 30 à 150% entre performances prévues et performances réelles [46, 65, 66, 67].

Parmi les retours sur les opérations de rénovation, l'étude REX BBC [68] réalisée dans le cadre du programme RAGE (Règles de l'Art Grenelle Environnement) nous renseigne sur les pratiques et les choix techniques actuellement retenus sur le marché français de la basse consommation d'énergie. A partir de visites de bâtiments et d'entretiens avec les acteurs de

la construction, l'étude recense de façon qualitative les difficultés, dysfonctionnements et « désordres » observés au niveau de l'isolation de l'enveloppe, l'étanchéité à l'air, la mise en œuvre des solutions et l'organisation (rénovation en site occupé). Il ressort de cette étude qu'il n'y a pas de nouveaux « désordres » dans les bâtiments à basse consommation d'énergie, mais leur impact sur la performance énergétique est aggravé.

Certains retours d'expérience se fondent sur un suivi énergétique pour expliquer les écarts entre performances attendues et consommations réelles des bâtiments. Nous citons à titre d'exemple l'évaluation technico-économique de trois immeubles d'habitation construits au 19^{ème} siècle à Mulhouse (quartier Franklin) et rénovés en 2006-2007 dans le but de ramener leurs consommations de chauffage (en énergie primaire) à 50 kWh/m²_{Shab}/an [69]. Les résultats du suivi ont montré que la consommation d'énergie pour le chauffage dépasse l'objectif visé d'un facteur 1.5, en raison principalement du comportement des usagers.

En ce qui concerne les bâtiments résidentiels des années soixante, qui recèlent un important potentiel d'économie d'énergie, on mentionne l'analyse par le LESBAT d'un immeuble résidentiel rénové selon le standard Minergie-P à Morges dans le canton de Vaud [70]. Cette opération de rénovation, qui présente plusieurs solutions innovantes au niveau de la façade (utilisation d'éléments préfabriqués) ainsi que dans la distribution de chaleur et de la ventilation, vise une division par 10 des consommations de chauffage par rapport à la situation initiale (baisse prévue de 254 à 25 MJ/m²_{SRE} par an).

Parmi les retours d'expérience qui ont été conduits également par le groupe Energie sur des bâtiments des années soixante, citons par exemple la rénovation du bâtiment résidentiel Comte Géraud à Onex (1987-1992) [49], la rénovation Minergie du bâtiment résidentiel Gros-Chêne à Onex (2008) [48] qui sera analysée dans ce chapitre et la rénovation Minergie d'un bâtiment tertiaire Polimmo (2007-2008) [71] avec PAC et sondes géothermiques.

La connaissance des performances réelles atteintes par ces bâtiments après rénovation est cruciale pour orienter les politiques énergétiques vers les objectifs fixés à moyen et long terme.

4.1.2 Cadre de l'étude et contributions des auteurs

Le bâtiment situé au 40-42 avenue du Gros Chêne à Onex fait partie du parc résidentiel collectif construit après-guerre à Genève. Il forme avec le bâtiment jumeau 36-38 une barre d'habitation située au centre de la Cité nouvelle d'Onex. En 2004, le propriétaire du bâtiment 40-42 décide d'entreprendre une rénovation énergétique de leur bâtiment afin d'obtenir le label Minergie, qui à l'époque limitait la consommation énergétique pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire à 80 kWh/m²a après rénovation. L'opération s'est déroulée fin 2007-début 2008. Il s'agissait de la première rénovation Minergie d'une telle ampleur à Genève (SRE=5'357 m²).

A la suite de cette rénovation, le groupe Energie de l'Université de Genève a été mandaté par l'Office de l'énergie du canton de Genève (OCEN) pour réaliser un suivi énergétique du bâtiment sur deux années complètes (2008-2010). L'objectif de ce retour d'expérience est de tirer des enseignements des choix technologiques faits lors de cette rénovation en vue de généraliser les bonnes pratiques à l'ensemble des bâtiments d'après-guerre.

A cet égard, un groupe d'accompagnement a été constitué avec les acteurs principaux de la rénovation, qui ont participé au processus de conception, de réalisation ou d'exploitation du projet.

Le résultat de ces deux ans de suivi a été publié en 2012 sous forme d'un rapport [48] intitulé « *Suivi énergétique du bâtiment 40-42 de l'avenue du Gros-Chêne à Onex (GE), rénové selon le standard Minergie* ». Ce rapport est l'aboutissement d'un travail mené conjointement avec Floriane Mermoud, maître assistante au groupe Energie de l'Université de Genève, sous la responsabilité du professeur Bernard Lachal. Les responsabilités au sein du groupe de travail peuvent être réparties de la façon suivante :

Bernard Lachal :	Responsable administratif
Floriane Mermoud :	Responsable du suivi énergétique et analyse des systèmes techniques
Jad Khoury :	Participation au suivi énergétique, analyse des performances énergétiques réelles versus prévues, de l'enveloppe thermique, du comportement des occupants, et analyse technico-économique et aspects financiers
Eric Pampaloni :	Support technique du monitoring (mise en place du suivi initial par Jean-Marc Zgraggen)

Il est à noter que ce chapitre reprend des résultats déjà publiés dans le rapport Gros-Chêne [48]. Enfin, nous remercions l'Office cantonal de l'énergie de l'Etat de Genève pour le financement de cette étude, ainsi que les acteurs impliqués dans le projet pour leur confiance et leur participation.

4.1.3 Contenu

Après une description au point 4.2 du bâtiment étudié et des travaux de rénovation effectués, ce chapitre présente:

- **d'abord, une analyse énergétique approfondie** au point 4.3, comprenant une évaluation de la performance énergétique du bâtiment avant et après rénovation, ainsi qu'une analyse de l'évolution de la performance et des écarts constatés entre les objectifs énergétiques fixés et les résultats atteints. Nous analyserons aussi la performance des sous-systèmes (enveloppe thermique, système de ventilation à double-flux et installation solaire thermique) ainsi que l'influence du comportement des usagers sur la performance des balcons vitrés.
- **ensuite, une analyse technico-économique et des aspects financiers** au point 4.4, comprenant une récapitulation des coûts de l'opération et une évaluation économique des sous-systèmes. Une analyse de l'incidence des coûts de rénovation sur les loyers et de la répartition du financement entre propriétaire, locataire et Etat, selon l'ancienne et la nouvelle LDTR, sera également proposée.
- **enfin, une analyse comparative de la performance énergétique et économique du bâtiment étudié avec neuf autres opérations de rénovations** réalisées récemment à Genève vient compléter ce chapitre (point 4.5).

4.2 Le bâtiment « Gros-Chêne 40-42 »

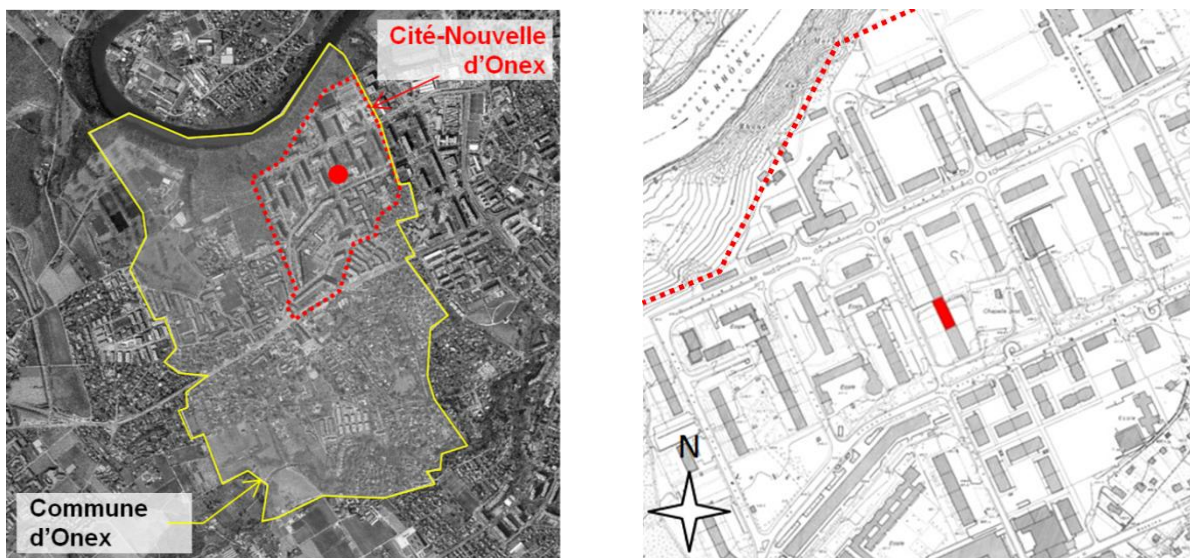
4.2.1 Contexte géographique : La Cité-Nouvelle d'Onex

Durant les années de haute conjoncture, la population genevoise a presque doublé, le problème du logement s'est imposé et plusieurs cités-satellites se sont construites en un temps record à la périphérie de la ville de Genève.

Située dans le nord-est de la commune d'Onex, la Cité Onésienne est l'une des premières cités périphériques réalisée dès le début des années soixante à Genève. Le tracé urbain de la cité suit une trame orthogonale et se fonde sur les règles mises en place par le bureau Honegger Frères en 1959. La majorité des immeubles barres, construits en série, sont implantés perpendiculairement à la route de Chancy et laissent entre eux des espaces verts.

Avec le vieillissement des bâtiments et l'évolution des exigences en termes de confort et d'efficacité énergétique, les bâtiments de la cité déjà âgée de cinquante ans arrivent simultanément en période de rénovation.

Figure 4.1. Plans de situation de la Cité-Nouvelle d'Onex et du bâtiment 40-42



Source : Système d'information du territoire genevois (SITG)

Au niveau de l'offre, la Cité-Nouvelle d'Onex bénéficie depuis 2002 sur son territoire du réseau de chauffage à distance CADIOM dont la chaleur est produite par l'incinération des ordures ménagères aux Cheneviers. La mise en service de ce réseau a permis de remplacer les chaufferies individuelles fonctionnant principalement au mazout de plus de 5'000 logements à Onex. D'après les SIG, la puissance souscrite sur la commune d'Onex s'élève à 55 MW et représente deux tiers de la puissance totale du réseau.

Etant donné la faible marge de puissance disponible sur le réseau CADIOM en hiver, ce réseau a été connecté au réseau CAD Lignon (100% gaz) en été 2012. Avant cette date, seul un programme de rénovation thermique coordonné et efficace des bâtiments raccordés au réseau CADIOM permettra de libérer de la puissance, de réduire la demande thermique des bâtiments et d'améliorer le confort des habitants.

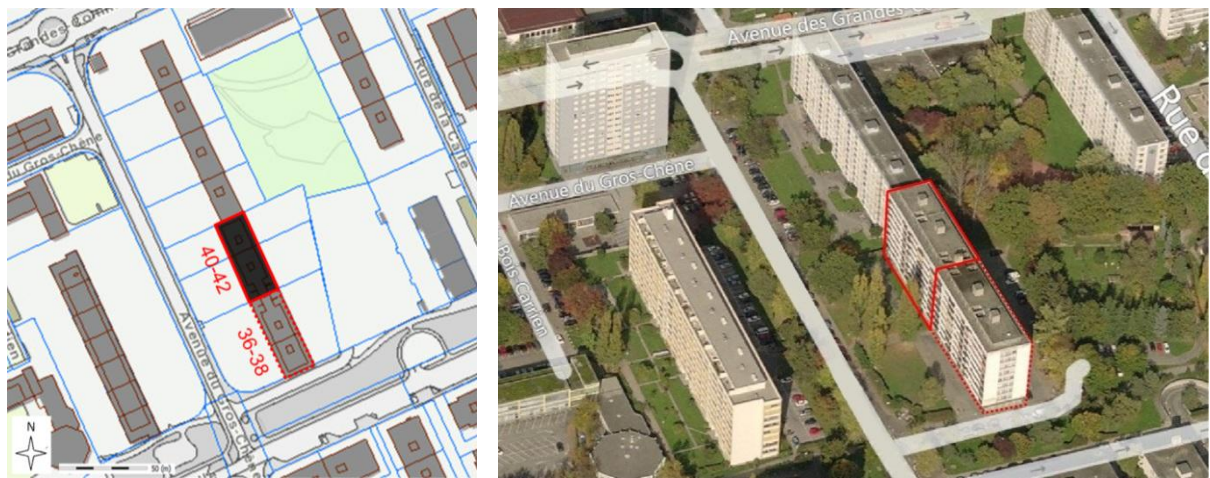
4.2.2 Description du bâtiment

4.2.2.1 Situation

Le bâtiment résidentiel locatif situé au 40-42 avenue du Gros Chêne se trouve au cœur de la Cité-Nouvelle d'Onex (cf. Figure 4.1 précédente). Il fait partie d'une barre d'habitation de 88 mètres de longueur et de 16 mètres de largeur construite en 1963.

L'ensemble locatif est composé de deux groupements d'immeubles jumelés 36-38 et 40-42, orientés sud-ouest et nord-est (cf. Figure 4.2). Il est situé sur trois parcelles de 6'150 m² (parcelles n° 935 et 936 respectivement pour les bâtiments 40 et 42 et n°743 pour le 36-38) et fait partie d'un plan localisé de quartier (PLQ n° 25'080), adopté en 1962.

Figure 4.2. Plans de situation de l'ensemble locatif



Source : Système d'information du territoire genevois (SITG)

4.2.2.2 Description sommaire

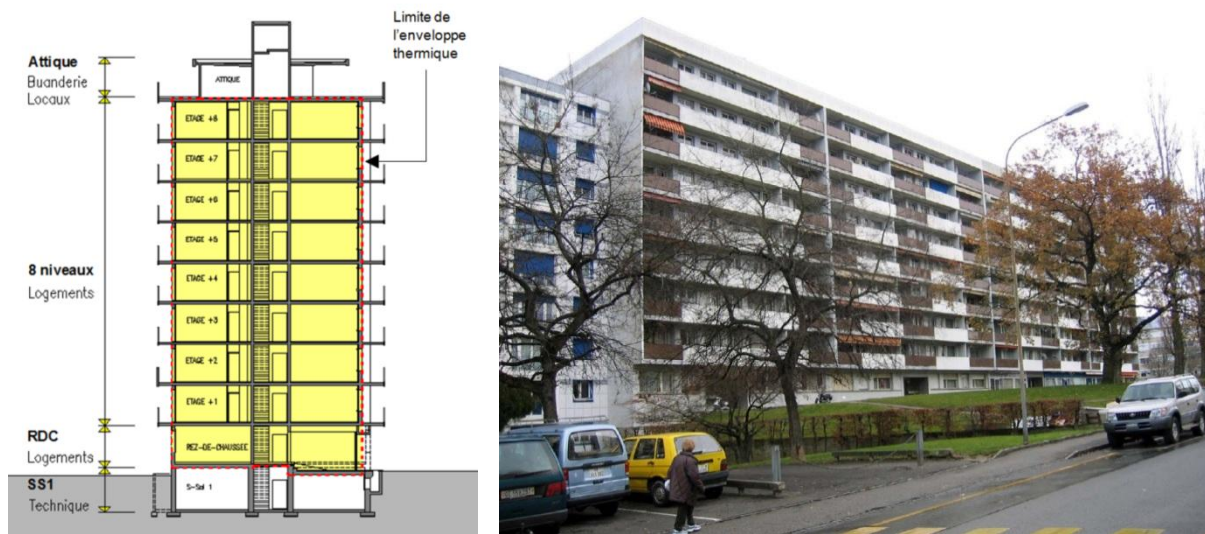
Les bâtiments 40-42 et 36-38 appartiennent à deux propriétaires différents. La société immobilière, propriétaire de l'immeuble 40-42, a décidé de rénover son bâtiment en 2004 conformément aux exigences du standard Minergie. L'opération s'est déroulée fin 2007-début 2008. Il s'agissait de la première rénovation Minergie de cette taille (5'357 m²) à Genève.

Quant au bâtiment 36-38, il a connu successivement trois propriétaires au cours des dix dernières années, malgré l'état de dégradation avancé du bâtiment. Si la stratégie choisie par le propriétaire du bâtiment 40-42 est une stratégie à long terme visant à adapter le bâtiment aux exigences actuelles et à accroître sa valeur initiale, les stratégies des propriétaires du 36-38 ont été fondées sur une vision à très court terme.

a) Répartition fonctionnelle

Les bâtiments 36-38 et 40-42 sont composés de 8 étages sur rez-de-chaussée, plus un attique et un sous-sol (cf. Figure 4.3). Au sous-sol, on trouve les abris, les dépôts et la technique. Le rez-de-chaussée comporte des logements pour le 40-42, et des surfaces non résidentielles pour le 36-38. Le local de ventilation et la buanderie se trouvent à l'attique.

Figure 4.3. Coupe type et façade principale du bâtiment avant rénovation



Source : ass architectes associés

b) Typologie

Le bâtiment 40-42 comprend 63 logements, offrant un total de 236 pièces genevoises. La circulation verticale se fait par un escalier et un ascenseur pour chacun des immeubles (allées), et dessert trois à quatre appartements par palier. Les appartements sont de type traversant, sauf sur la trame de la cage d'escalier, où les logements sont mono-orientés sud-ouest ou nord-est. Les plans d'étage se superposent et sont identiques. A l'étage, chaque appartement profite de balcons qui se développent sur sa largeur et offre à l'occupant un prolongement extérieur. Le système porteur est constitué de dalles en béton armé reposant sur des poteaux, des murs de refends et des noyaux de circulation verticale. La typologie de la façade correspond à la deuxième catégorie de façades rencontrées pendant nos visites de la Cité-Nouvelle d'Onex (cf. Figure 2.10 du chapitre 2).

c) Technique

Au niveau technique, la production de chaleur pour le chauffage et la préparation de l'eau chaude sanitaire des deux bâtiments 36-38 et 40-42 était assurée jusqu'en 2007 par deux chaudières à mazout situées dans le local technique au sous-sol. L'émission de chaleur est réalisée par des radiateurs en fonte. L'air vicié est extrait mécaniquement des zones humides et rejeté simplement à l'extérieur.

d) Surface de référence énergétique (SRE)

Le tracé rouge sur la Figure 4.3 indique la limite de l'enveloppe thermique qui sépare le volume chauffé du bâtiment de l'environnement extérieur. La norme SIA 416/1/3.2.1 définit la surface de référence énergétique (SRE) comme « la somme de toutes les surfaces de plancher des étages et des sous-sols qui sont inclus dans l'enveloppe thermique et dont l'utilisation nécessite un chauffage et une climatisation ». La SRE officielle des bâtiments 40-42, utilisée dans le justificatif, est de 6'336 m². Nous avons repris le calcul selon la norme SIA 416/1 en se basant sur les plans fournis par l'architecte et nous avons obtenu une SRE de 5'357 m², soit environ 1'000 m² de moins que la valeur mentionnée.

Avant travaux, cette différence est probablement due à une erreur de calcul, car en ajoutant la surface des balcons (880 m^2) à la surface chauffée ($5'357 \text{ m}^2$) on aboutit à peu près à la valeur mentionnée. Ceci permet de déduire que la surface des balcons a donc été incluse dans la surface énergétique. Après correction, la SRE retenue avant travaux est de $5'357 \text{ m}^2$.

Après travaux, la limite de l'enveloppe thermique n'a pas changé, et par conséquent la SRE reste égale à $5'357 \text{ m}^2$. On rappelle qu'après une relecture attentive de la norme SIA 416/1/2.2.1.3, la position de l'enveloppe thermique dans le cas de locaux non chauffés (notamment le cas des balcons vitrés ou loggias) s'arrête au niveau de la paroi présentant le plus petit coefficient de déperdition thermique. Pour le bâtiment 40-42 rénové, cela correspond à la paroi intérieure des loggias. En conséquence, la surface des loggias ajoutées ne doit pas être comprise dans la surface de référence énergétique.

4.2.2.3 Caractéristiques générales du bâtiment 40-42

Le Tableau 4.1 ci-dessous donne les principales caractéristiques du bâtiment 40-42.

Tableau 4.1. Caractéristiques générales du bâtiment 40-42

Description	Unité	
Adresse	Av. du Gros-Chêne 40-42	
Emplacement	1213 Onex, Genève	
Catégorie de bâtiment	Habitat collectif 100%	
Année de construction	1963	
Année de rénovation	2008	
Certification (< 2010)	Rénovation Minergie	
Conservation du patrimoine	Aucune	
Surface du terrain (parcelles n°935 et n°936)	3'305	m^2
Surface énergétique SRE avant et après travaux	5'357	m^2
Surface de l'enveloppe pondérée (A_{th})	3'396	m^2
Facteur d'enveloppe (A_{th}/SRE)	0.63	-
Volume SIA 116	20'200	m^3
Nombre de logements	63	logements
Nombre de pièces	236	pièces
Nombre d'habitants	134	habitants
Surface énergétique moyenne par habitant	40	$\text{m}^2/\text{habitant}$
Catégorie de logements	Logements à loyer libre	
Etat locatif net avant travaux (2006)	740'000	CHF
Coût de la rénovation	5'668'000	CHF HT
Coût de la rénovation / SRE	1'058	$\text{CHF}/\text{m}^2_{\text{SRE}}$
Coût de la rénovation / Cube SIA 116	281	$\text{CHF}/\text{m}^3_{\text{SIA}}$

4.2.2.4 Plans et façades du bâtiment

Les Figures 4.4 à 4.9 présentent les plans et les façades du bâtiment, élaborés par le bureau ass architectes associés. Les modifications engendrées par la rénovation sont indiquées en couleur rouge.

Figure 4.4. Plan rez-de-chaussée du bâtiment 40-42 (rénové) et du 36-38 (non renové)

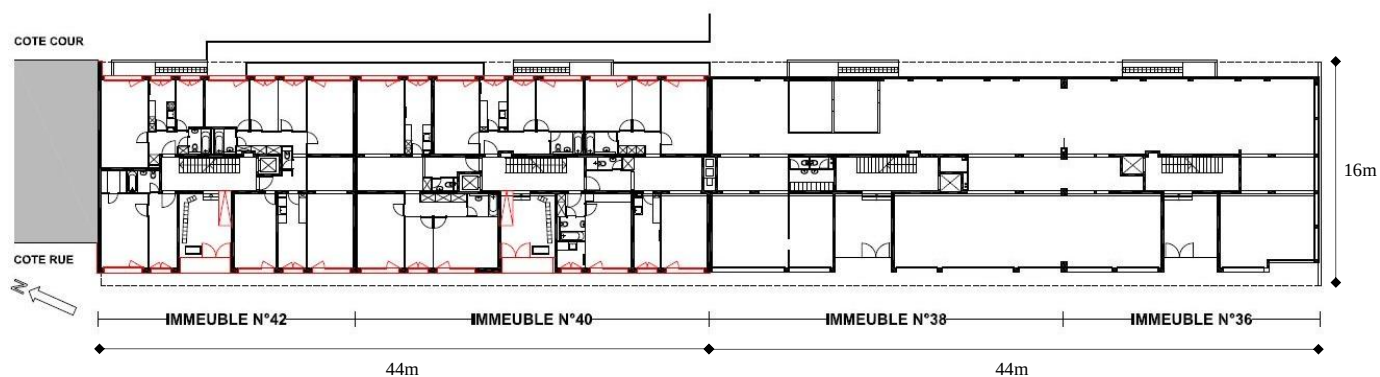


Figure 4.5. Plan étage type du bâtiment 40-42 (rénové) et du 36-38 (non renové)

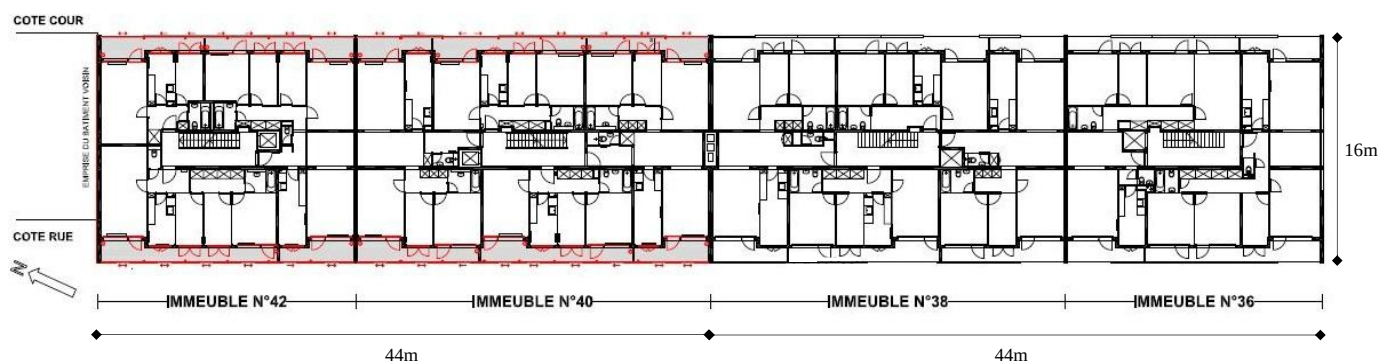


Figure 4.6. Plan étage type du bâtiment 40-42 (rénové)

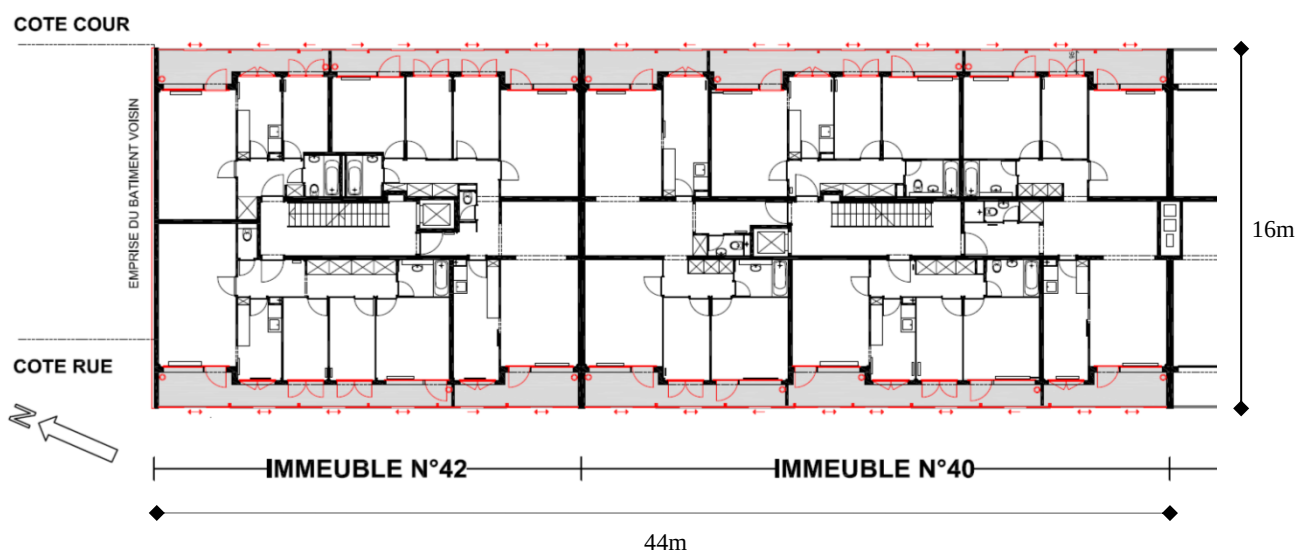


Figure 4.7. Plan masse du 40-42 (rénové avec capteurs solaires) et du 36-38 (non rénové)

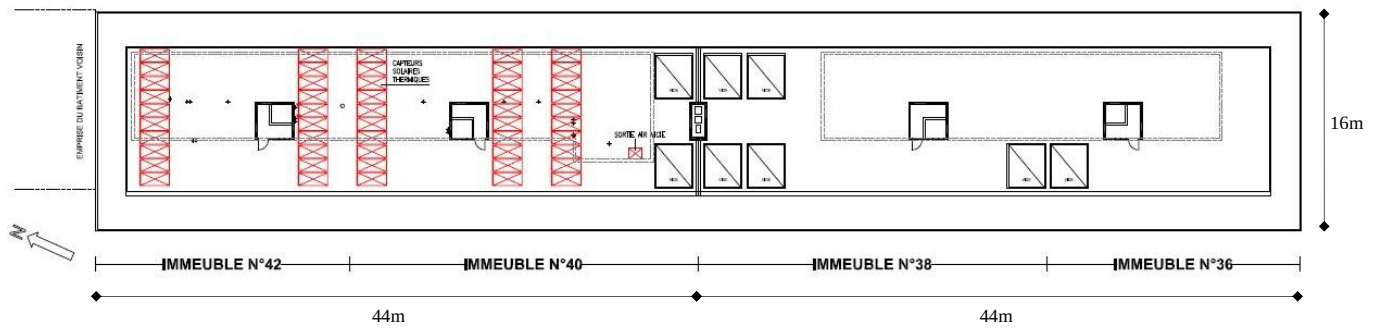


Figure 4.8. Façades sud-ouest du bâtiment 40-42 (rénové) et du 36-38 (non rénové)

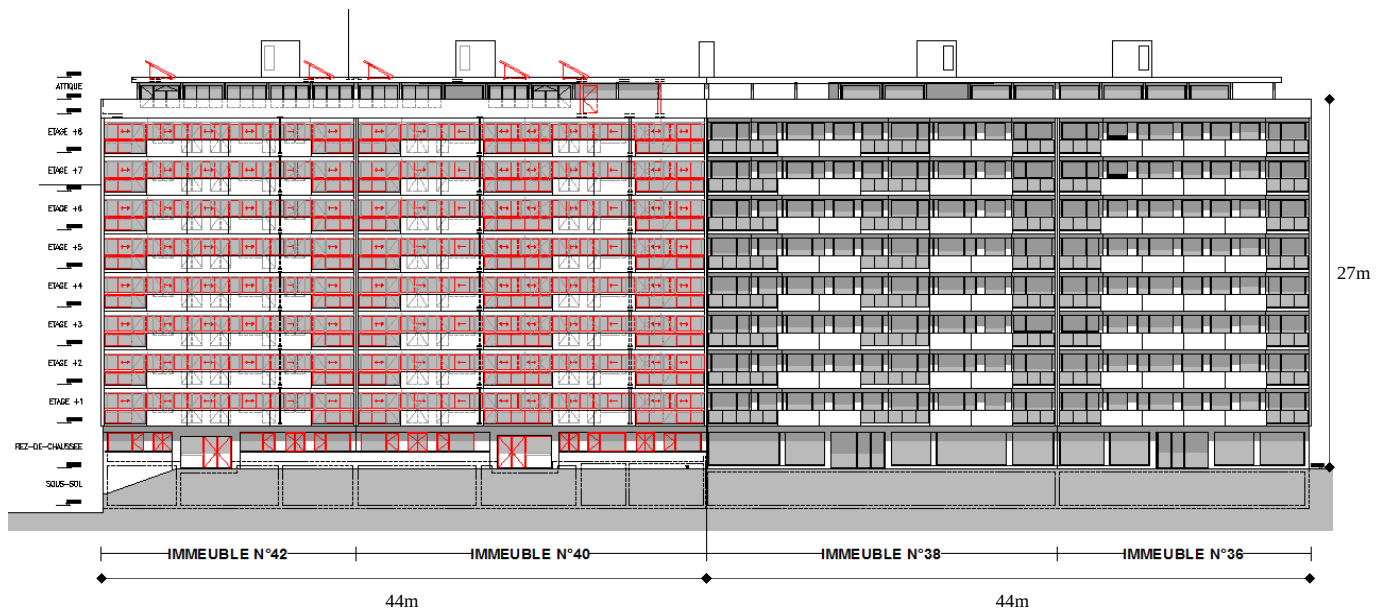
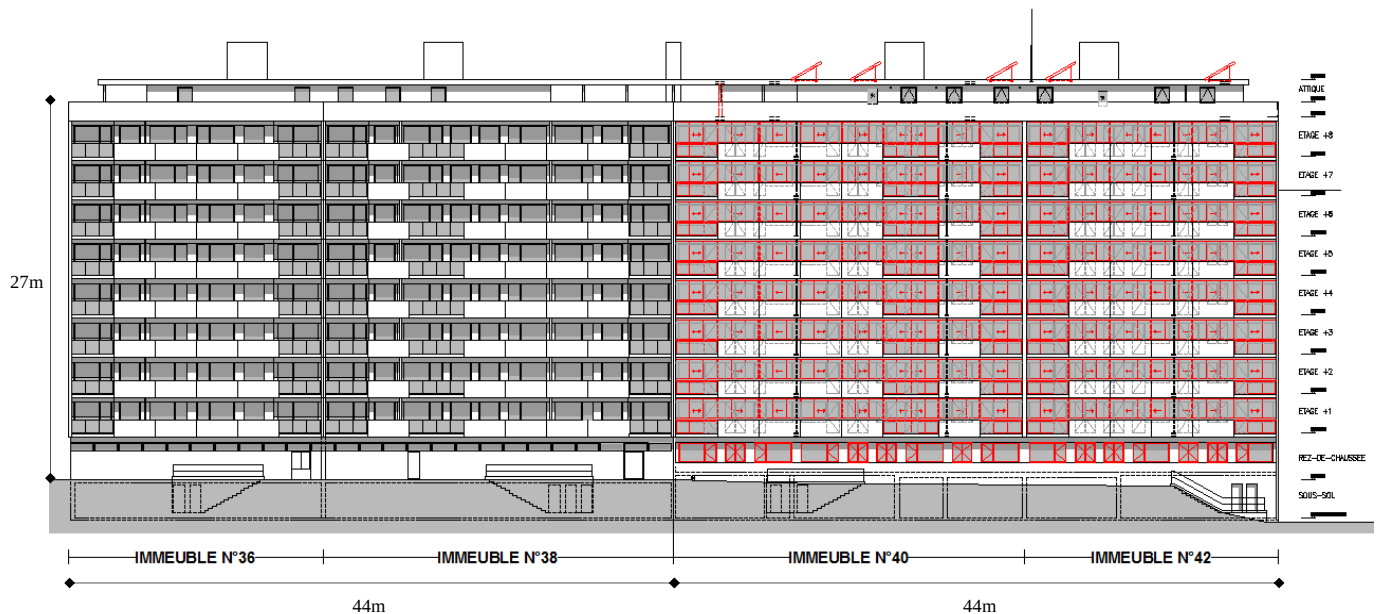


Figure 4.9. Façades nord-est du bâtiment 36-38 (non rénové) et du 40-42 (rénové)



Les Figures 4.10 et 4.11 présentent divers photos des bâtiments et de leur environnement.

Figure 4.10. Photos du bâtiment 40-42 (rénové) et du 36-38 (non renové)



Vue de la façade sud-ouest (côté rue)



Vue de la façade nord-ouest (pignon)



Vue de la façade nord-est (côté cour)



A gauche (non renové), à droite (renové)

Figure 4.11. Vue panoramique des barres d'habitation de la Cité-Nouvelle d'Onex



4.2.3 Concept de rénovation

Les façades orientées sud-ouest et nord-est des bâtiments 36-38 et 40-42 se distinguent par des balcons en béton armé avec dalles filantes qui se développent sur toute la largeur des étages. Ces balcons donnent une profondeur à la façade et protègent les parties vitrées des apports solaires. Les fenêtres existantes sont en bois munies d'un simple vitrage. Une bonne partie des éléments constructifs de la façade sont préfabriqués en béton armé.

Depuis sa réalisation, ce bâtiment n'avait subi aucune intervention hormis la réfection des conduites sanitaires. Les problèmes relevés par le maître d'œuvre lors de l'analyse du bâtiment sont la carbonatation des éléments en béton armé, une très faible isolation de l'enveloppe thermique, des zones communes défraîchies et une étanchéité des toitures à remplacer. Ces problèmes sont symptomatiques des immeubles construits durant cette époque. La Figure 4.12 présente la vue de la façade principale du bâtiment 40-42 avant et après rénovation.

Figure 4.12. Façades sud-ouest avant rénovation (à gauche) et après rénovation (à droite)



Le bâtiment 40-42 est compact avec un facteur d'enveloppe de 0.63. Ce facteur représente le rapport entre la surface pondérée de l'enveloppe thermique ($3'396 \text{ m}^2$) et la surface de référence énergétique du bâtiment ($5'357 \text{ m}^2$). Les interventions envisagées sur l'enveloppe peuvent être divisées en deux catégories : les travaux d'amélioration énergétique et les travaux d'entretien et de réparation.

4.2.3.1 Travaux d'amélioration énergétique

Les travaux visant à améliorer la performance énergétique de l'enveloppe consistent principalement en la fermeture des balcons en loggias sur toute la largeur du bâtiment, le remplacement des simples vitrages par des doubles vitrages et l'isolation périphérique de la toiture, du plancher, des murs du rez-de-chaussée et du mur pignon (cf. Figure 4.13).

La liste détaillée des actions réalisées sur l'enveloppe figure ci-après. Les performances thermiques des principaux composants de l'enveloppe avant et après rénovation sont présentées au point 4.3.7.1.

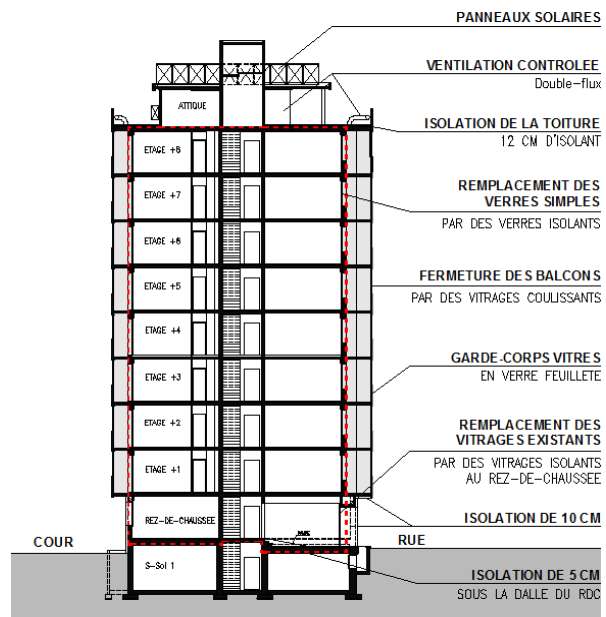
a) Isolation périphérique de l'enveloppe

- **Toiture attique** : Remplacement de l'isolation existante de la toiture attique (composition classique : 3 cm d'isolation en liège) par 12 cm d'isolation en mousse rigide de polyuréthane avec une protection en gravier ($U_{visé} = 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- **Plancher** : Pose d'une isolation de 5 cm d'épaisseur rapportée sous la dalle du rez-de-chaussée ($U_{visé} = 0.4 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- **Façades (rez-de-chaussée et mur pignon)** : Pose d'une isolation périphérique de type polystyrène d'une épaisseur de 10 cm recouverte de plaques d'Eternit sur les parties pleines des façades sud-ouest et nord-est du rez-de-chaussée, ainsi que sur le mur pignon nord-ouest ($U_{visé} = 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$).

b) Création de loggias sur les façades SO et NE (étage 1 à 8)

- **Paroi intérieure** : Remplacement des verres simples des ouvertures donnant sur les balcons par des verres isolants avec conservation des cadres en bois existants.
- **Paroi extérieure** : Fermeture des balcons par des vitrages coulissants en verre simple, fixés sur les parapets des balcons. Les garde-corps métalliques des balcons ont été remplacés par des garde-corps vitrés en verre feuilleté. Les parties pleines n'ont pas été isolées. La valeur U globale visée pour une loggia fermée est de $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- **Occultation** : Mise en place de stores en toile avec manœuvre manuelle, contre la face intérieure des vitrages coulissants des balcons.

Figure 4.13. Coupe type après rénovation



c) Remplacement des fenêtres (rez-de-chaussée)

- Remplacement complet des fenêtres et des portes vitrées des halls d'entrées du rez-de-chaussée ($U_{visé} = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$).

4.2.3.2 Travaux d'entretien

Les principaux travaux d'entretien qui ont accompagné les travaux énergétiques sur l'enveloppe sont les suivants : traitement de la carbonatation par lavage à haute pression des éléments en béton, étanchéité et revêtement de la toiture de la superstructure, revêtement de sol des balcons (type résine), travaux de maçonnerie divers et de réfection de la peinture. A cela s'ajoutent les travaux de gros œuvre : installation complète de chantier et mise en place des échafaudages.

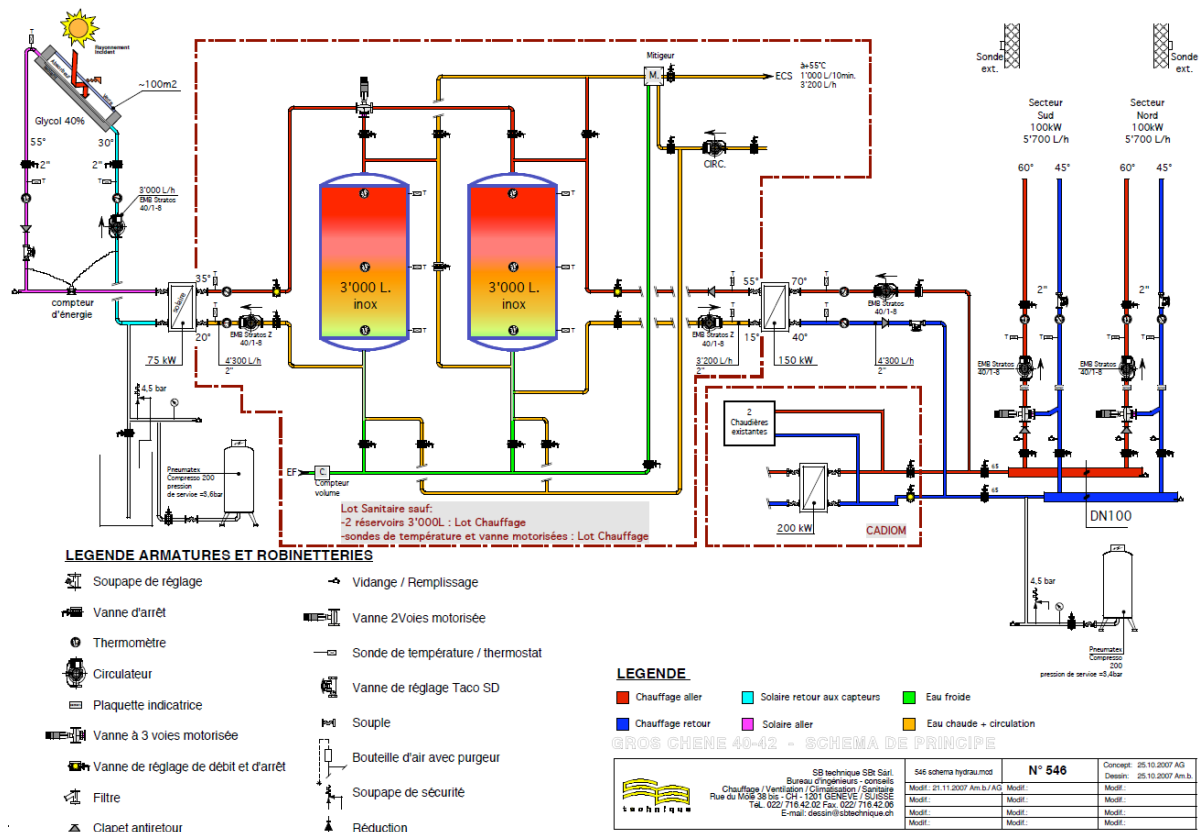
4.2.4 Concept énergétique

a) Systèmes techniques

Avant rénovation, le bâtiment 40-42 était chauffé et alimenté en ECS grâce à deux chaudières au mazout partagées avec le bâtiment 36-38. Les pièces humides (cuisines et locaux sanitaires) étaient pourvues d'une extraction d'air vicié classique sans récupération de chaleur. L'air neuf était amené par infiltration à travers les éléments d'enveloppe. L'émission de chaleur dans les locaux était réalisée par des radiateurs en fonte.

La rénovation du bâti a été l'occasion de connecter les bâtiments 40-42 et 36-38 au réseau de chauffage à distance CADIOM. Les anciennes chaudières bi-combustibles ont été conservées et servent de secours en cas de panne de CADIOM. Une installation solaire permet le préchauffage de l'ECS du bâtiment 40-42. Le schéma de principe des installations de production de chaleur est présenté dans la Figure 4.14 ci-dessous.

Figure 4.14. Schéma des installations de production de chaleur réalisé par le bureau d'ingénieurs conseils SB technique



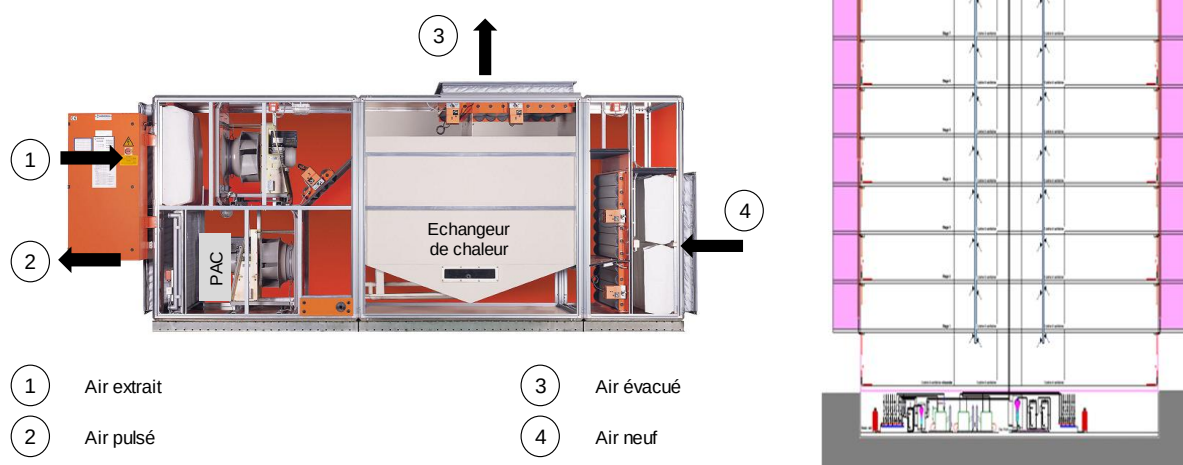
La distribution de chaleur dans le bâtiment n'a pas été modifiée : elle est subdivisée en deux circuits distincts (nord et sud). Les pompes de circulation du circuit de chauffage, largement surdimensionnées, ont été remplacées dans la chaufferie. Les radiateurs du bâtiment ont été équipés de vannes thermostatiques.

Une ventilation mécanique contrôlée double-flux a été mise en place pour assurer le renouvellement constant de l'air dans les pièces et récupérer la chaleur de l'air vicié. L'air extrait des pièces humides via les colonnes montantes pré-existantes est regroupé grâce à un

collecteur horizontal et envoyé vers un monobloc placé en superstructure en attique composé d'un échangeur de chaleur et d'une pompe à chaleur intégrée.

Une partie de la chaleur contenue dans l'air extrait est ainsi transférée à l'air neuf après passage par l'échangeur de chaleur. La pompe à chaleur fonctionnant sur l'air extrait permet de relever la température de l'air pulsé à plus de 20°C. Il est ensuite apporté depuis le monobloc grâce à des gaines de ventilation isolées traversant les loggias. La pulsion dans les pièces se fait par des caissons d'aération ajoutés au-dessus des portes fenêtres. Un schéma de principe du monobloc de ventilation et de la distribution dans le bâtiment est proposé dans la Figure 4.15 ci-dessous.

Figure 4.15. Schéma de principe du système de ventilation (monobloc de ventilation à gauche et distribution en passant par les loggias à droite)



Le Tableau 4.2 regroupe les caractéristiques des principaux équipements de production de chaleur et de ventilation du bâtiment 40-42. Ces données sont issues des rapports d'exploitation de la société Enerbat.

Tableau 4.2. Caractéristiques des principales installations techniques du bâtiment 40-42

	Equipement	Marque	Modèle	Quantité	Emplacement
Production de chaleur	Echangeur CADIOM	Fahrer	OMC 35/40 EE	1	Chaufferie SS1
	Chaudière bi-combustible gaz/mazout (secours)	Ygnis	Pyronox LR 585	2	Chaufferie
	Capteurs solaires vitrés	Schweizer	FK-V4	50 (101 m ²)	Toiture
	Echangeur solaire	Fahrer	OMC 35/40 EE	1	Chaufferie SS
	Ballons solaires	Feuron	UFW/0 3000+FSP 3000	2*3000 L	Chaufferie SS
Ventilation	Monobloc de ventilation avec PAC intégrée	Menerga	Type: DOSOLAIR Appareil 541601	1	Attique

Les photos des principales installations techniques sont présentées à la Figure 4.16 suivante.

Figure 4.16. Vue des principales installations techniques



Capteurs solaires thermiques



Chaudières de secours



Arrivée et échangeur CADIOM



Ballons solaires



Monobloc de ventilation



Gaine de pulsion d'air



Caissons de pulsion dans les pièces



Air évacué du monobloc en toiture

b) Eclairage des communs d'immeubles

En complément des actions entreprises sur les systèmes techniques, des travaux d'assainissement de l'éclairage des communs d'immeubles du bâtiment 40-42 ont été réalisés, profitant de la révision en juillet 2005 de l'article 131 du règlement d'application de la loi sur les constructions et les installations diverses (RALCI, L 5 05.01) et d'une incitation du programme d'économie d'électricité éco21³⁷. Cette révision a mis fin à l'obligation d'éclairer les parties communes des immeubles 24h/24h ouvrant une perspective importante d'économies d'électricité pour les propriétaires.

Avant travaux, les parties communes du bâtiment 40-42 étaient équipées d'ampoules incandescentes (60W) et de luminaires fluorescents (1x36W) avec ballast électromagnétique qui consommaient environ 21'500 kWh/an (83% en mode 24h et 17% en mode 12h)³⁸. Ils ont été remplacés par des luminaires à 2 tubes (2x28W) avec ballast électronique et détecteurs de présence, ce qui permet d'abaisser automatiquement l'intensité lumineuse de 90% lorsqu'il n'y a plus de mouvements. L'économie d'électricité prévue pour cette action est de l'ordre de 80% et provient essentiellement de la réduction du temps de fonctionnement à pleine puissance ainsi que de l'amélioration de l'efficacité des appareils électriques.

c) Synthèse

Le Tableau 4.3 suivant fournit un comparatif des caractéristiques énergétiques des bâtiments 40-42 rénové et 36-68 non rénové et raccordé à CADIOM, avant et après travaux.

Tableau 4.3. Récapitulatif des caractéristiques énergétiques des bâtiments 40-42 et 36-38

		Bâtiment 40-42	Bâtiment 36-38
Enveloppe		Rénovation complète	Laissé en l'état
Production de chaleur	Avant	Chaudières communes pour les 2 bâtiments	
	Après	Passage à CADIOM + Solaire thermique (ECS)	Passage à CADIOM
Ventilation	Avant	Extraction simple	Extraction simple
	Après	VMC double flux avec PAC intégrée	Laissé en l'état
Eclairage commun		Assainissement de l'éclairage des parties communes	Laissé en l'état

³⁷ Pour plus d'informations sur le programme éco21 de SIG, consulter le site : <http://www.eco21.ch/>

³⁸ Selon l'étude réalisée par AMS Electricité Sàrl du 09.09.2008 et nos observations sur le terrain.

4.2.5 Concept de mesure

Afin d'évaluer la performance énergétique du bâtiment rénové, un système de mesure (47 points en tout) a été mis en place. Il s'agit des mesures de conditions météorologiques, des principaux flux d'énergie thermique (températures et débits correspondants) et électrique de la pompe à chaleur, des ventilateurs du monobloc et du circuit solaire.

La campagne s'est déroulée entre le 1^{er} octobre 2008 et fin de l'année 2010, portant ainsi sur deux saisons de chauffage. L'ensemble des données ont été rapatriées à un datalogger Campbell CR7 qui fait une acquisition instantanée toutes les 10 secondes et enregistre les valeurs moyennées toutes les 5 minutes. Les grandeurs suivantes ont été quantifiées grâce au suivi :

Production de chaleur :

- énergie fournie par CADIOM (bâtiments 40-42 et 36-38)
- énergie distribuée sur le réseau de chauffage (bâtiments 40-42 et 36-38)
- énergie distribuée sur le réseau d'ECS (bâtiments 40-42 et 36-38)
- énergie produite par les capteurs solaires (avant stockage)
- énergie apportée par CADIOM à l'ECS (appoint)
- pertes de bouclage ECS

Ventilation :

- énergie extraite et pulsée dans le bâtiment
- énergie récupérée par la ventilation double flux
- énergie apportée par la pompe à chaleur

Consommations électriques induites :

- circulateur solaire
- ventilateurs d'extraction et de pulsion
- pompe à chaleur

La liste complète des sondes installées sur les bâtiments est fournie en Annexe A16 et leur positionnement est indiqué dans le rapport Gros-Chêne [48], aux Annexes 2 et 3.

Je tiens à remercier ici Floriane Mermoud comme responsable du suivi énergétique et toutes les personnes qui ont contribué à la mise en place du système de mesures, en particulier Eric Pampaloni et Jean-Marc Zraggen.

En complément de ces mesures, une campagne de mesures sur une année complète par pas de temps de 10 minutes a été effectuée dans 4 loggias et pièces adjacentes du bâtiment rénové. Cette campagne sera décrite au point 4.3.7.4. A cela s'ajoute une série de mesures ponctuelles de valeurs U effectuées pour les principaux éléments de l'enveloppe thermique.

4.3 Analyse énergétique

4.3.1 Hypothèses retenues

Les résultats présentés dans cette partie reposent sur les hypothèses suivantes :

- **Comptabilisation de l'énergie** : Les résultats du suivi énergétique ont été exprimés en énergie utile et non en énergie finale afin de s'affranchir du changement de vecteur énergétique entre avant et après rénovation (passage du mazout à CADIOM).

En se référant au bilan simplifié des flux d'énergie présenté à la Figure 2.12 du chapitre 2, l'énergie utile correspond à la chaleur (nette fournie et produite sur site) nécessaire pour le chauffage et la préparation de l'eau chaude sanitaire après conversion, comptabilisée à l'entrée du volume chauffé. Le besoin de chaleur à ce niveau est considéré comme demande thermique nette. La différence avec la notion de demande thermique (Q_{hww}) utilisée dans le chapitre précédent réside dans les pertes de stockage de l'eau chaude sanitaire et dans les pertes de conduites de chauffage dans les zones non chauffées (Q_{std}).

- **Correction climatique** : Afin de rendre comparables les résultats du suivi énergétique (2008-2010) avec les données avant rénovation (2003-2007), il convient de les normaliser par rapport à une météo de référence pour tenir compte de la rigueur du climat.

Bien que la météo de référence utilisée avant 2010 (2'659 DJ_{12/18}, selon la norme SIA 381/3:1982) ait l'avantage d'être largement employée, nous avons choisi d'utiliser pour la normalisation des consommations la météo moyenne observée sur Genève depuis 1992, soit 2'507 DJ_{12/18}. Cette normalisation, déjà retenue dans le rapport Gros-Chêne [48], est plus représentative de la consommation réelle du bâtiment et des économies d'énergie effectivement engendrées par la rénovation.

Les résultats normalisés pour les deux années du suivi ont été moyennés afin de tenir compte des aléas techniques qui peuvent survenir sur une année particulière. La comparaison des résultats avec les données du chapitre précédent nécessite de faire la conversion de 2'507 à 2'659 DJ_{12/18}.

4.3.2 Performance énergétique avant travaux (période 2003-2007)

4.3.2.1 Période de référence

Etant donné que la rénovation a été réalisée à la fin de l'année 2007, nous avons choisi la période 2003-2007 comme période de référence pour l'analyse de la performance énergétique avant travaux. La consommation de référence devient ainsi la consommation moyenne des quatre années 2003-2004 à 2006-2007.

4.3.2.2 Consommation de mazout

Sur la base des dates de relevé et des indices du compteur du brûleur notés par le chauffagiste sur le carnet de la chaufferie, nous avons ressorti les volumes de mazout consommés pour chaque période. Pour rappel, la chaufferie fournissait la chaleur aux deux bâtiments 36-38 et 40-42 (indiqué par la suite 36-42). La consommation de mazout a été calculée entre le 1^{er} juin et le 31 mai de chaque année et normalisée sur 365 jours. Le Tableau 4.4 donne la consommation annuelle de mazout en litres de 2003 à 2007 pour les bâtiments 36-42 et par déduction pour le bâtiment 40-42.

Tableau 4.4. Consommation de mazout normalisée sur 365 jours
(période du 1er juin au 31 mai) de 2003 à 2007

Bâtiment Année	36-42 N.jours	36-42 Litre	36-42 Litre 365j	40-42 Litre 365j	40-42 Litre 365j/m ²
2003-2004	342	194'041	207'091	103'545	19.3
2004-2005	360	195'450	198'164	99'082	18.5
2005-2006	362	185'742	187'281	93'641	17.5
2006-2007	340	150'864	161'957	80'978	15.1
Moy. 2003-2007	-	-	188'623	94'312	17.6

Les consommations thermiques des bâtiments 36-38 et 40-42 sont considérées identiques, étant donné que les bâtiments sont de même typologie, jumeaux à quelques exceptions près et disposant chacun d'une surface de référence énergétique de 5'357 m². Ainsi, la consommation moyenne 2003-2007 du bâtiment 40-42, sans correction climatique et normalisée sur 365 jours constitue la moitié de la consommation de la chaufferie, soit 94'312 litres ou 17.6 litre/m²_{SRE}.

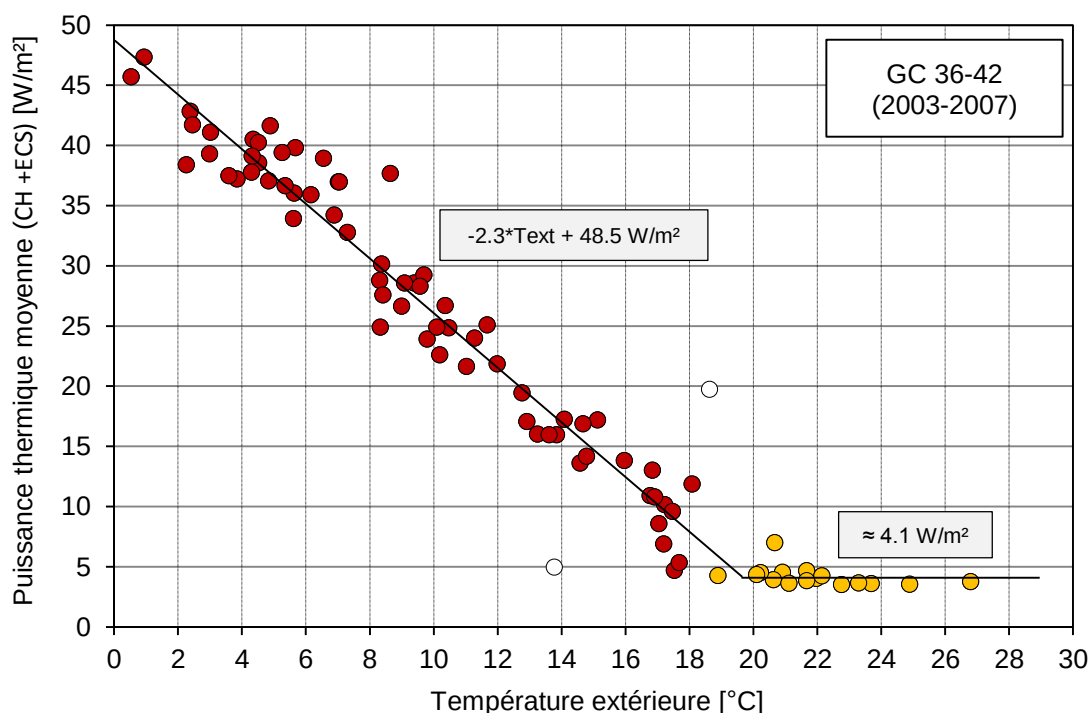
4.3.2.3 Signature énergétique

La Figure 4.17 donne la puissance moyenne, fournie pour le chauffage et la production de l'eau chaude sanitaire, en fonction de la température extérieure. La signature mazout a été réalisée à partir des relevés disponibles sur la période 2003-2007 (en moyenne, 2 relevés par mois). La puissance thermique est exprimée en W/m²_{SRE} selon le pouvoir calorifique inférieur. Les températures sont celles de MétéoSuisse pour la station de Genève-Cointrin.

A une température extérieure de 0°C, la puissance moyenne fournie est de 48.5 W/m²_{SRE}. La température de non chauffage se situe entre 18 et 20°C. La pente de la signature reflète la sensibilité de l'enveloppe à la température extérieure (pertes par transmission à travers les éléments d'enveloppe et les pertes par renouvellement d'air). En dehors des périodes de chauffage, la puissance moyenne fournie pour la préparation de l'eau chaude sanitaire est de 4.1 W/m² (129 MJ/m²a).

En considérant un rendement de 80% pour la chaudière à mazout qui arrive en fin de vie, les besoins d'ECS (moyenne 2003-2007) atteint alors 103 MJ/m² par an. Cette valeur est très proche des besoins d'ECS mesurés dans le cadre du suivi énergétique (102 MJ/m² moyenne 2008-2010, cf. 4.3.3.2). Sur cette base, le rendement de la chaudière est estimé à 80%.

Figure 4.17. Signature énergétique mazout des bâtiments 36-42 (idem 40-42) avant rénovation (période 2003-2007)



4.3.2.4 Demande thermique normalisée

La consommation thermique englobe la consommation de chaleur pour le chauffage des pièces et la production de l'eau chaude sanitaire. Pour pouvoir comparer la consommation thermique d'un bâtiment sur plusieurs années, il est indispensable de considérer la rigueur du climat pour la partie chauffage.

Le Tableau 4.5 fournit la consommation thermique annuelle du bâtiment 40-42 avant rénovation, calculée selon le pouvoir calorifique inférieur PCI du mazout et normalisée par rapport à la météo moyenne observée sur Genève depuis 1992 (2'507 DJ_{12/18}). La consommation de référence, qui représente l'énergie nette fournie (E_{hww}) sur la période 2003-2007, atteint alors 641 MJ/m²a. La consommation annuelle varie entre 593 MJ/m²a pour 2005-2006 et 680 MJ/m²a pour 2003-2004.

La consommation annuelle d'eau chaude rapportée à la surface de référence énergétique ($E_{ww} = 128 \text{ MJ/m}^2$) a été calculée à partir des besoins d'ECS mesurés dans le cadre du suivi énergétique et d'une fraction utile de production de 80% (cf. 4.3.2.3). Elle correspond également à celle donnée par la signature énergétique (129 MJ/m²a). Le reste représente la part de chauffage (E_h) qui varie entre 465 MJ/m² pour 2005-2006 et 553 MJ/m² pour 2003-2004, avec une moyenne qui se situe à 513 MJ/m²a pour la période de référence 2003-2007.

Enfin, la **demande thermique normalisée (Q_{hww})** pour le chauffage et la préparation de l'ECS du bâtiment 40-42 **est estimée à 513 MJ/m²** (moyenne 2003-2007) en considérant une fraction utile de 80%. Si on normalise cette valeur à 2'659 DJ_{12/18} et on la compare à la demande thermique des bâtiments de logements collectifs genevois en 2010 (cf. point 2.5.6), il ressort qu'**environ 10% des bâtiments construits entre 1961 et 1970 ont des besoins thermiques supérieurs au bâtiment 40-42** avant rénovation (la médiane étant située à 444

MJ/m² par an). Tous ces bâtiments nécessitent aujourd'hui à l'instar du bâtiment 40-42 une rénovation énergétique.

Tableau 4.5. Consommation thermique normalisée du bâtiment 40-42 avant rénovation

Années		2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2003-2007
Consommation thermique						
Mazout 36-42 (365 j)	[Litre]	207'091	198'164	187'281	161'957	-
Mazout 40-42 (365 j)	[Litre]	103'545	99'082	93'641	80'978	-
Mazout PCI *	[MJ/an]	3'727'630	3'566'955	3'371'063	2'915'225	-
Mazout PCI *	[MJ/m ²]	696	666	629	544	
Correction climatique avec 2507 DJ _{12/18}						
DJ _{12/18} (SIA 381/3)	[-]	2591	2517	2734	2060	-
DJ _{12/18} référence	[-]	2507	2507	2507	2507	-
Facteur de correction	[-]	0.977	0.997	0.942	1.152	-
Consommation thermique normalisée DJ						
Chauffage + ECS (E _{hww}), PCI	[MJ/m ²]	680	664	593	627	641
ECS (E _{ww}), PCI	[MJ/m ²]	128	128	128	128	128
Chauffage (E _n) PCI	[MJ/m ²]	553	536	465	499	513
Demande thermique** normalisée DJ						
Chauffage + ECS (Q _{hww})	[MJ/m ²]	544	531	474	501	513

* Facteur de conversion du Mazout EL basé sur le PCI = 36 MJ/unité.

** Demande de chaleur pour le chauffage et l'ECS calculée en considérant une fraction utile de production de 80%.

4.3.2.5 Indice de dépense de chaleur

L'indice de dépense de chaleur (IDC) avant rénovation a été calculé selon l'ancienne directive applicable jusqu'à 2010 [34], en utilisant le pouvoir calorifique inférieur du mazout et la météo de référence 2'659 DJ_{12/18}. Exprimé en mégajoules par mètre carré et par an, cet indicateur est défini et discuté au point 2.5.3.2 du chapitre 2.

La consommation thermique du bâtiment 40-42, normalisée avec 2'507 DJ_{12/18}, est de 641 MJ/m² sur la période de référence 2003-2007 (cf. Tableau 4.5). En considérant la météo de référence 2'659 au lieu de 2'507 DJ_{12/18}, **l'indice de dépense de chaleur s'élève à 668 MJ/m² par an**. Cette valeur se situe dans la partie haute, entre le neuvième décile (D9 : 646 MJ/m²) et le dernier centile (C99 : 797 MJ/m²), de la distribution en 2010 des IDC des bâtiments de logements collectifs genevois construits entre 1961 et 1970 (cf. Figure 2.16). L'IDC médian des bâtiments de cette tranche s'élève à 506 MJ/m²a.

On remarque aussi que l'indice calculé (668 MJ/m²a) pour la période de référence 2003-2007 diffère de la moyenne des IDC (545 MJ/m²a) introduits par le gestionnaire énergie du bâtiment via l'outil Web Indice dans la base de données de l'Office cantonal de l'énergie. Cette différence de 123 MJ/m² peut s'expliquer comme suit :

- La SRE de 6'407 m² utilisée pour le calcul de l'IDC dans Web Indice est erronée. Elle a été vraisemblablement calculée à partir de la surface de la toiture du bâtiment et le nombre d'étages, considérant ainsi les balcons comme surface chauffée. Après correction de la SRE (5'357 m² au lieu de 6'407 m²), l'IDC Web indice corrigé devient 651 MJ/m²a et s'approche de l'IDC calculé (668 MJ/m²a).
- La différence restante de 17 MJ/m² (2.5%) entre l'IDC calculé et l'IDC Web indice corrigé est due au fait que les volumes de mazout dans la base de données Web Indice n'ont pas été normalisés sur 365 jours.

L'IDC du bâtiment 40-42 avant rénovation est donc de 668 MJ/m²a (période 2003-2007).

4.3.2.6 Consommation électrique

La consommation électrique des ménages et des communs d'immeubles a été analysée sur la base des données du fournisseur SIG. Le Tableau 4.6 présente l'évolution entre 2003 et 2007 de la consommation électrique des parties communes (y compris les services généraux) notée « El_Comm » et des ménages « El_Résid » du bâtiment 40-42. Ces données ont été normalisées sur 365 jours, puis rapportées à la surface de référence énergétique du bâtiment.

Tableau 4.6. Consommation annuelle d'électricité en MJ/m²_{SRE} des communs d'immeuble et des ménages du bâtiment 40-42 (période de référence 2003-2007)

Electricité [MJ/m ² a]	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2003-2007*	2004-2007
Ménages 40-42	-	91	89	95	91	92
Communs 40-42	-	31	29	28	30	29
Total 40-42	-	122	118	123	121	121

* Pour établir le bilan 2003-2007, l'électricité consommée durant la période 2003-2004 (données non disponibles) est prise égale à la consommation 2004-2005. Cependant, nous avons choisi d'utiliser plus loin au point 4.3.4.6 le bilan 2004-2007 pour analyser l'évolution de la consommation électrique du bâtiment entre avant et après rénovation.

L'indice de consommation électrique du bâtiment 40-42 est de 121 MJ/m²a (moyenne 2003-2007). La consommation moyenne des ménages s'élève à 91 MJ/m²a (2'150 kWh/logement) et représente 75% de la consommation totale. La part restante (25% ; 30 MJ/m²a) comprend essentiellement l'éclairage des parties communes, les 2 ascenseurs, les 2 ventilateurs d'extraction simple, la buanderie du 40-42, ainsi que la moitié de la consommation de la chaufferie commune qui alimente les deux bâtiments 36-38 et 40-42. Sa consommation a été estimée à partir de la puissance des équipements et des heures de fonctionnement.

4.3.2.7 Bilan par usage avant travaux

Les Figures 4.18 à 4.20 présentent respectivement l'évolution entre 2003 et 2007 (période de référence avant rénovation) de la consommation énergétique par usage du bâtiment 40-42, du coût et des émissions de CO₂ équivalent associées. Tous les résultats sont présentés dans les tableaux à l'Annexe A17. Les différents usages identifiés sont :

- Energie thermique pour le chauffage E_h (2'507 DJ_{12/18}) « Th_Chauffage »
- Energie thermique pour l'eau chaude E_{ww} « Th_ECS »
- Électricité des ménages « El_Résid »
- Électricité des communs d'immeubles « El_Comm »

Figure 4.18. Consommations d'énergie électrique et thermique (normalisée par rapport à 2'507 DJ_{12/18}) ramenées à un mètre carré de plancher chauffé (SRE) et exprimées en MJ par m² et par an (MJ/m²a)

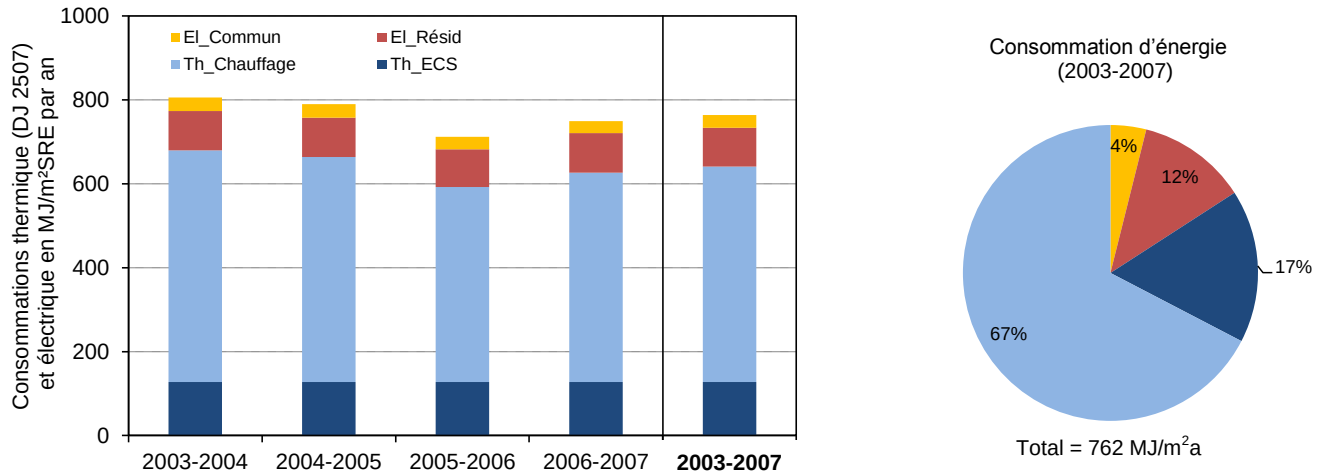


Figure 4.19. Coût de l'énergie d'exploitation ramené à un mètre carré de plancher chauffé (SRE) et exprimé en franc suisse hors taxe par mètre carré et par an (CHF/m²a)

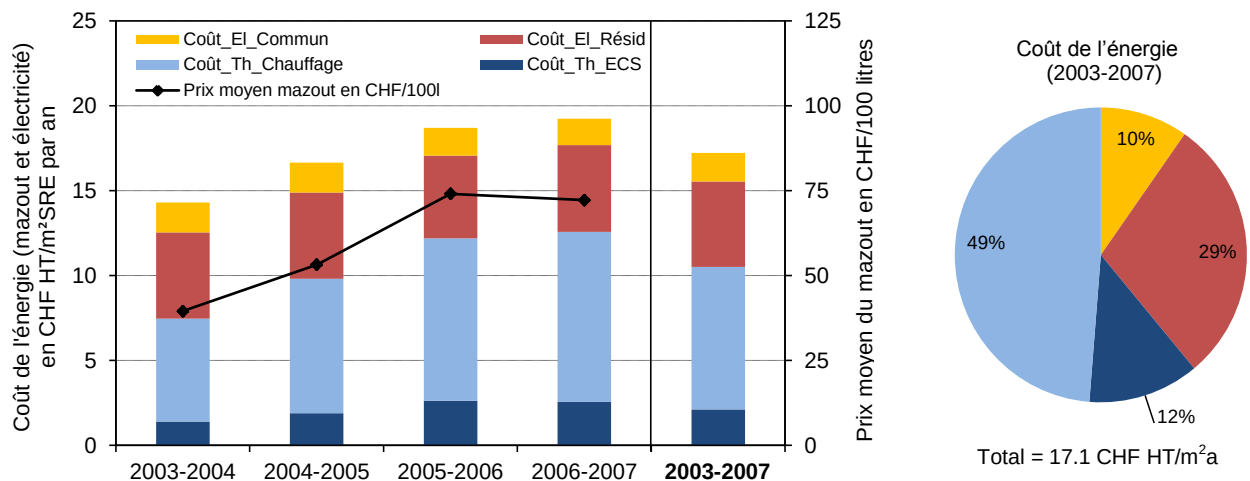
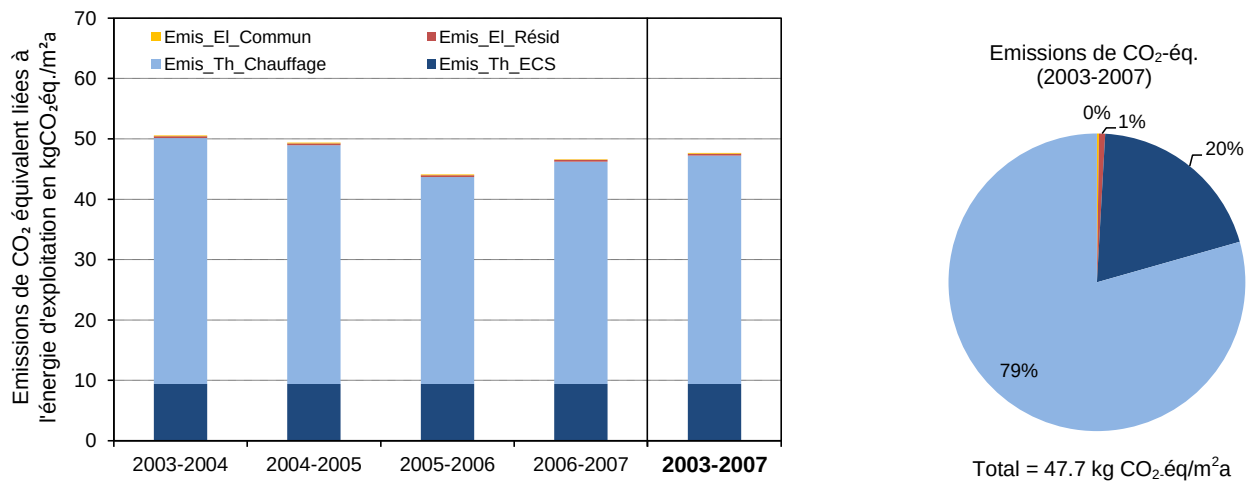


Figure 4.20. Émissions associées à l'énergie d'exploitation, ramenées à un mètre carré de plancher chauffé (SRE) et exprimées en kilogramme de CO₂ équivalent par m² et par an (kg CO₂éq./m²a)



a) Consommation d'énergie

La Figure 4.18 présente l'évolution de la consommation d'énergie thermique et électrique par usage entre 2003 et 2007, ainsi que la consommation de référence (moyenne 2003-2007). La consommation totale du bâtiment varie entre 711 MJ/m² (2005-2006) et 802 MJ/m² (2003-2004), avec une consommation de référence située à 762 MJ/m²a (2003-2007).

84% de cette consommation est imputée à la consommation thermique, dont 80% est destinée au chauffage et 20% à la production de l'eau chaude sanitaire. La consommation électrique représente 16% de la consommation totale et se répartit comme suit : 75% pour la consommation électrique des ménages et 25% pour l'électricité des communs d'immeubles.

Enjeux: L'enjeu énergétique se trouve dans la partie thermique, en particulier au niveau du poste chauffage. Ce dernier présente un gisement important d'économie d'énergie à exploiter. La consommation d'eau chaude sanitaire est proche de la moyenne observée sur Genève et dépend plus du nombre d'habitants que de la surface chauffée. Enfin, la consommation électrique ne peut être négligée et présente aussi un fort potentiel d'amélioration. Les économies réalisables sont plus importantes dans les appartements qui supposent un changement de comportement des occupants, mais elles sont plus facilement mobilisables dans les parties communes.

b) Coût de l'énergie d'exploitation

La Figure 4.19 présente l'évolution du coût de l'énergie d'exploitation par usage entre 2003 et 2007, ainsi que celui de la période de référence (moyenne 2003-2007). Ce coût dépend principalement de deux paramètres : la quantité d'énergie consommée et le prix de l'énergie. Pour l'électricité, nous avons considéré le tarif profil simple vital bleu 2012-2013 des Services Industriels de Genève (SIG), étant donné que les tarifs des années précédentes ne figuraient pas sur leur site internet. Pour le mazout, nous avons utilisé le prix moyen en CHF par 100 litres entre le 1^{er} juin et le 31 mai de chaque année en se référant à l'indice suisse des prix à la consommation [72]. Le tracé sur la Figure 4.19 montre que le prix du mazout a presque doublé entre 2003-2004 et 2006-2007.

Le coût hors taxes de l'énergie consommée varie entre 14.1 CHF/m² (2003-2004) et 19.2 CHF/m² (2006-2007), avec une moyenne située à 17.1 CHF/m²a pour la période de référence 2003-2007. 61% de ce coût est imputé à l'énergie thermique, dont 80% est destiné au chauffage et 20% à la production de l'eau chaude. Le coût de l'électricité représente 39% du coût total et se répartit comme suit: 75% pour l'électricité des ménages et 25% pour les communs d'immeubles.

Enjeux: Malgré des consommations énergétiques assez stables, la facture énergétique a augmenté rapidement en raison de la flambée du prix du mazout qui a presque doublé entre 2003 et 2007 (cf. Annexe A17). L'enjeu économique est important mais diffère si on se positionne du côté du locataire ou du propriétaire. En fait, le propriétaire ne paye que la facture d'électricité des communs d'immeubles, de laquelle il peut encore soustraire l'électricité dédiée aux prestations thermiques, comme l'électricité consommée par les circulateurs de chauffage et les brûleurs de la chaudière.

Pour le bâtiment 40-42, l'électricité facturée au propriétaire représente moins de 10% du coût total de l'énergie consommée entre 2003 et 2007, soit 1.6 CHF HT/m²a. Le reste (15.5 CHF HT/m²a) est payé par le locataire pour le chauffage des locaux et de l'eau chaude sanitaire et pour l'électricité des ménages.

Le loyer médian à Genève définit par le seuil de la LDTR (loi sur les démolitions, transformations et rénovations des maisons d'habitation) s'élève en 2011 à 3'405 francs par pièce et par an. En considérant une surface moyenne par pièce de 23 m², identique à celle du bâtiment 40-42, le loyer médian serait de l'ordre de 150 CHF/m² par an.

Ainsi, **le coût de l'énergie payée par le locataire** pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité des ménages **ne représente à l'heure actuelle qu'environ 10% du loyer médian genevois**, reflétant ainsi le bas prix de l'énergie.

La décision d'entreprendre des actions d'amélioration de la performance énergétique sur ce bâtiment revient au propriétaire qui investit dans les travaux, mais le locataire bénéficie de la baisse des charges énergétiques. Cela représentait jusqu'en 2010 un frein aux travaux énergétiques. L'entrée en vigueur de la nouvelle loi sur l'énergie en août 2010 à Genève a permis le report de la baisse des charges énergétiques sur les loyers. Ce point sera repris en détail dans l'analyse économique au point 4.4.5.

c) Emissions de CO₂-équivalent associées

La Figure 4.20 présente l'évolution des émissions de CO₂ équivalent associées à l'énergie d'exploitation par usage entre 2003 et 2007, ainsi que les émissions moyennes 2003-2007. Ces émissions dépendent du contenu énergétique et des facteurs d'émissions de CO₂ des agents énergétiques.

L'électricité vitale bleu fournie au bâtiment provient de l'énergie hydraulique et contient 12.4 grammes d'équivalents CO₂ par kWh selon les SIG, alors que le facteur d'émissions retenu pour le mazout extra-léger est de 73.7 tCO₂/TJ [73].

Les émissions totales de CO₂-équivalent varient entre 50.5 kg CO₂-éq/m² (2003-2004) et 44.1 kg CO₂-éq/m² (2005-2006). La moyenne sur la période 2003-2007 est de 47.7 kg CO₂-éq/m²_{SRE} par an. La quasi-totalité de ses émissions (99%) est imputée à la consommation thermique, dont 80% est destinée au chauffage et 20% à la production de l'eau chaude sanitaire.

Enjeux: Du point de vue environnemental (émissions de gaz à effet de serre), les émissions associées à la consommation thermique représentent la quasi-totalité des émissions totales en raison de la nature de l'énergie électrique distribuée par les Services industriels de Genève.

d) Synthèse

Le Tableau 4.7 fournit une synthèse de la performance énergétique, économique et environnementale par usage du bâtiment 40-42 pour la période de référence 2003-2007 (avant rénovation), et des enjeux associés notamment la relation propriétaire/locataire.

Tableau 4.7. Tableau récapitulatif de la performance du bâtiment 40-42 avant rénovation (2003-2007) et enjeux associés

	Période référence 2003-2007	Thermique		Electrique	
		Chauffage	ECS	Ménages	Commun
Consommation d'énergie totale	762 MJ/m ² a	67%	17%	12%	4%
Emissions de CO ₂ - éq. de l'énergie d'exploitation	47.7 kg CO ₂ -éq/m ² a	79.4%	19.7%	0.7%	0.2%
Coût de l'énergie d'exploitation	17.1 CHF HT/m ² a	49%	12%	29%	10%
	Facture payée par	Locataire			Propriétaire
	APE* décidée par	Propriétaire	Propriétaire	Locataire	Propriétaire

* APE : Actions d'amélioration de la performance énergétique

4.3.3 Performance énergétique après travaux (période 2008-2010)

4.3.3.1 Période de référence

Le retour d'expérience, confié au groupe Energie de l'Université de Genève, sur le bâtiment 40-42 rénové Minergie a été effectué sur deux années complètes du 1^{er} octobre 2008 au 30 septembre 2010. Nous avons étendu le périmètre du suivi énergétique au bâtiment 36-38 non rénové (bâtiment jumeau du 40-42) qui servira de référence pour la période 2008-2010. La situation devient comme suit :

- Bât. 36-42 2003-2007 : référence 1 (avant rénovation ; mazout)
- Bât. 36-38 2008-2010 : référence 2 (non rénové ; passage à CADIOM)
- Bât. 40-42 2008-2010 : objet de l'étude (rénové ; passage à CADIOM)

Le bilan énergétique des bâtiments 36-38 (non rénové) et 40-42 (rénové) est présenté et discuté ci-après. Les données complètes mois par mois sur les deux années de suivi sont disponibles à l'Annexe A18.

4.3.3.2 Demande thermique nette

La demande thermique nette pour le chauffage et l'ECS des bâtiments 36-38 et 40-42 est présentée dans le Tableau 4.8. Ces valeurs sont issues du suivi énergétique et reprises du rapport Gros-Chêne [48].

Tableau 4.8. Demande thermique nette des bâtiments 36-38 et 40-42 (2008-2010)
(résultats repris du rapport Gros-Chêne [48])

Années de suivi		Bât. 40-42		Bât. 36-38	
		2008-2009	2009-2010	2008-2009	2009-2010
Demande chauffage*	[MJ/m ² a]	281	281	436	431
Demande ECS	[MJ/m ² a]	103	101	102	102
TOTAL (chauffage + ECS), sans corr. climatique**	[MJ/m ² a]	384	382	538	533
DJ _{12/18} (SIA 381/3)	[-]	2571	2658	2571	2658
DJ _{12/18} référence	[-]	2507		2507	
Demande chauffage normalisée	[MJ/m ² a]	274	265	425	406
TOTAL (chauffage + ECS), avec corr. climatique	[MJ/m ² a]	377	366	527	508
TOTAL (moyenne 2008-2010)	[MJ/m²a]	372		518	
ECS (moyenne 2008-2010)	[MJ/m ² a]	102		102	
Chauffage (moyenne 2008-2010)	[MJ/m ² a]	270		416	

*La demande de chauffage du bâtiment 40-42 est la somme de l'énergie nécessaire à compenser les pertes par l'enveloppe et de l'énergie perdue par la ventilation, apports gratuits déduits. La demande de chauffage du bâtiment 36-38 est calculée comme la différence entre l'énergie totale apportée par CADIOM au bâtiment 36-38 et les besoins d'énergie pour la production de l'ECS (des pertes de stockage annuelles de 10% de l'énergie effectivement distribuée sur le réseau d'ECS ont été considérées).

**Toutes les données brutes mesurées sur les bâtiments 36-38 et 40-42 sont disponibles à l'Annexe A18.

On remarque que la demande thermique du bâtiment 40-42 pour les deux années de suivi après rénovation est très proche, signe que les résultats sont représentatifs du comportement futur du bâtiment. L'écart de demande de chauffage entre les bâtiments 36-38 (non rénové) et 40-42 (rénové Minergie) est de l'ordre de 35% après correction climatique. La demande thermique nette du bâtiment 40-42 est en moyenne de 372 MJ/m²a sur la période 2008-2010, tandis que celle du bâtiment 36-38 est de 518 MJ/m²a, soit une différence de 146 MJ/m²a.

4.3.3.3 Diagrammes de flux d'énergie

Les Figures 4.21 et 4.22 présentent respectivement les bilans énergétiques détaillés des bâtiments 40-42 (rénové Minergie) et 36-38 (non rénové). Les données présentées sont la moyenne des résultats du suivi sur deux années consécutives (octobre 2008 à septembre 2010). Les valeurs sont ramenées à 2'507 DJ_{12/18}/an et exprimées en MJ/m²_{SRE} (SRE de 5'357 m² pour chacun des bâtiments).

On peut lire sur les diagrammes de flux que la demande totale de chaleur (énergie pour le chauffage, la ventilation et l'ECS) du bâtiment 40-42 est de 449 MJ/m² (262+85+102) ou (347+102), tandis que la demande thermique nette qui ne tient pas compte de l'énergie récupérée par la ventilation contrôlée est de 372 MJ/m² (347+102-77). Pour le bâtiment 36-38, la demande thermique (totale ou nette) est de 518 MJ/m² (416+102). L'utilisation des systèmes de ventilation avec récupération de chaleur rend plus complexe la comptabilisation de la demande de chaleur qui nécessite dorénavant d'être précisée (totale ou nette).

Figure 4.21. Diagramme de flux pour le bâtiment 40-42 (moyenne 2008-2010)

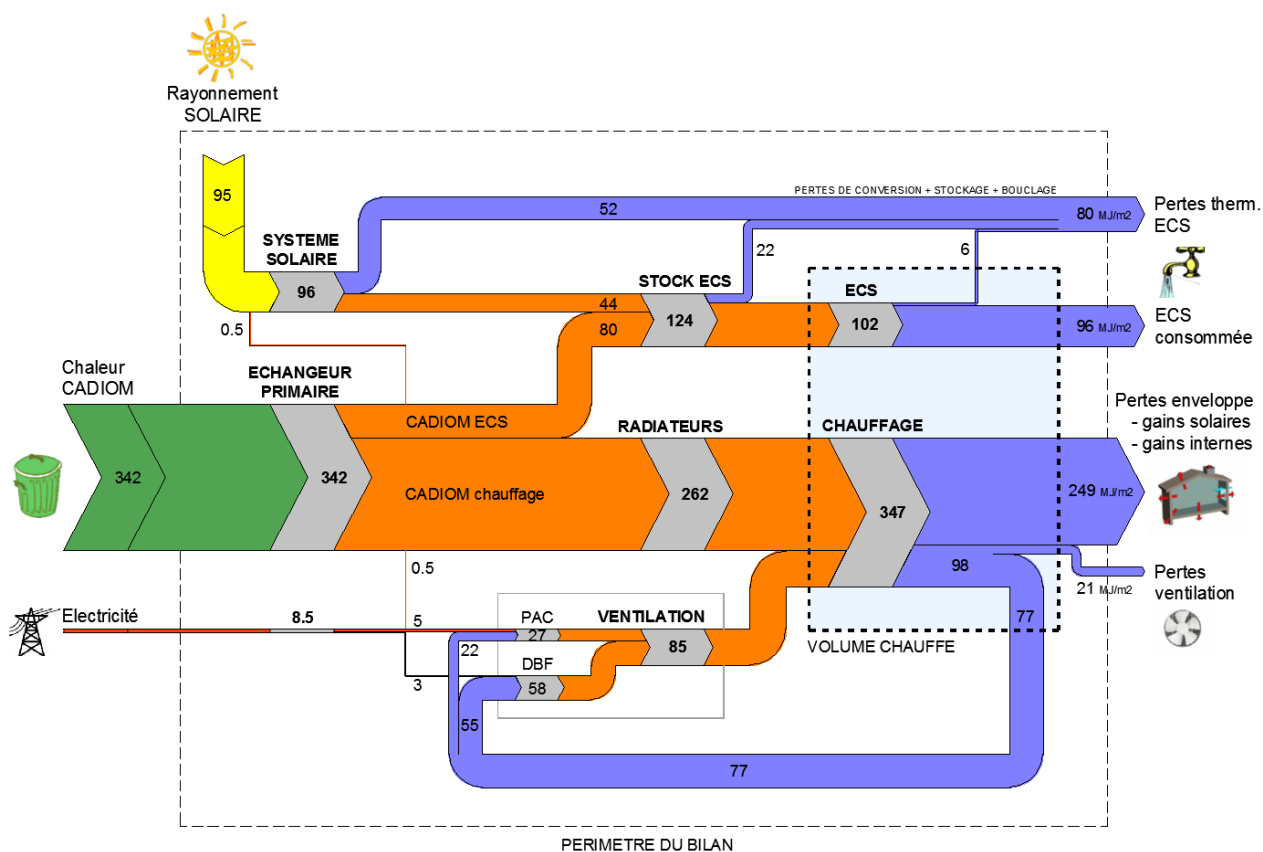
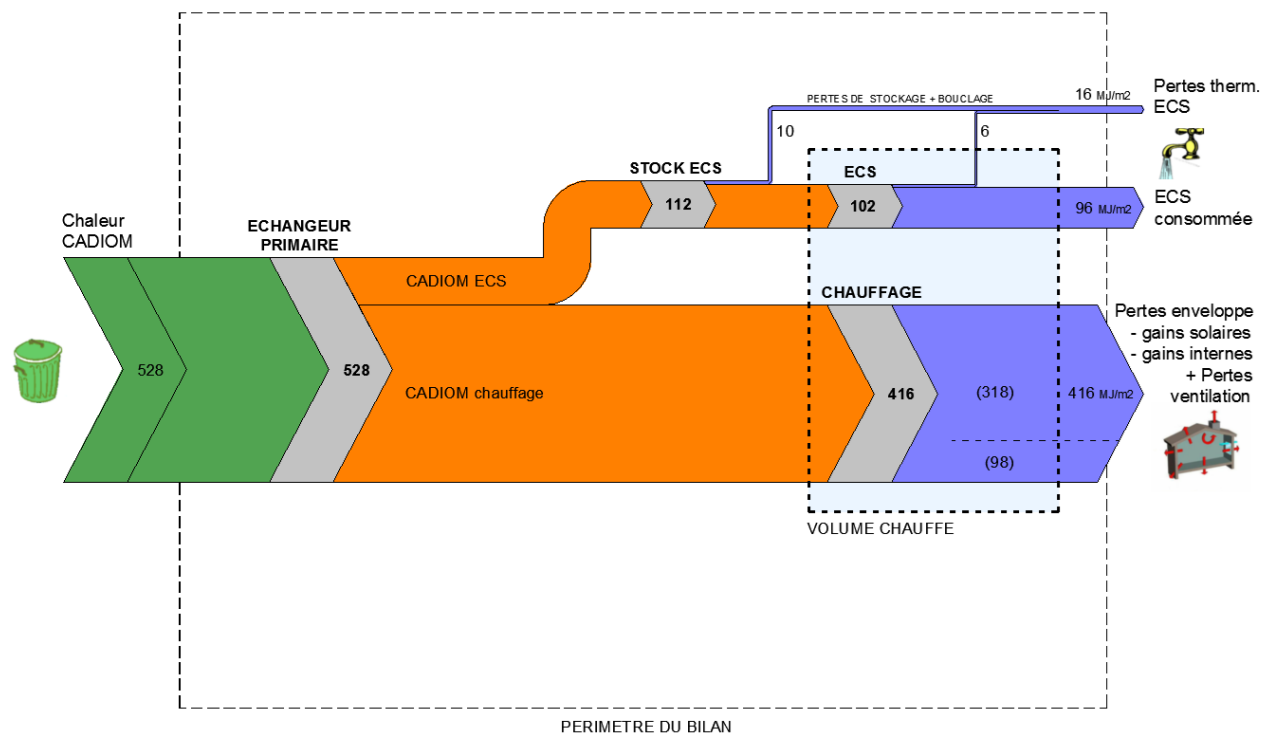


Figure 4.22. Diagramme de flux pour le bâtiment 36-38 (moyenne 2008-2010), référence 2



Remarque : Les données présentées sont exprimées en $\text{MJ/m}^2_{\text{SRE}}$ par an (SRE de $5'357 \text{ m}^2$ pour chacun des bâtiments). Elles représentent la moyenne des résultats du suivi sur 2 années (octobre 2008 à septembre 2010) corrigés par rapport à la météo de référence $2'507 \text{ DJ/an}$.

Bien que la demande annuelle en eau chaude sanitaire du bâtiment 36-38 a été considérée identique à la demande moyenne du bâtiment 40-42 (102 MJ/m^2), l'énergie dévolue à la production de l'ECS (pertes de stockage comprises) est plus élevée dans le deuxième cas (124 MJ/m^2 pour le bâtiment 40-42 contre 112 MJ/m^2 pour le bâtiment 36-38). Ceci est dû principalement à la surproduction estivale du système solaire qui induit une augmentation des pertes de stockage.

L'énergie destinée à la production de l'ECS du bâtiment 40-42 est couverte à 65% par la chaleur à distance CADIOM et à 35% par le solaire thermique. Le bâtiment respecte ainsi les exigences actuelles de la nouvelle loi sur l'énergie qui prévoit une couverture de 30% des besoins en eau chaude sanitaire par du solaire thermique lorsque la toiture est rénovée. La ventilation contrôlée (VDF et PAC intégrée) permet de réduire les pertes par ventilation à $21 \text{ MJ/m}^2\text{a}$. Enfin, l'énergie nette fournie au bâtiment est de $342 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ (sous forme de chaleur CADIOM) alors que l'énergie produite sur site est de $44 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ (chaleur solaire).

4.3.3.4 Dynamique annuelle de la demande

La Figure 4.23 présente l'évolution de la puissance thermique journalière fournie pour le chauffage et la préparation de l'eau chaude sanitaire du bâtiment 40-42 entre le 1^{er} octobre 2009 et le 30 septembre 2010. Les valeurs sont exprimées en W/m^2 ($\text{SRE}=5357 \text{ m}^2$).

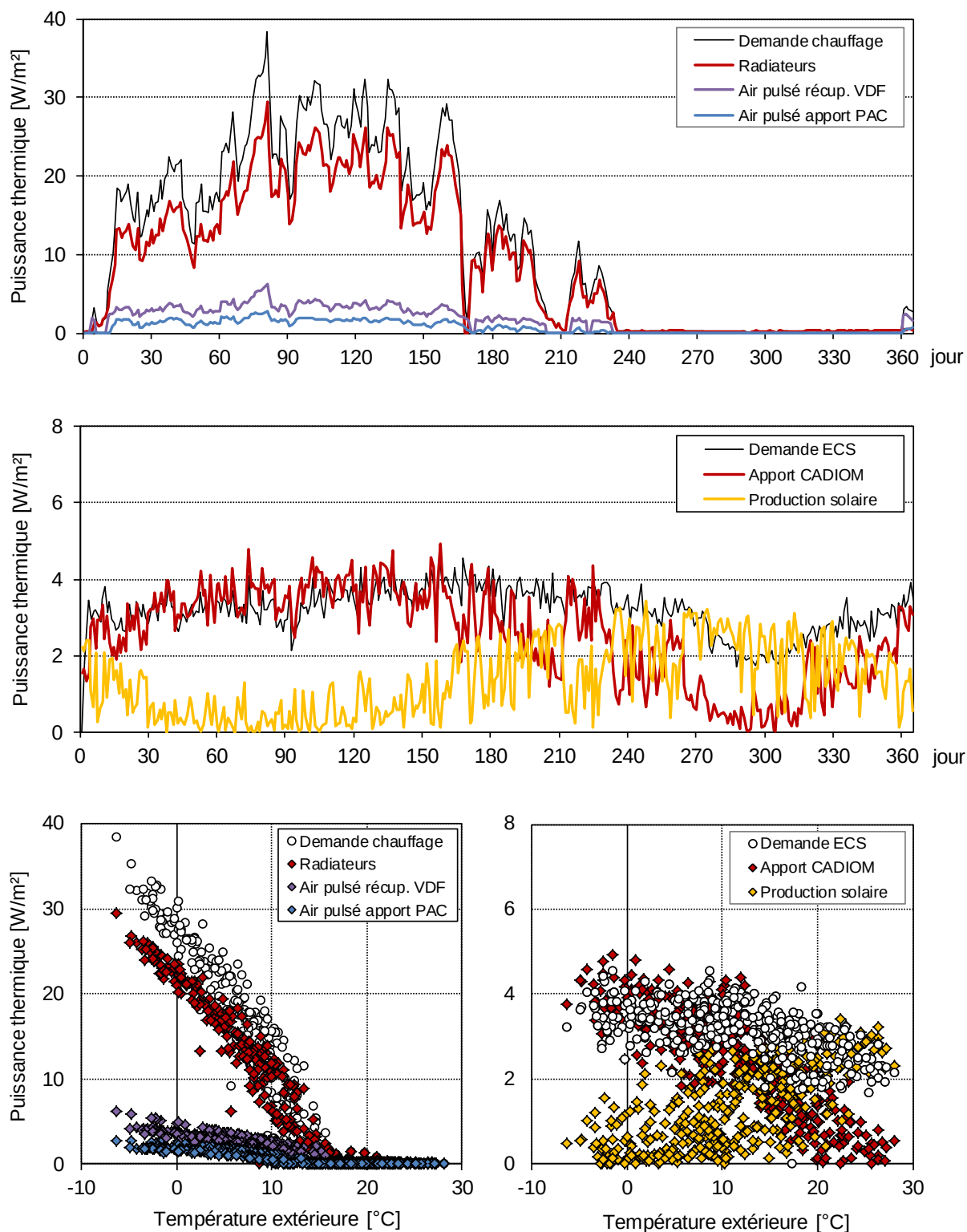
Le graphique du haut montre que la période de chauffage s'étend sur environ 230 jours. Plus de trois quart (78%) de la demande totale de chauffage est couverte par le système hydraulique traditionnel avec radiateurs ($281 \text{ MJ/m}^2\text{a}$) dont la chaleur provient du réseau CADIOM. Le reste est fourni par la ventilation double-flux avec un échangeur de chaleur qui permet de récupérer une partie des pertes aérauliques et par la pompe à chaleur sur air vicié qui préchauffe l'air pulsé dans les appartements. Leur contribution respective est de 15% et 7%. La signature des trois systèmes montre un comportement linéaire en fonction de la température extérieure. On peut lire sur le graphique en bas à gauche que la demande totale de chaleur du bâtiment 40-42 est de 28 W/m^2 à une température extérieure de 0°C . La contribution des radiateurs s'élève à 22 W/m^2 , le reste est fourni par l'air pulsé. La comparaison avec la signature de chauffage du bâtiment 36-38 est présentée plus tard au point 4.3.4.4.

Le graphique du milieu montre le profil annuel de la demande d'eau chaude sanitaire du bâtiment 40-42. On observe que la puissance thermique est relativement constante sur toute l'année avec un maximum atteint en hiver et un minimum pendant la période estivale (principalement due à l'effet des vacances). La puissance spécifique moyenne demandée est de 3.2 W/m^2 ou 128 W/habitant .

Le taux de couverture solaire est en moyenne sur l'année de l'ordre de 40%. Le taux exact est difficile à évaluer car l'appoint CADIOM est fait directement dans la cuve de stockage solaire ne permettant pas de connaître la part de calories solaires effectivement valorisées.

Le graphique en bas à droite montre l'évolution de la puissance classée de la production solaire et de l'appoint CADIOM en fonction de la température extérieure. L'écart constaté entre la demande et l'offre réside principalement dans les pertes de stockage.

Figure 4.23. Puissances thermiques journalières du bâtiment 40-42 du 1^{er} octobre 2009 au 30 septembre 2010. Les valeurs sont exprimées en W/m^2 ($\text{SRE}=5'357 \text{ m}^2$). Haut : puissance thermique de chauffage ; Milieu : puissance thermique d'ECS ; Bas : puissance thermique en fonction de la température extérieure (signature : chauffage à gauche et ECS à droite).



Chauffage :

- 78% part radiateurs
- 22% part VDF + PAC

Eau chaude sanitaire :

- 35% production solaire
- 65% appoint CADIOM

4.3.4 Evolution de la performance énergétique suite à la rénovation

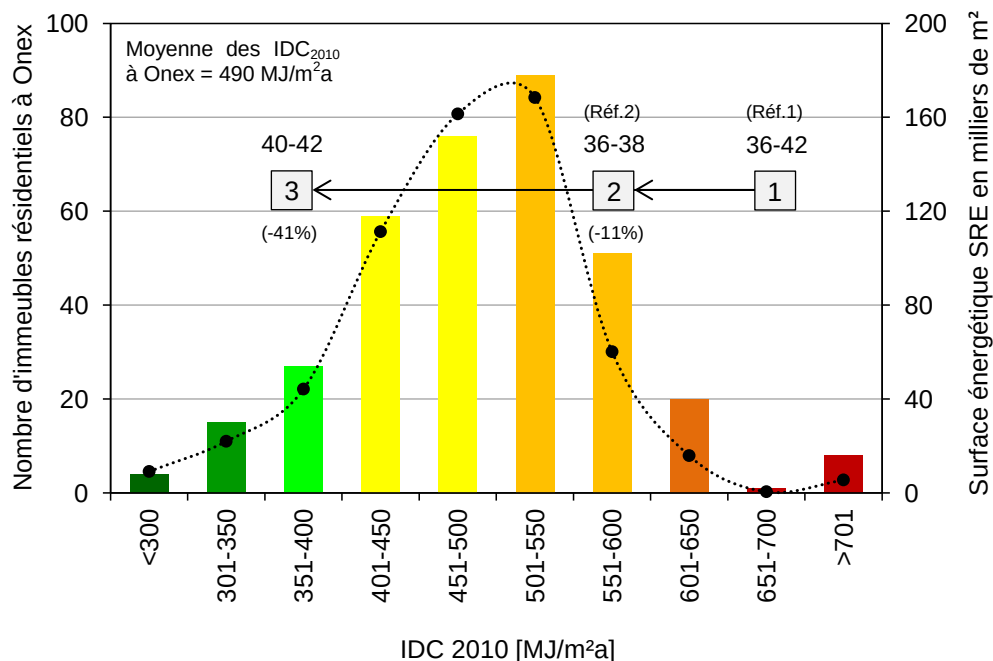
4.3.4.1 Indice de dépense de chaleur

L'indice de dépense de chaleur (IDC) du bâtiment 36-42 avant rénovation était de 668 MJ/m²a, calculé à partir des consommations de mazout observées de 2003 à 2007 (cf. 4.3.2.5). La rénovation complète du bâtiment 40-42 a fait baisser son IDC de près de 41% à 392 MJ/m²a. Le simple fait de changer de source d'énergie (passage de mazout à CADIOM) sans entreprendre des travaux de rénovation fait passer l'IDC de 668 à 597 MJ/m²a, soit une baisse d'environ 11%. C'est notamment le cas du bâtiment 36-38 dont sa demande de chaleur n'a pas changé, mais dont l'énergie comptabilisée est la chaleur fatale CADIOM (énergie déjà transformée) au lieu du mazout. On note que ces valeurs n'incluent pas les consommations électriques additionnelles induites par la rénovation.

L'IDC du bâtiment après rénovation a été calculé selon l'ancienne directive [34] (MJ PCI/m²a, météo de référence 2'659 DJ_{12/18}/an, coefficient de 3.892 MJ/kWh utile pour CADIOM). Les valeurs proposées sont des moyennes sur les deux années de suivi 2008-2010. On note une différence entre ces valeurs et celles entrées par le gestionnaire du bâtiment à l'aide de l'outil Web indice. Cette différence s'explique d'une part par la SRE utilisée par le gestionnaire qui considère la surface des loggias comprise dans l'enveloppe thermique (SRE utilisée de 6'407 m² au lieu de 5'357 m², cf. 4.2.2.2) et d'autre part par un coefficient de 3.6 MJ/kWh utile appliqué pour CADIOM au lieu de 3.892 MJ/kWh selon la directive.

La Figure 4.24 met en perspective ces résultats avec la distribution des IDC en 2010 de 350 immeubles résidentiels édifiés sur la commune d'Onex (au total 600'000 m² de SRE, consommant 79.6 GWh thermiques en 2010).

Figure 4.24. Evolution de l'IDC du bâtiment 36-42 et distribution des IDC à Onex en 2010



Remarque : Voir tableau explicatif à la page suivante

Bâtiments	IDC [MJ/m ² a]	Baisse [%]	Année
[1] 36-42 avant rénovation, mazout	668	-	2003-2007
[2] 36-38 après passage à CADIOM	597	11%	2008-2010
[3] 40-42 après rénovation (enveloppe + passage à CADIOM)	392	41%	2008-2010

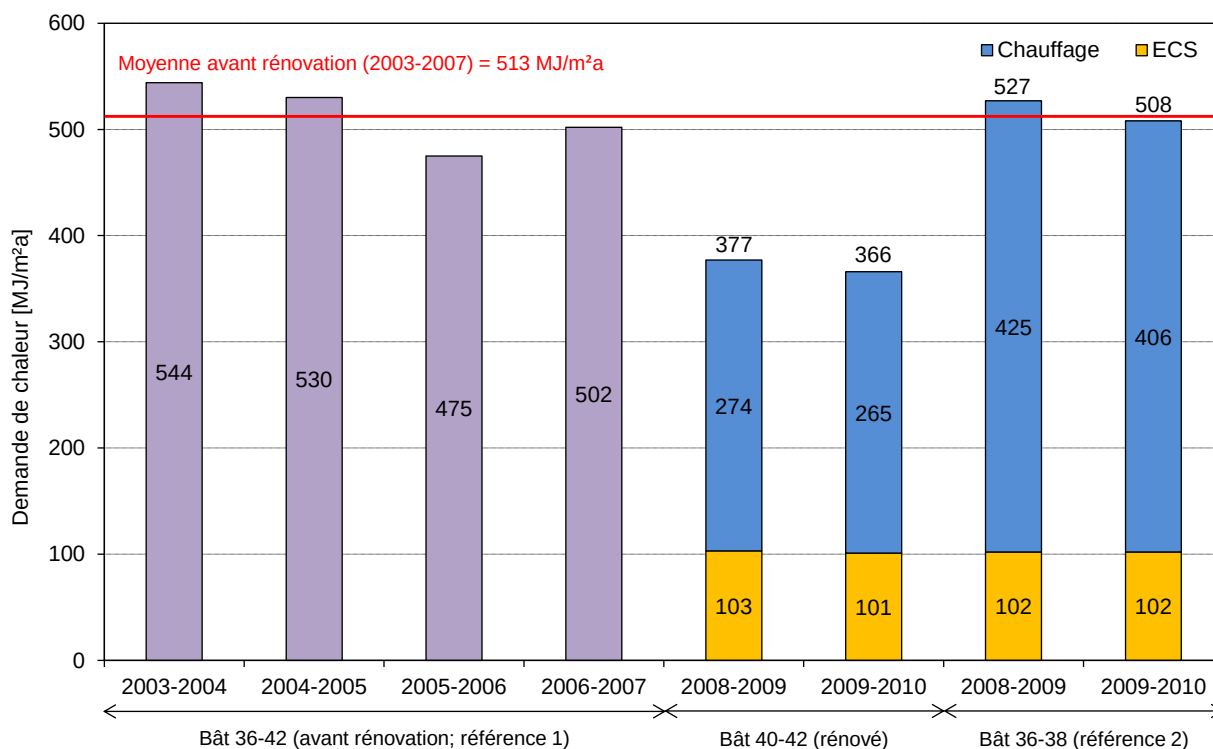
La moyenne des IDC des immeubles résidentiels onésiens dans la base de données Energie de l'OCEN s'élève à 490 MJ/m² en 2010. Cette valeur est très proche de la moyenne des IDC du secteur résidentiel collectif genevois (491 MJ/m²a, cf. Annexe A11) pour la même année, malgré le fait que les besoins thermiques des immeubles à Onex sont couverts à 78% par CADIOM (pertes de production et de distribution non comptabilisées).

Enfin, la rénovation du bâtiment 40-42 a fait passer l'IDC de la classe 651-700 à 351-400, tandis que le simple passage à CADIOM du bâtiment 36-38 sans entreprendre de rénovation fait baisser son IDC en dessous de la barre de 600 MJ/m² (valeur limite au-delà de laquelle le décompte individuel des frais de chauffage dans les bâtiments est obligatoire).

4.3.4.2 Gains sur la demande nette de chaleur

La Figure 4.25 présente l'évolution de la demande nette de chaleur pour le chauffage et la préparation de l'ECS des bâtiments entre avant la rénovation (2003-2007) et après la rénovation (2008-2010). Les valeurs sont exprimées en MJ/m²_{SRE} par an et rapportées à 2'507 DJ_{12/18}/an.

Figure 4.25. Evolution de la demande nette de chaleur des bâtiments avant et après rénovation



Avant travaux, la demande thermique normalisée (chauffage+ECS) des bâtiments 36-38 et 40-42 est estimée à 513 MJ/m²a (moyenne 2003-2007) en considérant une fraction utile de 80% (cf.4.3.2.4). Pour la période 2008-2010, la demande de chaleur des deux bâtiments a été mesurée dans le cadre du suivi énergétique (cf. 4.3.3.2).

Le Tableau 4.9 compare la demande thermique moyenne du bâtiment 40-42 rénové avec celle du 36-38 non rénové (référence 2) et celle du 36-42 avant rénovation (référence 1).

Tableau 4.9. Gains sur la demande nette de chaleur du bâtiment 40-42 liés à la rénovation

MJ/m ² par an (2'507 DJ/an)	Bât 40-42 rénové 2008-2010	Bât 36-38 référence 2 2008-2010	Bât 36-42 référence 1 2003-2007
Demande de chauffage	270	416	(410)
Demande ECS	102	102	(103)
Demande nette totale (Ch+ECS)	372	518	513

Gain sur la demande totale :

p/r à référence 1* :	-141
p/r à référence 2 :	-146

() Valeurs estimées à partir de la signature énergétique (cf. 4.3.2.3)

* Nous avons considéré qu'avant rénovation les bâtiments 36-38 et 40-42 présentaient la même demande de chauffage, ce qui n'est pas tout à fait exact étant donné que le bâtiment 36-38 présente une façade latérale directement exposée à l'air extérieur, tandis que le mur pignon du bâtiment 40-42 est à 2/3 mitoyen avec un espace chauffé. On note aussi une différence d'usage du rez-de-chaussée entre les deux bâtiments (commerce pour le 36-38 et logements pour le 40-42).

La demande thermique nette avant travaux (513 MJ/m²a ; moyenne 2003-2007) est proche de la valeur observée sur le bâtiment 36-38 sur les deux années de suivi 2008-2010 (518 MJ/m²a). **La rénovation a fait baisser la demande thermique nette (chauffage et ECS) du bâtiment de l'ordre de 150 MJ/m² par an (diminution d'environ 30%). Les gains sur la demande de chauffage sont de 35%. Elle a par contre induit une consommation annuelle supplémentaire d'électricité de 8.5 MJ/m² imputée à la ventilation double-flux, à la pompe à chaleur intégrée et au circulateur solaire.**

4.3.4.3 Comparaison avec la demande classée du parc résidentiel collectif genevois

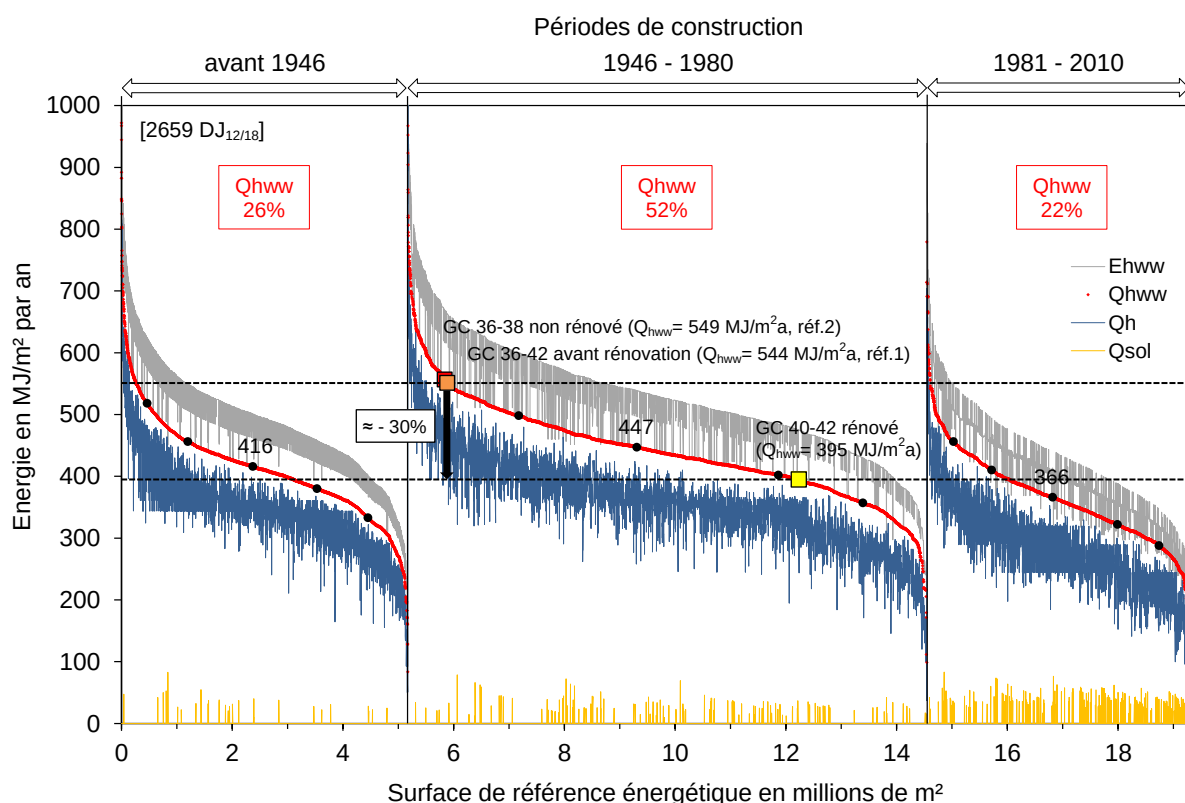
Pour comparer la demande thermique nette du bâtiment étudié avec celle des immeubles d'habitation genevois en 2010, il convient de rapporter les valeurs à 2'659 DJ/an. Les résultats corrigés sont présentés dans le Tableau 4.10 et illustrés sur la Figure 4.26 suivante.

Tableau 4.10. Demande thermique nette avant et après rénovation, normalisée avec 2'659 DJ/an

(2'659 DJ/an)	Bât 40-42 rénové 2008-2010	Bât 36-38 référence 2 2008-2010	Bât 36-42 référence 1 2003-2007
Demande nette de chaleur (Ch+ECS)	395 MJ/m ² a	549 MJ/m ² a	544 MJ/m ² a
Positions en percentile dans la distribution Q _{hww 2010} des immeubles résidentiels collectifs de 1946-1980 (cf. 2.5.6.4)	(21.5 p)	(89.5 p)	(88.5 p)

On peut lire sur la Figure 4.26 que le 50^e centile, qui n'est autre que la demande médiane de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, s'élève à 447 MJ/m²a pour les bâtiments construits entre 1946 et 1980. En utilisant la météo de référence 2'659 DJ/an, la demande thermique du bâtiment 36-38 non rénové (549 MJ/m²a ; référence 2) est proche de celle du bâtiment 36-42 avant rénovation (544 MJ/m²a ; référence 1). En 2010, environ 89% des bâtiments des années 1946-1980 ont une demande inférieure à ces valeurs.

Figure 4.26. Besoins classés de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire Q_{hww} en MJ/m² des bâtiments résidentiels collectifs à Genève, selon les trois grandes périodes de construction, en 2010 (cf. point 2.5.6.4). Les points indiquent par ordre décroissant le 9^e décile, le 3^e quartile, la médiane, le 1^{er} quartile et le 1^{er} décile. Les carrés représentent la demande thermique nette des bâtiments avant et après rénovation.

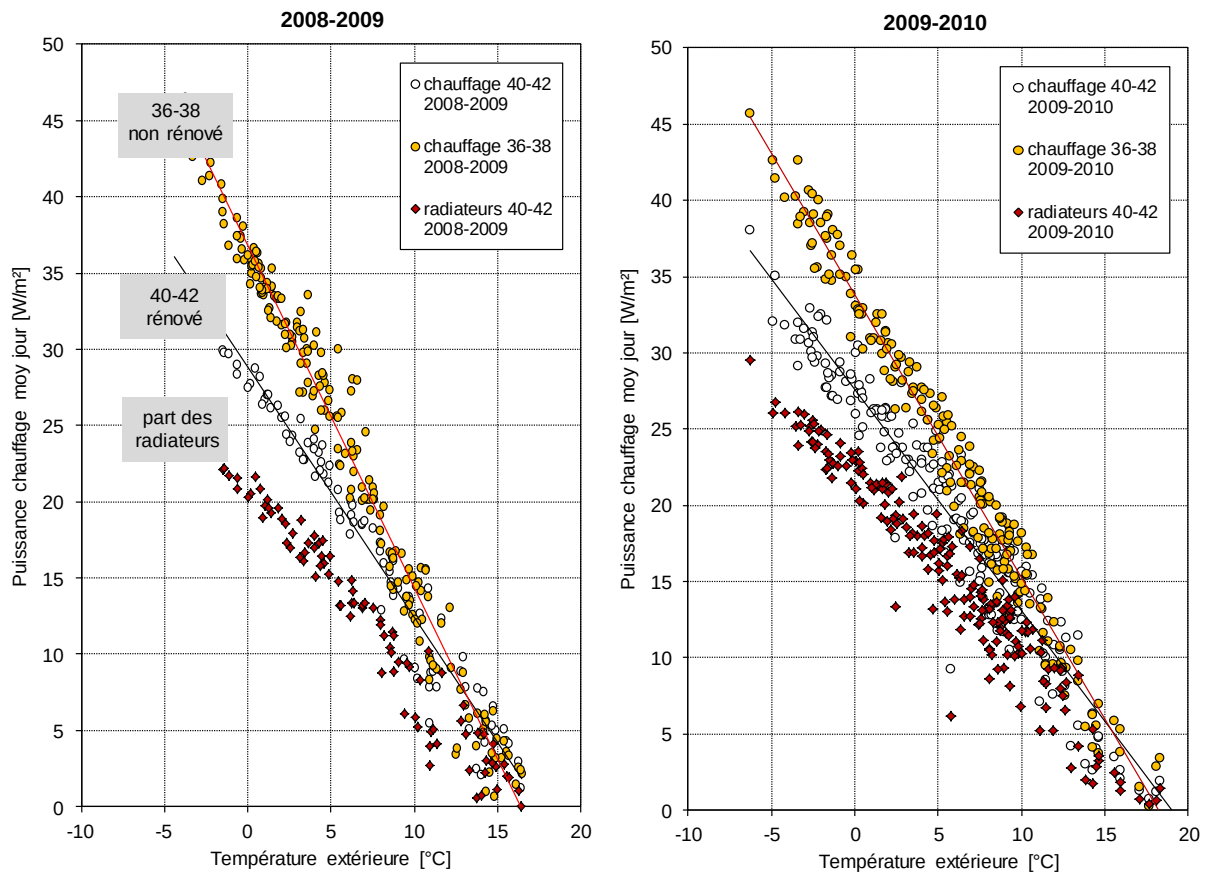


Si l'on compare les besoins de chaleur (chauffage et ECS) du bâtiment 40-42 rénové avec les besoins thermiques classés en 2010 des bâtiments résidentiels collectifs construits durant la période 1946-1980 à Genève, **on remarque que cette rénovation a permis de faire passer le bâtiment des 11% les moins performants au 25% les plus performants** ($Q_{hww}=395$ MJ/m²a). La figure permet également de comparer cette valeur avec la distribution de la demande des bâtiments construits avant 1946 et celle des bâtiments édifiés à partir de 1981.

4.3.4.4 Signature énergétique de chauffage

La Figure 4.27 présente la signature de chauffage du bâtiment 40-42 rénové et du 36-38 non rénové (référence 2) sur les deux années de suivi 2008-2009 (à gauche) et 2009-2010 (à droite). On note que la signature du bâtiment 40-42 représente la somme de l'énergie fournie par les radiateurs (CADIOM) et par la ventilation contrôlée (air pulsé). La part des radiateurs seuls est également représentée sur les graphiques.

Figure 4.27. Signature énergétique de chauffage des bâtiments 40-42 (rénové) et 36-38 (non rénové ; référence 2) sur les deux années de suivi 2008-2009 (à gauche) et 2009-2010 (à droite)



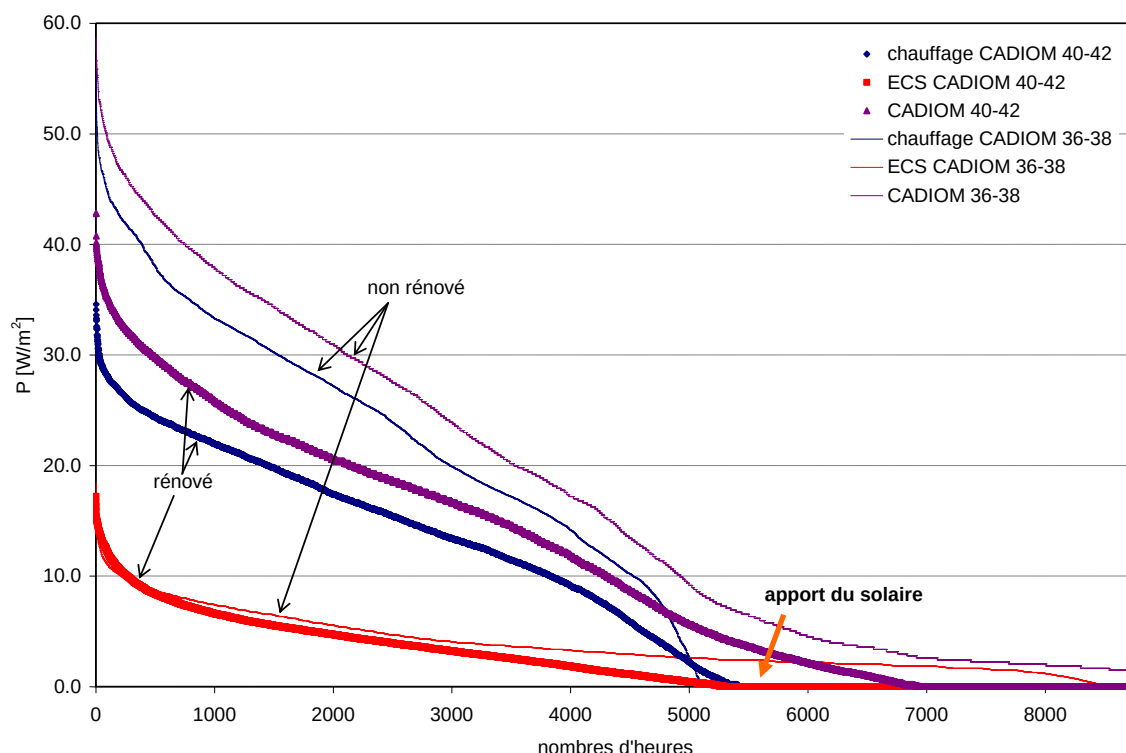
A une température extérieure de 0°C, la demande totale de chaleur pour le chauffage du bâtiment 40-42 est de 28 W/m² sur les deux années (22 W/m² apportés par les radiateurs, le reste par l'air pulsé), tandis que celle du bâtiment 36-38 est en moyenne de l'ordre de 36 W/m². A cette température, le bâtiment rénové 40-42 consomme pour le chauffage 8 W/m² de moins que le bâtiment 36-38 non rénové (effet rénovation de l'enveloppe + ventilation).

4.3.4.5 Appel de charge CADIOM

La Figure 4.28 donne les puissances horaires classées délivrées par CADIOM aux bâtiments 40-42 rénové et 36-38 non rénové pour l'année 2009-2010. Les résultats repris du rapport Gros-Chêne [48] montrent que la puissance maximale appelée sur CADIOM par le bâtiment rénové 40-42 s'élève environ à 45 W/m², tandis qu'elle est de l'ordre 60 W/m² pour le bâtiment 36-38. La rénovation a donc entraîné une baisse de 25% de la puissance maximale appelée, libérant ainsi de la puissance installée pour la connexion de nouveaux bâtiments sur le réseau CADIOM.

La puissance maximale de chauffage a baissé de l'ordre de 35%, ce qui est compatible avec les écarts de demande de chauffage observés dans la partie 4.3.4.2. On peut aussi observer que l'installation solaire réduit les heures de fourniture de CADIOM pour la production de l'ECS et couvre presque la totalité des besoins en été.

Figure 4.28. Puissances horaires classées délivrées par CADIOM aux bâtiments 40-42 rénové et 36-38 non rénové pour l'année 2009-2010 (source : rapport Gros-Chêne [48])



4.3.4.6 Consommation électrique

Le Tableau 4.11 présente l'évolution de la consommation d'électricité du bâtiment 40-42 en MJ/m² (SRE=5'357 m²) entre avant et après la rénovation.

Tableau 4.11. Consommation électrique globale du bâtiment 40-42 avant et après rénovation

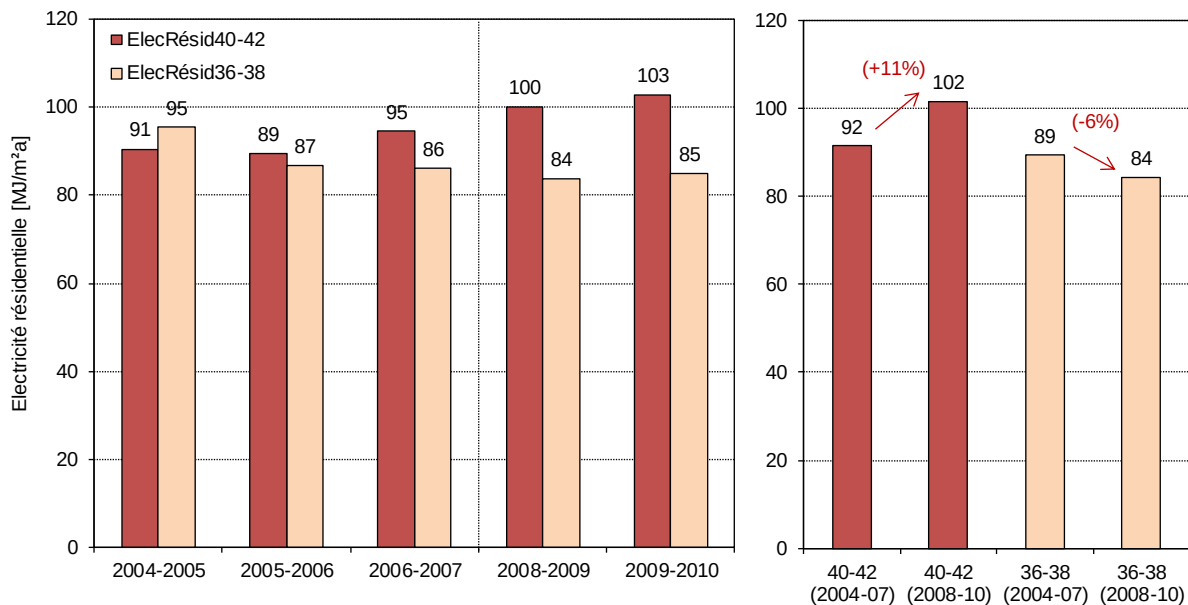
Electricité	Avant rénovation	Après rénovation	Evolution
Ménages 40-42	92 MJ/m ² a (2004-2007)	102 MJ/m ² a (2008-2010)	+10 MJ/m ² a (+11%)
Communs 40-42	29 MJ/m ² a (2004-2007)	24 MJ/m ² a (2009-2012)	-5 MJ/m ² a (-17%)
Total 40-42	121 MJ/m ² a	126 MJ/m ² a	+5 MJ/m²a (+4%)

L'indice de consommation électrique globale du bâtiment 40-42 est passé de 121 MJ/m²a (avant travaux) à 126 MJ/m²a (après travaux), soit une augmentation de +5 MJ/m²a (+4%). La consommation des logements a augmenté en moyenne de 10 MJ/m²a (+11%), alors que celle des parties communes et des services généraux a baissé de 5 MJ/m²a (-17%).

a) Electricité des ménages

La Figure 4.29 montre l'évolution annuelle de la consommation d'électricité des logements du bâtiment 40-42 et du 36-38 sur la période 2004-2007 (avant rénovation) et 2008-2010 (après rénovation).

Figure 4.29. Consommation annuelle d'électricité des ménages du bâtiment 40-42 (rénové avec fermeture des balcons en loggias) et du 36-38 (non rénové) avant et après rénovation. Les consommations normalisées sur 365 jours sont exprimées en fonction de la SRE totale de chacun des bâtiments (5'357 m²).



Remarque : Nombre de compteurs = nombre de ménages (après normalisation)
Pour le 36-38, les données de consommation à disposition couvrent la période 2008-2010.

On remarque que la consommation moyenne des logements du bâtiment 36-38 baisse de 6% entre avant et après rénovation, alors que celle du bâtiment 40-42 augmente en moyenne de 11% (+10 MJ/m²a) passant de 92 MJ/m²a (2004-2007) à 102 MJ/m²a (2008-2010). Les consommations sont exprimées en fonction de la SRE totale de chacun des bâtiments (5'357 m²), bien que le rez-de-chaussée du bâtiment 36-38 soit occupé par des activités.

Selon nos observations, deux principales raisons peuvent expliquer cette hausse de la consommation électrique résidentielle :

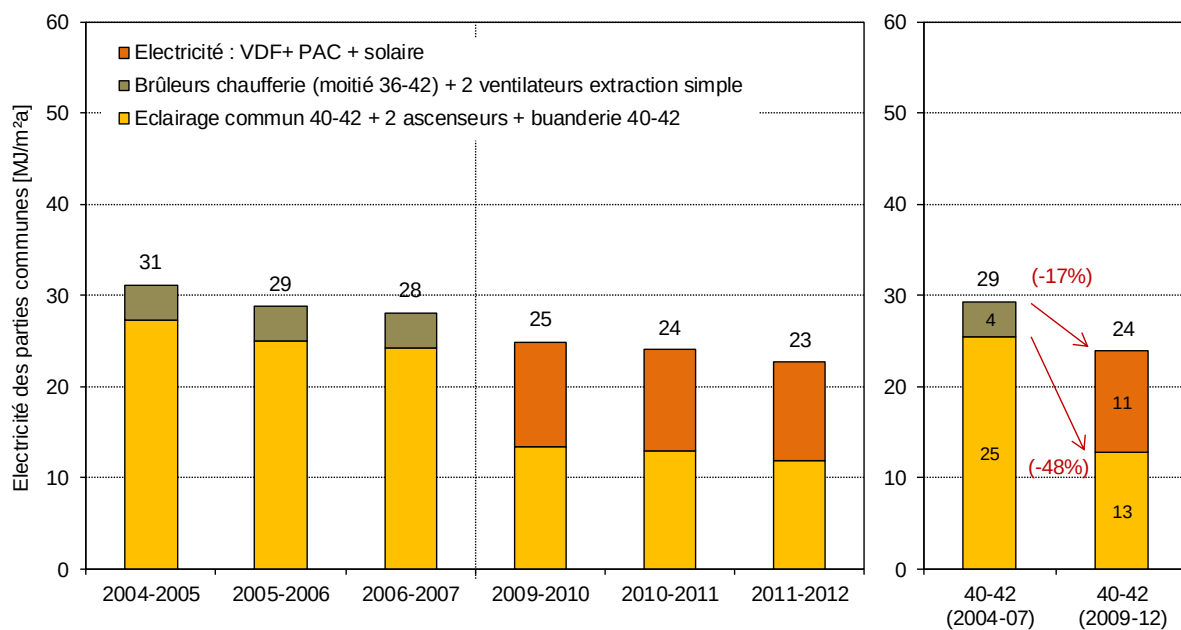
- d'une part, la fermeture des balcons en loggias réduit la quantité de lumière naturelle transmise à l'intérieur des pièces à travers le vitrage, en raison des propriétés intrinsèques des doubles vitrages ajoutées (facteur solaire "g" plus faible) et de l'ajout de stores sur la paroi externe des balcons vitrés. Ceci pourrait avoir pour conséquence une augmentation de la durée de fonctionnement de l'éclairage dans les pièces surtout en hiver, entraînant alors une hausse de la consommation électrique des ménages.
- d'autre part, l'utilisation des balcons vitrés comme un espace de vie supplémentaire augmente la surface éclairée du bâtiment. En fait, on a remarqué durant les visites effectuées que les balcons, qui n'étaient pas au départ équipés de points lumineux, ont été aménagés et éclairés par les occupants.

Toutefois, cette hausse constatée de la consommation mériterait une analyse plus fine, en procédant par exemple à l'analyse de l'évolution des consommations électriques des différents logements. Il serait également intéressant d'examiner si une hausse pareille a été observée dans d'autres rénovations avec fermeture de balcons en loggias.

b) Electricité des parties communes

La Figure 4.30 montre l'évolution annuelle de la consommation d'électricité des parties communes du bâtiment 40-42 sur la période 2004-2007 (avant rénovation) et 2009-2012 (après rénovation)³⁹.

Figure 4.30. Consommation annuelle d'électricité des parties communes du bâtiment 40-42 avant et après rénovation. Les consommations sont exprimées en fonction de la SRE du bâtiment (5'357 m²).



Double effet sur la consommation électrique des communs après la rénovation :

- Economies sur l'éclairage des communs d'immeubles : -12 MJ/m²a
- Electricité supplémentaire pour VDF (pulsion) + PAC + circulateurs solaire - électricité des brûleurs arrêtés : +7 MJ/m²a

► **Bilan électricité des communs après rénovation : -5 MJ/m²a**

En considérant que l'électricité consommée par les ascenseurs et la buanderie est la même avant et après rénovation, les économies engendrées par l'assainissement de l'éclairage des parties communes sont estimées à 12 MJ/m²a. Cette action a donc entraîné une baisse d'environ 80% de la consommation pour l'éclairage des zones communes et a fait baisser de moitié (48%) la consommation du poste (éclairage commun + ascenseurs + buanderie).

La rénovation a par contre induit une consommation d'électricité supplémentaire de 7 MJ/m²a en tenant compte de la moitié des économies engendrées par l'arrêt des brûleurs de la chaudière estimées à 1'750 kWh/a. En soustrayant cette part, les consommations électriques supplémentaires (VDF pulsion, PAC et circulateur solaire) s'élèvent à 8.5 MJ/m²a, rejoignant la valeur mesurée lors du suivi énergétique. En se référant au diagramme de flux présenté à la Figure 4.21, la PAC augmente la consommation du bâtiment de 5 MJ/m²a, la ventilation de pulsion de 3 et l'installation solaire thermique seulement de 0.5. Le bilan global des parties communes est donc négatif avec une baisse de 5 MJ/m²a (-17%).

³⁹ Nous avons choisi pour cette analyse la période 2009-2012 au lieu de 2008-2010 en raison de l'ajout d'un compteur électrique au cours de l'année 2008.

4.3.5 Performance réelle versus prévue

4.3.5.1 Demande de chauffage

La demande nette de chauffage du bâtiment rénové 40-42 s'élève à 270 MJ/m²a (moyenne 2008-2010), contre une valeur projetée de 115 MJ/m²a (d'après le justificatif thermique). **La demande mesurée est donc 2.3 fois plus élevée que la valeur calculée en conditions normées d'utilisation. Le dépassement est de 135%.**

L'existence d'un écart entre la performance prévue et réelle n'a rien de surprenant, et a été déjà mise en évidence dans plusieurs études, comme celle réalisée par Zraggen [46] sur un bâtiment résidentiel locatif neuf Minergie à Genève. Selon cette étude, la demande de chauffage réelle du bâtiment étudié est 3.5 fois plus élevée que la valeur prévue en conditions normées (189 au lieu de 53 MJ/m²a). Les raisons à l'origine de cet écart sont principalement les différences dans les conditions d'utilisation et l'estimation erronée des performances de l'enveloppe par l'opérateur.

Pour mieux comprendre l'écart observé dans le cas du bâtiment 40-42, nous avons simulé les besoins de chauffage en conditions normées et réelles d'utilisation avec le logiciel EnerCAD, avant et après rénovation. Les résultats sont proposés dans le Tableau 4.12.

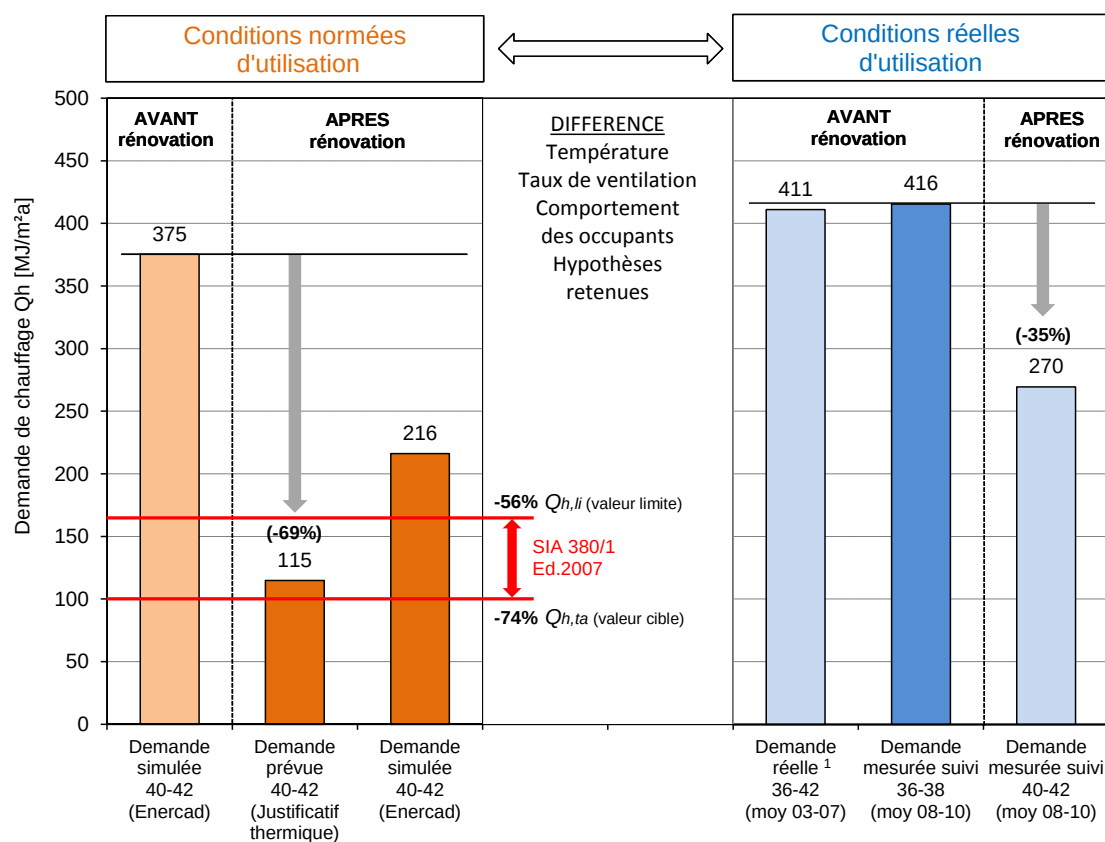
Toutes les valeurs ont été normalisées à 2'507 DJ_{12/18} afin d'être compatibles avec les résultats du suivi énergétique. Nous avons également rapporté la valeur prévue dans le justificatif thermique à 5'357 m². La SRE adoptée dans le justificatif (6'336 m²) considérait la surface des loggias comme chauffée, contrairement à ce que préconise l'article 2.2.1.3 de la norme SIA 416/1.

Tableau 4.12. Demande nette de chauffage du bâtiment 40-42, normalisée à 2'507 DJ_{12/18} (SRE=5'357 m²)

	Avant rénovation [MJ/m ² a]	Après rénovation [MJ/m ² a]
Projet (justificatif thermique)	-	115
Limite SIA rénovation (éd. 2007)	165	165
Enercad, utilisation normée	375	216
Enercad, utilisation réelle	455	238
Mesure (suivi énergétique)	416	270
Réelle (calculée à partir de la consommation de mazout, n=80%)	411	-

La Figure 4.31 présente la demande de chauffage du bâtiment 40-42 avant et après rénovation, en conditions normées d'utilisation (à gauche) et en conditions réelles d'utilisation (à droite).

Figure 4.31. Demande nette de chauffage du bâtiment 40-42 normalisée à 2'507 DJ_{12/18} et exprimée en MJ/m² par an (SRE=5'357 m²). A gauche, les valeurs en conditions normées d'utilisation et à droite, les valeurs en conditions réelles d'utilisation.



¹ Demande réelle du bâtiment 36-42 avant travaux, calculée à partir de la consommation de mazout (moyenne 2003-2007) en considérant un rendement de 80% (cf. 4.3.2.3)

En conditions normées d'utilisation, la demande de chauffage simulée du bâtiment 40-42 avant rénovation s'élève à 375 MJ/m², ce qui correspond à 2.3 fois la valeur limite $Q_{h,li}$ (164 MJ/m²a) et 3.8 fois la valeur cible $Q_{h,ta}$ (99 MJ/m²a) de la norme SIA 380/1:2007 pour la rénovation. La demande de chauffage devrait ainsi baisser d'au moins 56% pour respecter la valeur limite fixée par cette norme.

Après rénovation, la valeur relevée dans le justificatif thermique est de 115 MJ/m²a (rapportée à 2'507 DJ/an), tandis que la valeur que nous avons obtenue en refaisant la simulation est de 216 MJ/m²a. En conditions réelles d'utilisation, notre simulation reproduit la demande mesurée de façon approximative : la demande mesurée est surestimée avant rénovation (+39 MJ/m²a), respectivement sous-estimée après rénovation (-24 MJ/m²a). Ces différences sont raisonnables et peuvent être imputées au comportement des usagers et aux hypothèses retenues pour la simulation des loggias. On note que la loggia a été considérée dans la simulation comme un élément statique (double vitrage performant).

Les erreurs relevées dans la première simulation (justificatif thermique) sont principalement dues à l'introduction incorrecte des surfaces, des caractéristiques thermiques des éléments de la loggia et à la non prise en compte de tous les ponts thermiques. Une étude indépendante, [74] menée par le Service cantonal de l'énergie du canton de Vaud (SEVEN) sur 60 dossiers énergétiques, identifie ces erreurs comme les plus fréquentes. Les erreurs liées par exemple au calcul de la SRE arrivent en quatrième position. Les résultats de l'étude citée montrent

que 60% des dossiers analysés ne respectent pas la norme SIA 380/1 pour le calcul de la demande de chauffage. Les hypothèses retenues par l'opérateur ont donc une influence significative sur le résultat des simulations.

En conditions réelles d'utilisation, la baisse mesurée des besoins de chauffage entre avant et après rénovation est d'environ un tiers (-35%).

Si on compare la baisse prévue de chauffage du bâtiment 40-42 selon le justificatif thermique avec la baisse mesurée lors du suivi énergétique, on se rend compte **qu'en visant dans le projet une réduction d'environ deux-tiers (-69%) en conditions normées d'utilisation, on n'en réalise effectivement que la moitié (baisse réelle de 35%)**.

Les principaux facteurs à l'origine de cet écart sont l'influence de l'opérateur dans la simulation et les effets liés aux conditions différentes d'utilisation (température des logements, taux de renouvellement d'air, etc.). Ces écarts peuvent aussi être attribués dans d'autres cas à une mauvaise exécution des travaux requis ou à la non-conformité des travaux réalisés avec ceux autorisés dans le dossier énergétique.

Avec le durcissement récent de la norme SIA 380/1, il faudrait diviser au moins par 4 la demande de chauffage du bâtiment 36-38 pour satisfaire les exigences de la norme SIA 380/1:2009 pour la rénovation (la valeur limite $Q_{h,li}$ est passée de 164 à 94 MJ/m²a).

4.3.5.2 Indice Minergie

L'indice Minergie est un indice pondéré de l'énergie nette totale fournie au bâtiment pour couvrir les besoins thermiques (chauffage et ECS). Les facteurs de pondération sont attribués dans le justificatif Minergie en fonction des agents énergétiques. Ainsi dans le cas du bâtiment 40-42 rénové, le facteur de pondération est de 0.6 pour CADIOM, de 2 pour l'électricité auxiliaire et de 0 pour le solaire.

Le Tableau 4.13 confronte les valeurs prévues dans le justificatif Minergie aux valeurs mesurées sur le bâtiment 40-42 lors du suivi énergétique.

Tableau 4.13. Indice pondéré Minergie du bâtiment 40-42 selon le justificatif et le suivi énergétique

Vecteurs énergétiques	Facteurs de pondération [-]	Valeurs prévues justificatif Minergie (1) [kWh/m ² a]	Valeurs mesurées suivi énergétique (2) [kWh/m ² a]
CADIOM	0.6	35.0	99.4
Solaire	0	12.3	12.2
Electricité auxiliaire	2	7.3	3.8
Total non pondéré		54.6	115.4
Total pondéré (Indice Minergie)		35.6	67.2
Valeur limite Minergie 2007		80 kWh/m ² a	

(1) Valeurs du justificatif Minergie corrigées en utilisant une SRE de 5'357 m². La SRE adoptée dans le justificatif Minergie (6'336 m²) considèrerait la surface des loggias comprise dans la SRE.

(2) Valeurs mesurées normalisées à 2'659 DJ/an afin d'être compatibles avec le calcul Minergie.

Pour y arriver, nous avons tout d'abord rapporté les valeurs du justificatif Minergie à 5'357 m² au lieu de 6'336 m² (SRE qui intégrait la surface des loggias, contrairement à ce que préconise l'article 2.2.1.3 de la norme SIA 416/1). Ensuite, les valeurs du suivi énergétique (moyenne 2008-2010) ont été normalisées à 2'659 DJ_{12/18} afin d'être compatible avec le calcul Minergie.

Dans le justificatif Minergie, l'indice prévu du bâtiment 40-42, calculé dans des conditions standards d'utilisation, est de 36 kWh/m²a. Cette valeur est bien en dessous de la valeur limite Minergie pour la rénovation, qui était de 80 kWh/m²a au moment de l'élaboration du dossier (ce seuil a été abaissé à 60 kWh/m²a depuis 2009).

En situation réelle, l'indice pondéré calculé à partir des valeurs du suivi énergétique (moyenne 2008-2010) s'élève à 67 kWh/m²a, et reste inférieur à la valeur limite Minergie d'avant 2009. **Le bâtiment 40-42 respecte donc les exigences du label Minergie en rénovation, malgré le fait que l'indice réel est presque deux fois plus élevé que l'indice prévu.**

Si on reprend ce calcul pour le bâtiment 36-38 non rénové et raccordé à CADIOM depuis 2008, l'indice pondéré s'élève à 92 kWh/m²a (moyenne 2008-2010). L'indice de ce bâtiment dépasse ainsi de seulement 15% la valeur limite Minergie, alors que sa demande de chauffage en conditions normées d'utilisation est 2.3 fois supérieure à la limite SIA.

Les facteurs de pondération adoptés sont donc déterminants dans le calcul de l'indice pondéré Minergie. A noter que l'indice obtenu n'a pas de signification physique (ni énergie utile, ni énergie finale) et ne peut donc pas être utilisé comme indicateur de référence pour comparer la consommation de différents bâtiments.

4.3.6 Performance des systèmes techniques

Cette partie présente la performance des systèmes techniques installés lors de la rénovation énergétique du bâtiment 40-42, à savoir : le système de ventilation à double-flux avec la pompe à chaleur intégrée et le système solaire thermique pour le préchauffage de l'ECS.

4.3.6.1 Système de ventilation double-flux avec PAC intégrée

Le renouvellement d'air dans les bâtiments est à l'origine d'une grande partie des déperditions thermiques. La majorité des immeubles d'habitation existant possède actuellement un système de ventilation de type « extraction simple » qui laisse échapper environ $100 \text{ MJ/m}^2_{\text{SRE}}$ par an, équivalent à 44'460 TJ ou 12'350 GWh au niveau national. La récupération à grande échelle et la valorisation de cette chaleur fatale constitue un important gisement d'économie d'énergie.

La solution de récupération retenue pour la rénovation du bâtiment 40-42 est relativement bien connue, composée de deux systèmes en série : d'une part, la ventilation double-flux récupère une partie de la chaleur de l'air extrait des logements pour préchauffer l'air neuf venant de l'extérieur à travers un échangeur de chaleur à plaques à flux croisé, d'autre part la pompe à chaleur intégrée (PAC) fonctionnant sur l'air vicié en sortie d'échangeur permet de relever la température de l'air pulsé dans les appartements à une température de consigne.

a) Mode de Fonctionnement

La ventilation double-flux fonctionne de manière continue tout au long de l'année pour assurer le renouvellement de l'air dans le bâtiment. Le régime retenu est le suivant : grande vitesse (de 6h à 9h, de 11h à 14h et de 19h à 22h) et petite vitesse (le reste du temps). Après différents ajustements pour trouver le compromis entre consommations d'énergie, problème de bruit et d'hygiène, le débit de ventilation a été fixé à $4'500 \text{ m}^3/\text{h}$ (taux de renouvellement de $0.84 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$) pour la grande vitesse et $3'000 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0.56 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$) pour la petite vitesse.

La température de consigne pour la pulsion est de 22°C en hiver, 19°C en mi-saison et 18°C en été. La température en hiver est élevée en raison du principe de distribution qui passe par les balcons vitrés. Il faut pulser à 22°C à l'attique pour que la température de l'air pulsé dans les appartements du rez-de-chaussée atteigne environ 20°C , et cela malgré l'isolation des conduites de distribution. On note également que la température de l'air extrait est en moyenne sur l'ensemble du bâtiment de $22\text{-}23^\circ\text{C}$, mesurée à l'entrée du monobloc de ventilation.

b) Efficacité de l'échangeur de chaleur

L'efficacité propre de l'échangeur de chaleur se caractérise par la relation suivante :

$$\text{Efficacité} = \frac{T_{\text{air neuf sortie échangeur}} - T_{\text{air neuf}}}{T_{\text{air extrait}} - T_{\text{air neuf}}} \quad (\text{Équation 4.1})$$

où $T_{\text{air neuf}}$ est la température de l'air extérieur, $T_{\text{air extrait}}$ la température moyenne reprise des logements et $T_{\text{air neuf sortie échangeur}}$ la température à la sortie de l'échangeur.

Pour le bâtiment 40-42, l'efficacité moyenne de l'échangeur de la ventilation double-flux est comprise entre 60 et 70%. Pour plus d'infos sur les niveaux de température de fonctionnement de la ventilation, se référer au rapport Gros-Chêne [48].

Pendant les deux décennies précédentes, le groupe Energie de l'Université de Genève a pu suivre, analyser et expertiser plusieurs systèmes de récupération de chaleur sur l'air extrait pour le chauffage de l'air frais. Nous constatons une évolution positive de l'efficacité de la récupération au cours du temps, les rendements se situaient grosso modo entre 40% et 50% pour les systèmes installés entre 1995 et 2000 (cité Solaire à Plan-les-Ouates [65] et bâtiment Perret [75]), le rendement est proche de 60% pour l'immeuble de logements situé à la rue Liotard 71 rénové en 2002 [76] (59% en fonctionnement normal et 42% en fonctionnement perturbé : filtres bouchés), de 65% mesuré sur les bâtiments du Pommier [46] construit en 2005 et finalement entre 60% et 70% pour le bâtiment Gros-Chêne rénové en 2008 [48]. Cette évolution est généralement admise par les spécialistes de la ventilation.

On note aussi que dans le bâtiment étudié, l'échangeur de chaleur est surdimensionné d'un facteur deux environ (débit prévu : 11'000 m³/h) et que les appartements se trouvent en légère surpression pour éviter l'infiltration d'air froid parasite dans les pièces.

c) Coefficients de performance (COP)

La performance des systèmes techniques est caractérisée par le coefficient de performance (COP) qui représente la quantité de chaleur produite ou récupérée par unité d'électricité consommée. Plus le COP est élevé, mieux l'électricité est valorisée.

$$COP = \frac{\text{Chaleur produite ou récupérée}}{\text{Electricité consommée}} \quad (\text{Équation 4.2})$$

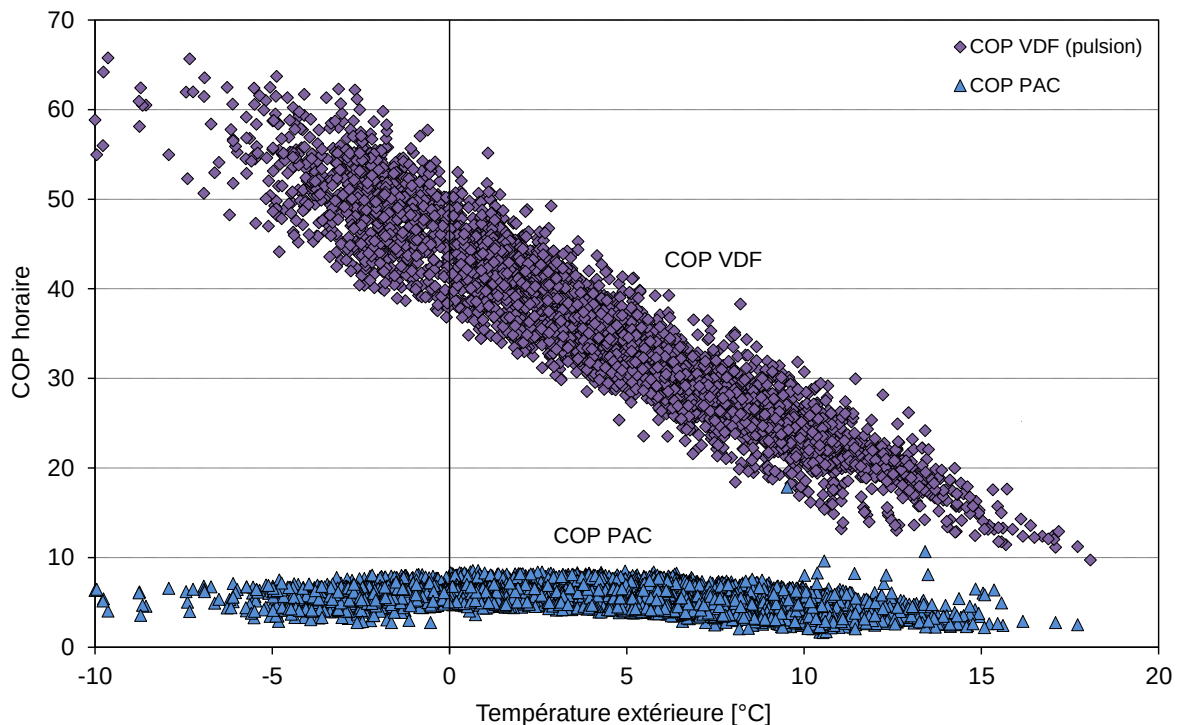
La Figure 4.32 présente les niveaux de COP atteint en fonction de la température extérieure pour la ventilation double-flux et pour la pompe à chaleur (PAC).

Le COP moyen horaire de la ventilation double-flux varie entre 10 et 60 et décroît linéairement avec la température extérieure. Il convient de préciser que seule l'électricité consommée par le ventilateur de pulsion est prise en compte dans le calcul du COP car le ventilateur d'extraction est considéré comme un équipement standard présent dans tout bâtiment.

A une température extérieure de 0°C, les valeurs de COP obtenues sont comprises entre 40 et 50. Cette dispersion des valeurs, déjà observée par Zraggen [46], serait probablement due à l'obturation progressive du filtre de pulsion dans le monobloc, qui entraîne une augmentation de la consommation électrique du ventilateur. On note que dans les deux cas les filtres de pulsion sont remplacés deux fois par an dans le cadre d'un contrat d'exploitation des installations techniques.

Le système de ventilation à double-flux présente donc une très bonne performance avec un COP annuel d'environ 19 (moyenne 2008-2010), calculé à partir des valeurs moyennes du diagramme de flux présenté précédemment à la Figure 4.21. Cette performance est environ trois fois supérieure au COP observé sur le bâtiment du Pommier [46] qui présente des pertes de charges importantes sur le réseau de distribution (pulsion à travers la dalle).

Figure 4.32. Coefficients de performance horaire de la ventilation double-flux et de la PAC sur air vicié en fonction de la température extérieure (octobre 2009 à mai 2010)



Le COP de la pompe à chaleur est calculé en considérant la chaleur fournie par le condenseur et l'électricité consommée par le compresseur. Ce coefficient varie entre 3 et 8 avec une moyenne située à 5.5 (moyenne 2008-2010). On peut lire sur le diagramme de flux (cf. Figure 4.21) qu'environ 5 unités d'électricité consommée permettent de produire 27 unités de chaleur (valeurs arrondies). L'utilisation jointe de la pompe à chaleur et de l'échangeur double-flux permet de récupérer environ 80% de la chaleur contenue dans l'air vicié (77 MJ/m²a, moyenne 2008-2010). La chaleur valorisée est en moyenne de 85 MJ/m²a sur la période 2008-2010, en considérant la consommation électrique supplémentaire de 8 MJ/m² par an. Le COP global annuel de l'installation de ventilation (VDF + PAC) atteint donc 11, ce qui est une valeur intéressante.

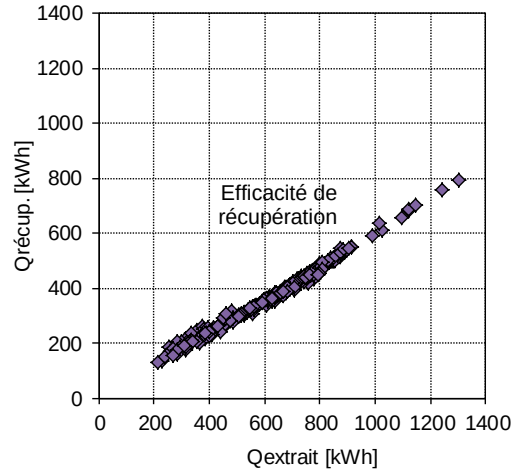
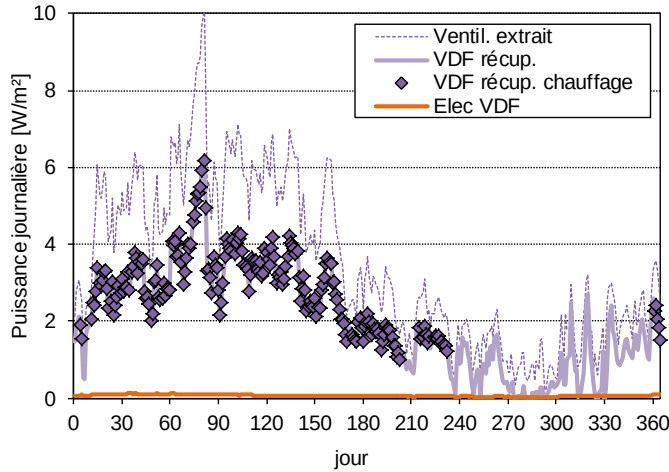
Par contre, la mise en œuvre de cette solution s'est révélée difficile et onéreuse, notamment à cause de l'intégration des gaines de pulsion d'air dans le bâtiment. En guise d'alternative à la ventilation double-flux, on pourrait opter dans ce type de rénovation pour une solution avec des entrées d'air autoréglables dans les appartements (système sans pulsion), et où la récupération de chaleur sur l'air vicié se ferait grâce à une pompe à chaleur utilisée pour le préchauffage de l'ECS. Les performances de ce système, plus simple et sans doute moins coûteux, seront étudiées dans le cadre du projet de recherche COMPARE-RENOVE [31].

La Figure 4.33 montre les puissances moyennes journalières (colonne gauche) et les graphiques input-output (colonne droite) des systèmes techniques mesurés entre le 1^{er} octobre 2009 et le 30 septembre 2010. Les puissances sont exprimées en W/m² (SRE=5'357 m²), alors que les graphiques input-output sont en kWh par jour. Les valeurs indiquées sur la figure sont celles du bilan annuel 2008-2010. Les graphiques 4.33-1 (haut) et 4.33-2 (milieu) présentent respectivement les performances du système ventilation à double-flux et de la pompe à chaleur (PAC). Les performances du système solaire thermique sont représentées au bas de la Figure 4.33. Elles seront discutées au point suivant.

Figure 4.33. Performances des systèmes techniques mesurées entre le 1er octobre 2009 et le 30 septembre 2010 : dynamique annuelle à gauche en W/m^2 (SRE=5'357 m^2) et graphique input-output à droite en kWh. Haut : ventilation à double-flux. Milieu : pompe à chaleur. Bas : solaire thermique.

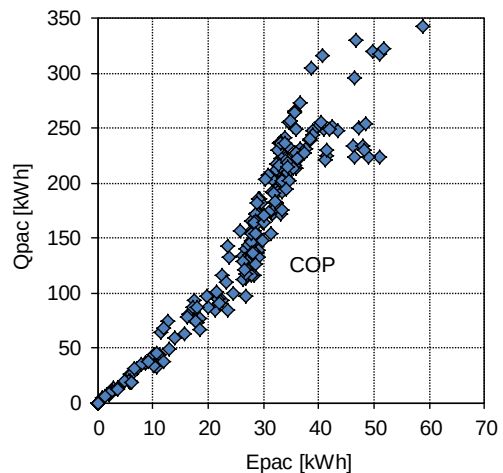
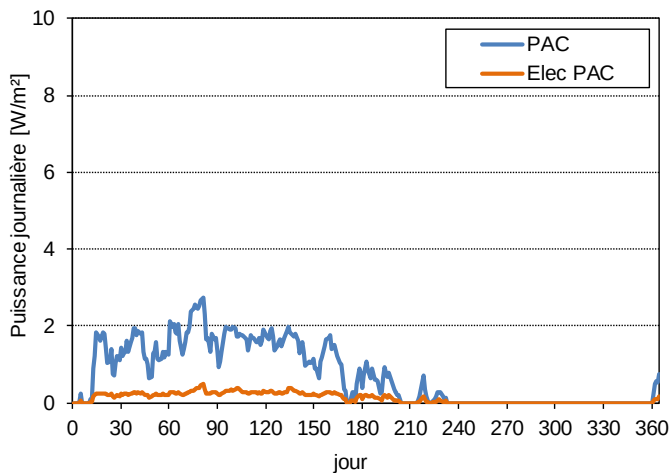
4.33-1 Système ventilation à double-flux (bilan 2008-2010)

- Chaleur récupérée VDF : 55 $\text{MJ/m}^2\text{a}$
- Electricité VDF : 3 $\text{MJ/m}^2\text{a}$
- Efficacité de récupération : 60-70%
- COP annuel : 19



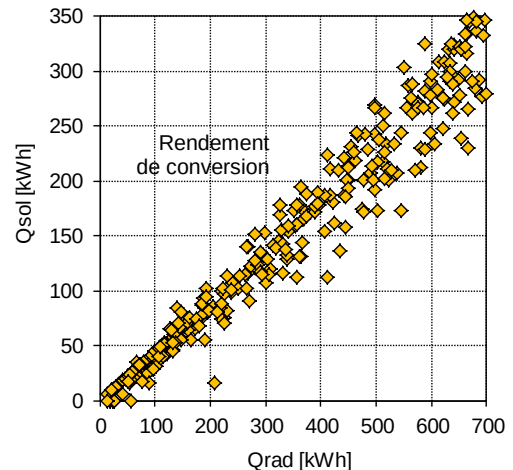
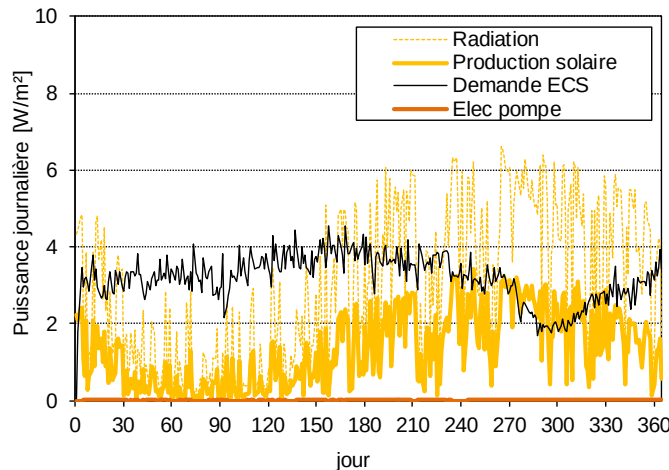
4.33-2 Système pompe à chaleur (bilan 2008-2010)

- Chaleur récupérée PAC : 22 $\text{MJ/m}^2\text{a}$
- Electricité PAC : 5 $\text{MJ/m}^2\text{a}$
- COP annuel : 5.5



4.33-3 Système solaire thermique (bilan 2008-2010)

- Chaleur solaire produite : 44 $\text{MJ/m}^2\text{a}$
- Electricité pompe solaire : 0.5 $\text{MJ/m}^2\text{a}$
- Rendement de conversion : 45%
- COP annuel : 75



4.3.6.2 Système solaire thermique

a) Description et dimensionnement

La toiture rénovée du bâtiment 40-42 a été équipée d'une installation solaire thermique composée de 50 capteurs plans vitrés exposés sud-est. Le fluide caloporteur du circuit primaire (boucle solaire), composé d'un mélange d'eau et d'antigel, est chauffé en traversant les champs de capteurs. Cette chaleur est ensuite transférée au circuit secondaire par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur de 75 kW. Le circuit secondaire est constitué de deux réservoirs de 3'000 litres chacun qui permettent d'augmenter la capacité de stockage de l'énergie solaire surtout en été. L'énergie d'appoint pour la production d'eau chaude sanitaire est assurée par la chaleur du réseau CADIOM.

La surface de captage de l'installation est de 101 m^2 pour les 134 habitants au bâtiment 40-42, soit un ratio de 0.75 m^2 de capteur par habitant. Entre 2008 et 2010, la moyenne de la consommation d'ECS dans le bâtiment rénové s'est élevée à 61 litres par jour et par habitant, ce qui est très proche de la consommation moyenne observée sur l'échantillon analysée au point 2.5.6.2, qui atteint 60 litres/jour et par habitant. Cette consommation mesurée dans des conditions réelles d'utilisation représente donc 1.2 fois la consommation standard par personne⁴⁰ (UC) de 50 litres/jour d'ECS à 55°C. Ce résultat confirme l'hypothèse retenue ($1.2 \cdot \text{UC}$ au lieu de $1 \cdot \text{UC}$) pour l'estimation de la productivité moyenne solaire au point 2.5.6.3 du chapitre 2.

Enfin, si on rapporte le nombre de m^2 de capteurs à une unité de consommation standard (UC), le ratio de dimensionnement devient $0.62 \text{ m}^2 \text{cpt/UC}$ et se rapproche ainsi de la valeur recommandée de $0.5 \text{ m}^2 \text{cpt/UC}$ pour les installations collectives [47]. On peut donc en déduire que l'installation est correctement dimensionnée.

b) Performances techniques

Le rendement de conversion moyen, qui se définit comme le rapport entre la chaleur solaire produite par les capteurs (Q_{sol}) et l'ensoleillement dans le plan capteur (Q_{rad}), s'élève à 45%. Il peut se déduire graphiquement des valeurs journalières illustrées sur le graphique de droite à la Figure précédente 4.33-3.

La productivité des capteurs solaires est de 635 kWh par $\text{m}^2 \text{cpt}$ par an et dépend de plusieurs paramètres qui ont été discutés au point 2.5.6.3. On note aussi que la productivité de l'installation s'accorde assez bien avec la courbe de productivité donnée par l'équation 2.5, utilisée dans le chapitre 2 pour déterminer la productivité solaire du parc résidentiel collectif genevois. En se référant à la Figure 2.26 (chapitre 2), l'écart observé entre la productivité réelle et celle donnée par l'équation est de 6%.

Le taux de couverture solaire pour l'ECS est de l'ordre de 40% (valeur issue du rapport Gros-Chêne [48]). L'installation solaire thermique possède un très bon coefficient de performance (COP) de 75, avec 44 unités de chaleur produites pour seulement 0.5 unité d'électricité consommée par le circulateur solaire (valeurs arrondies).

⁴⁰ L'unité de consommation standard (UC) est définie par Lachal [47] comme la consommation moyenne de 50 litres d'eau chaude à 55°C par jour et par personne, ce qui représente une demande énergétique de 900 kWh/an, pertes de distribution comprises.

L'installation solaire fonctionne donc correctement et offre de bons niveaux de performances. Toutefois, son intérêt énergétique est contestable. En effet, les quantités de chaleur disponibles l'été sur le réseau CADIOM suite à l'incinération des ordures ménagères sont très largement supérieures à la demande estivale de chaleur des bâtiments connectés. De ce fait, l'usine d'incinération des Cheneviers est contrainte de rejeter dans le Rhône la chaleur en excès.

Bien que la nouvelle loi sur l'énergie exige une couverture de 30% des besoins en ECS par du solaire thermique lors de toute rénovation de toiture, nous recommandons de ne pas favoriser la pose de capteurs solaires thermiques sur des bâtiments raccordés au réseau CADIOM, et tout autre réseau connecté (situation actuelle), car cela contribue à augmenter en été les rejets thermiques dans le Rhône.

4.3.6.3 Conclusions

Globalement, les installations techniques sont bien dimensionnées et présentent de bonnes performances énergétiques.

L'installation solaire thermique possède la meilleure performance avec un COP annuel de 75. Le système de ventilation à double-flux présente un coefficient de performance intéressant de 19, calculé sur la base de la consommation du ventilateur de pulsion uniquement. Enfin, le COP de la pompe à chaleur intégrée varie entre 3 et 8 avec une moyenne située à 5.5. La performance annuelle globale de l'installation de ventilation contrôlée (VDF + PAC) atteint 11.

Les systèmes techniques retenus pour la rénovation du bâtiment 40-42 ont bénéficié d'un suivi régulier, sans quoi leurs performances seraient inférieures. En effet, un contrat d'exploitation et de maintenance a permis d'assurer le bon fonctionnement des installations et de prévenir d'éventuels dysfonctionnements.

Nous citons à titre d'exemple que l'échangeur solaire est détartré une fois par an afin d'éviter la surchauffe estivale du circuit primaire. L'arrêt de la production solaire n'est souvent pas perceptible par les occupants, car la relève est assurée directement par la chaleur provenant du réseau CADIOM. De même, les filtres de pulsion du monobloc de ventilation nécessitent d'être remplacés deux fois par an. L'obturation progressive des filtres induit une augmentation de la consommation électrique du ventilateur, entraînant une réduction significative du COP de l'installation.

Enfin, nous recommandons d'intégrer si possible dès la conception de la rénovation, les responsables de l'exploitation et de la maintenance des installations techniques.

4.3.7 Performance de l'enveloppe thermique

Les pertes par transmission à travers les composants de l'enveloppe sont à l'origine d'une grande partie des déperditions thermiques dans les bâtiments d'habitation. Le choix judicieux des solutions d'efficacité énergétique liées à l'enveloppe est important dès le stade de conception de la rénovation. Leur performance en conditions réelles d'utilisation dépend globalement du fonctionnement et de l'usage qu'en fait l'occupant.

La rénovation de l'enveloppe du bâtiment 40-42 a permis d'économiser $80 \text{ MJ/m}^2_{\text{SRE}}$ par an d'après le suivi énergétique (cf. Annexe A22). L'enveloppe rénovée est composée de :

- 593 m^2 de toiture, dont 57% sont contre air extérieur, isolées avec 12 cm d'isolation en mousse rigide de polyuréthane et le reste contre espace non chauffé.
- $1'484 \text{ m}^2$ de murs contre extérieur, dont seulement 20% ont été isolés par l'extérieur avec 10 cm de polystyrène expansé. En revanche, le reste bénéficie de la fermeture des balcons par du simple vitrage.
- $1'096 \text{ m}^2$ de surfaces vitrées, totalement remplacées par des verres isolants. Les cadres en bois ont été conservés aux étages. L'ensemble des loggias de chaque façade est conçu pour fonctionner selon le principe de double peau.
- 600 m^2 de plancher contre sous-sol non chauffé, isolées sous la dalle avec 5 cm de panneaux isolants.

Nous présentons ci-après les performances thermiques des principaux composants de l'enveloppe avant et après rénovation, les caractéristiques ainsi que le comportement observé des loggias du bâtiment 40-42. Enfin, l'influence du comportement de l'occupant sur la performance thermique des loggias est discutée au point 4.3.8.

4.3.7.1 Coefficient U des composants de l'enveloppe

La performance thermique des composants de l'enveloppe se caractérise essentiellement par le coefficient de transmission thermique « U » appelé aussi coefficient de transmission surfacique. Ce coefficient, exprimé en $\text{W/m}^2\text{K}$, indique la quantité de chaleur (φ) passant par unité de temps à travers 1 m^2 de surface extérieure d'un élément de construction, avec une différence de température de 1 Kelvin (K) entre l'intérieur et l'extérieur. La résistance thermique « R » d'un élément au passage de la chaleur est l'inverse de la valeur U.

$$U = \frac{\varphi}{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}} = \frac{1}{R} [\text{W} / \text{m}^2\text{K}]$$

(Équation 4.3)

En l'absence de données techniques sur les composants déjà présents dans le bâtiment 40-42, ce coefficient peut être soit calculé en estimant les caractéristiques intrinsèques de la paroi (appelé U théorique), soit déterminé localement à l'aide de fluxmètres thermiques (appelé U mesuré).

Une série de mesures ponctuelles de la performance des principaux composants de l'enveloppe rénovée a été réalisée durant le mois de février 2010. Les valeurs du flux de chaleur et les températures intérieure et extérieure de part et d'autre des composants ont été mesurées toutes les 15 secondes, moyennées et enregistrées sur une base de 10 minutes. Seules les données enregistrées entre 20h et 8h ont finalement été considérées, pour s'affranchir de l'effet de l'ensoleillement. Ces mesures nous ont permis de déterminer les

coefficients dynamiques U qui incluent les effets d'inertie des composants (exemple : $U_{\text{mur}}=1.72\pm0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$, où les $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ne représentent pas l'incertitude de la mesure, mais la variation de la valeur mesurée).

Ces données ont été complétées par des valeurs U calculées pour les composants qu'on n'a pas pu mesurer et ceci, soit à cause du problème d'accès, soit car l'élément a été rénové (pour les U avant travaux). Le Tableau 4.14 donne les coefficients de transmission thermique U mesurées et théoriques des principaux composants de l'enveloppe.

Tableau 4.14. Coefficients de transmission thermique des principaux composants de l'enveloppe

Eléments d'enveloppe	U théorique avant rénovation [$\text{W/m}^2\text{K}$]	U théorique après rénovation [$\text{W/m}^2\text{K}$]	U mesuré après rénovation [$\text{W/m}^2\text{K}$]	Remarque
Toiture (contre extérieur)	0.95	0.27	0.22 ± 0.09	Ajout d'un matelas de 12 cm en mousse polyuréthane
Murs étages (SO & NE)	$1.50^{(a)}$	1.50	1.72 ± 0.15	Aucune isolation mais création de loggia
Murs RDC (SO & NE)	$1.50^{(a)}$	0.26	NM	Isolation périphérique type PSE de 10 cm
Mur pignon (NO)	3.00	0.33	NM	Isolation périphérique type PSE de 10 cm
Vitrage (contre balcon)	5.90	-	1.05 ± 0.07	-
Vitrage simple pour la fermeture des balcons	-	-	3.42 ± 0.23	-
Loggia fermée ^(b)	-	1.17	NM	-
Plancher RDC (contre espace non chauffé)	1.26	0.44	Mesure non valable ^(c)	Ajout de 5 cm de panneaux isolants sous le plancher

NM : Non mesuré, PSE : polystyrène expansé

^(a) U_{mur} théorique $=1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ en considérant que le mur comporte un panneau de fibre de bois de 3 cm d'épaisseur.

^(b) La loggia fermée englobe l'ensemble des parties opaques et transparentes de la paroi intérieure (séparant les pièces chauffées des balcons) et de la paroi extérieure (suite à la fermeture des balcons).

^(c) Remarque sur le coefficient U mesuré du plancher : plusieurs mesures ponctuelles de flux thermique effectuées sur le plancher ont donné des résultats différents (non fiables). Cela est dû principalement à une faible différence de température mesurée entre le rez-de-chaussée (RDC) et les caves, malgré le fait que les conduites et le plancher ont été isolés. Durant nos visites, aucune source d'évasion de chaleur apparente n'a été identifiée, à part la présence de plusieurs regards d'eaux usées dans les caves. Ce constat mériterait une étude plus fine. Les valeurs U mesurées n'ont donc pas été considérées.

4.3.7.2 Discussion des résultats : solutions statiques et dynamiques

On peut distinguer deux types de solutions parmi celles retenues pour la rénovation thermique de l'enveloppe du bâtiment 40-42 : les *solutions statiques* comme l'isolation périphérique et les *solutions dynamiques*, à l'instar de la fermeture des balcons en loggia, dont la performance thermique dépend en grande partie de l'usage qu'en fait l'occupant.

a) Solution statique : l'isolation périphérique

- **Toiture** : le renforcement de l'isolation de la toiture a permis de diminuer son coefficient U de 0.95 à $0.22 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ainsi, la valeur U limite de $0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ requise par la norme SIA 380/1:2009 dans la justification par performances ponctuelles est respectée pour la toiture. Cela devrait engendrer d'après la simulation EnerCAD une économie d'énergie utile d'environ 20'000 kWh/an.

- **Plancher** : l'isolation rapportée sous le plancher a permis de diminuer le coefficient U théorique de 1.26 à 0.44 W/m²K, qui reste supérieure à la valeur U limite de 0.3 W/m²K requise par la norme SIA 380/1:2009 dans la justification par performances ponctuelles. Toutefois, l'isolation du plancher devrait permettre une réduction des besoins en énergie utile d'environ 15'000 kWh/an (d'après la simulation EnerCAD).

b) Solution dynamique : les loggias

- **Façades** : 85% des façades du bâtiment 40-42 (éléments opaques et transparents) comportent des loggias « froides », faisant office d'espaces tampons entre l'espace chauffé (appartement) et l'extérieur. Les valeurs U mesurées des vitrages intérieurs et extérieurs de la loggia confirment les valeurs données par le fabricant. La valeur U théorique de la loggia fermée est de 1.26 W/m²K. Cependant, la performance effective de la loggia dépend en grande partie de l'usage qu'en fait l'occupant. Les économies d'énergies engendrées par cette solution sont donc difficiles à chiffrer avec précision. Nous détaillerons ce point plus loin.

4.3.7.3 Caractéristiques des loggias « froides » retenues

a) Définition et principe de fonctionnement d'une loggia froide

La loggia « froide » est par définition un local non chauffé situé entre un espace chauffé et l'extérieur (cf. Figure 4.34). Elle constitue un espace tampon dynamique à cause de la variation de sa température journalière et saisonnière. Cette fluctuation importante ne permet pas une occupation permanente du balcon vitré, malgré l'espace supplémentaire offert à l'occupant. Il convient de préciser que nous ne faisons pas de différence dans ce travail entre les termes : loggia, véranda et balcon vitré.

Le principe de fonctionnement d'une loggia consiste l'hiver à :

- Capter l'énergie solaire passive transmise par rayonnement ;
- Stocker cette chaleur dans les parois de la véranda (murs et planchers) ;
- Transférer la chaleur vers le logement et minimiser les pertes thermiques des espaces chauffés vers l'extérieur.

Figure 4.34. A gauche, les balcons vitrés du bâtiment 40-42 après rénovation.
A droite, les balcons du 36-38 équivalents au 40-42 avant rénovation



Bâtiment 40-42 rénové

Bâtiment 36-38 non rénové

Il est à noter que le principe de double-peau a été en particulier retenu dans cette rénovation pour ne pas poser une isolation extérieure périphérique qui aurait réduit la profondeur déjà étroite des balcons. Mais si l'isolation thermique de l'enveloppe contribue directement à la réduction des pertes énergétiques, la fermeture des balcons en loggias est une solution dynamique : sa performance dépend en grande partie de l'usage qu'en fait l'occupant.

b) Caractéristiques générales

Le principe de double-peau appliqué au bâtiment rénové du Gros-Chêne présente les caractéristiques suivantes :

- **Typologie** : Les loggias sont de type « froides », c'est-à-dire que la limite de l'enveloppe thermique du bâtiment s'arrête au niveau de la paroi intérieure, présentant dans ce cas le plus petit coefficient de déperdition thermique ($H_{\text{int}} = 205 \text{ W/K} < H_{\text{ext}} = 478 \text{ W/K}$, pertes sur un étage). Le bâtiment rénové comporte 80 loggias réparties sur 8 étages, soient dix loggias par étage. Sur le plan énergétique, l'ensemble des loggias de chaque façade fonctionne comme un seul système de captage car elles ne sont pas indépendantes thermiquement les unes des autres.
- **Orientation** : La moitié des loggias sont orientées sud-ouest et donnent sur l'avenue du Gros-Chêne, tandis que l'autre moitié a une orientation nord-est.
- **Dimensions** : Les balcons vitrés présentent une profondeur de 90 et de 150 cm (voir les plans à la Figure 4.6). La surface totale au sol des vérandas est de 880 m^2 .
- **Caractéristiques thermiques des principaux éléments** :
 - La paroi intérieure, qui sépare le logement du balcon vitré, est composée d'une surface vitrée (double vitrage $U=1.05\pm 0.07 \text{ W/m}^2\text{K}$) adaptée aux cadres existants en bois, et d'une paroi opaque non isolée ($U_{\text{mur}}=1.72\pm 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$). La résistance thermique totale de la paroi intérieure est de $0.55 \text{ m}^2\text{K/W}$. Son coefficient de transmission thermique U est de $1.81 \text{ W/m}^2\text{K}$. Les déperditions à travers les murs intérieurs, qui accusent des retraits de 60 cm par rapport à la limite de la paroi intérieure (cf. Figure 4.6), ont été ramenées à un seul plan pour avoir les surfaces totales des parois intérieure et extérieure égales.
 - La paroi extérieure, qui sépare la véranda de l'extérieur, est composée de garde-corps en béton ou en verre feuilleté et de fenêtres coulissantes en verre simple avec cadre en aluminium ($U=3.42\pm 0.23 \text{ W/m}^2\text{K}$) ajoutées lors de la rénovation. La résistance thermique totale de la paroi extérieure est de $0.24 \text{ m}^2\text{K/W}$. Son coefficient de transmission thermique U est de $4.21 \text{ W/m}^2\text{K}$. Le Tableau 4.15 récapitule les caractéristiques thermiques de la paroi intérieure et extérieure.

Tableau 4.15. Récapitulatif des caractéristiques thermiques de la paroi intérieure et extérieure des loggias d'un étage (surface des parois = 113.5 m^2)

	$U \text{ [W/m}^2\text{K]}$	$H \text{ [W/K]}$	$R \text{ [m}^2\text{K/W]}$
Paroi intérieure de la loggia	1.81	205	0.55
Paroi extérieure de la loggia	4.21	478	0.24

- Les planchers et les séparations transversales en béton armé sont peints de couleur sombre (gris et brique), permettant ainsi une meilleure absorption de la chaleur. Le flux de chaleur au travers de ces parois est considéré nul.

4.3.7.4 Comportement thermique des loggias

a) Dispositif de mesure

Nous avons posé des thermomètres enregistreurs (1 relevé toutes les 10 minutes) pour mesurer la température et l'humidité respective des locaux et des loggias orientées sud-ouest et nord-est du 4ème et 8ème étage de l'immeuble 42. Ce système de mesure nous a permis de suivre de près 4 loggias de juillet 2009 à juin 2010.

L'une des limites de l'étude tient au fait que nous avons dû réduire la taille de l'échantillon pour des raisons liées à l'accès aux logements. Cependant, l'échantillon est relativement représentatif de par l'orientation des loggias et le type d'appartements adjacents. A cet égard, je tiens à remercier les locataires qui ont accepté de nous accueillir à plusieurs reprises durant cette campagne de mesures.

La Figure 4.35 indique l'emplacement des thermomètres dans les appartements et les balcons vitrés. Il est à noter que l'appartement orienté sud-ouest du quatrième étage n'est pas traversant, contrairement aux deux autres. Les thermomètres, fixés sur les conduits de pulsion d'air du double-flux qui traversent les loggias, ont été déportés pour éviter de mesurer la température de la conduite (cf. Figure 4.36). L'incertitude sur les valeurs de températures est de 0.5°C.

Quant aux données météo (température extérieure et ensoleillement), elles nous ont été fournies par l'installation météorologique fixée sur le toit de l'immeuble.

En parallèle à l'enregistrement systématique, des mesures ponctuelles ont également été entreprises dans les loggias pour mesurer par exemple le gradient thermique vertical de l'air.

Figure 4.35. Monitoring des loggias

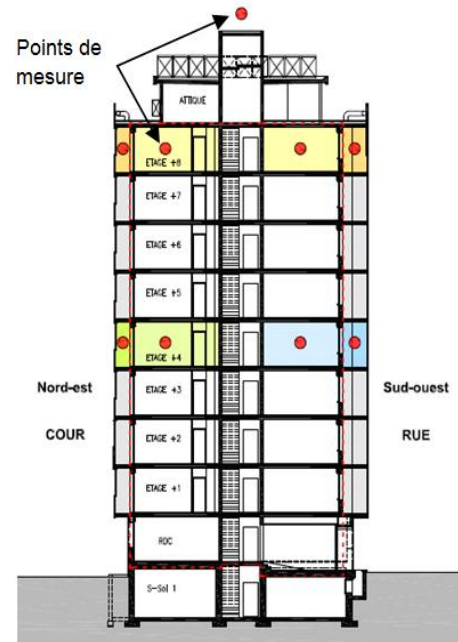


Figure 4.36. Système de mesure



b) Méthodologie

L'analyse de la distribution des mesures enregistrées toutes les 10 minutes a été réalisée en percentiles. La méthode des percentiles consiste à repérer les quantiles souhaités dans la distribution et permet de bien visualiser la dynamique d'évolution des températures. Pour cette analyse, nous avons utilisé les 10^e, 50^e et 90^e percentiles.

- le 10^e percentile représente la valeur pour laquelle 10% des mesures sont inférieures.
- le 90^e percentile représente la valeur pour laquelle 10% des mesures sont supérieures.
- le 50^e percentile est la médiane de la série qui divise en deux parties la distribution.

Contrairement à la moyenne arithmétique, la médiane permet d'atténuer l'influence des valeurs extrêmes enregistrées dans les vérandas (exemple d'une véranda fermée en été ou ouverte en hiver).

c) Résultats

La variation des températures journalières et saisonnières mesurées dans une véranda dépend de plusieurs paramètres :

- la forme de la véranda et son orientation
- la situation de la véranda et son usage (prolongement du salon, de la cuisine ou de la chambre à coucher)
- les influences extérieures (ensoleillement, température, vent)
- le comportement de l'occupant

Signature thermique des vérandas sud-ouest et nord-est

Les Figures 4.37 et 4.38 présentent les signatures thermiques respectives des vérandas mesurées sud-ouest et nord-est du bâtiment 40-42. La signature thermique met en relation les températures médianes mensuelles dans les loggias et la température médiane extérieure. La température médiane a été calculée pour chaque véranda en se basant sur les valeurs enregistrées toutes les 10 minutes de juillet 2009 à juin 2010. Ensuite, chaque point qui figure sur ces graphiques représente la moyenne sur deux vérandas de même orientation.

Les résultats obtenus montrent que l'évolution des températures médianes mensuelles des vérandas sud-ouest $T_{vs}(50p)$ et nord-est $T_{vn}(50p)$ est fonction de la température extérieure $T_{ext}(50p)$.

En comparant ces deux signatures, il ressort néanmoins que l'influence de l'orientation sur les températures mensuelles est faible. En fait, les signatures thermiques des vérandas mesurées sud-ouest et nord-est ne présentent pas de grande différence : ce qui laisse penser que l'influence du comportement des occupants prime sur l'effet de l'orientation. Mais pour des périodes plus courtes, nous avons constaté que les températures dépendent évidemment de l'ensoleillement et sont par suite plus élevées dans les vérandas orientées sud-ouest que nord-est.

Figure 4.37. Température mensuelle des vérandas sud-ouest en fonction de la température extérieure ($T_{vs}=0.62T_{ext}+11$)

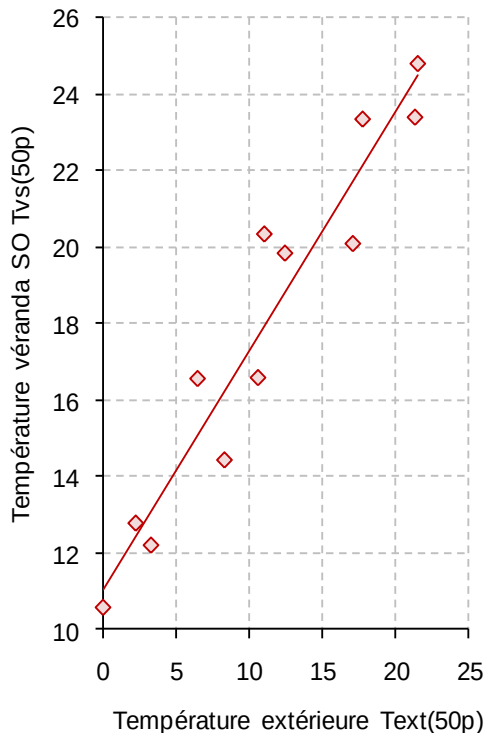
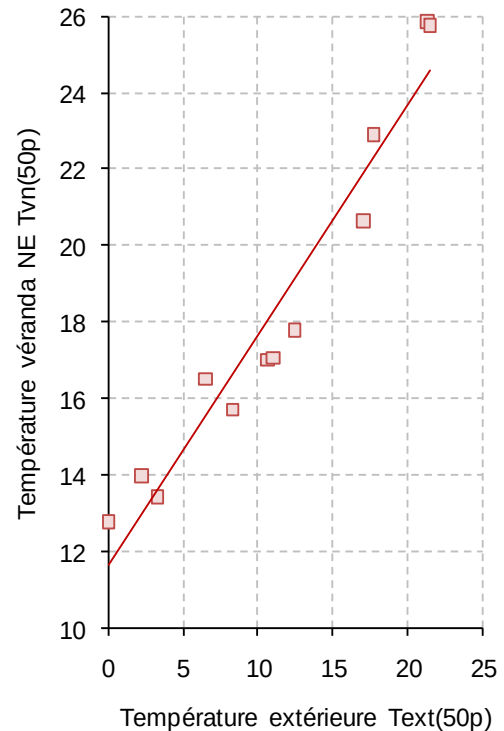


Figure 4.38. Température mensuelle des vérandas nord-est en fonction de la température extérieure ($T_{vn}=0.6T_{ext}+11.6$)



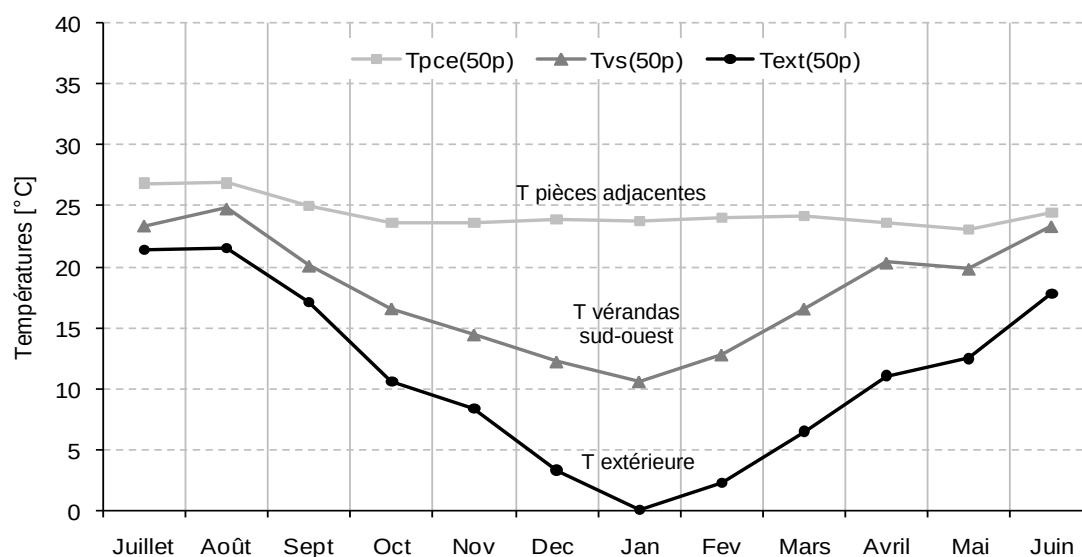
On observe ensuite que les températures médianes mensuelles enregistrées dans les vérandas nord-est (cf. Figure 4.38) sont plus élevées que celles des vérandas sud-ouest (cf. Figure 4.37) lorsque les températures extérieures sont inférieures à 5°C. Ces résultats, qui peuvent surprendre, sont sans doute dus à une mauvaise gestion des vérandas nord-est donnant dans l'ensemble sur les chambres à coucher. En fait, certains locataires ont tendance en hiver à ouvrir la paroi intérieure des loggias pendant la nuit du fait des températures élevées mesurées dans les chambres (23 à 25°C). De par son importance, l'influence du comportement des usagers sur la performance des vérandas sera abordée au point suivant 4.3.8.

Enfin, une analyse en percentiles de la distribution des températures enregistrées dans les balcons vitrés et dans les pièces adjacentes aux vérandas sud-ouest et nord-est a été réalisée. Les résultats obtenus montrent que l'évolution des températures mesurées dans les vérandas sud-ouest a été relativement proche de celles enregistrées dans les vérandas nord-est. Par conséquent, seuls les résultats des mesures acquises dans les vérandas sud-ouest sont présentés et discutés dans le paragraphe qui suit, tandis que ceux des vérandas nord-est seront exposés en Annexe A19.

Analyse en percentiles des vérandas sud-ouest

La Figure 4.39 présente les températures médianes mensuelles des vérandas sud-ouest $T_{vs}(50p)$, des pièces adjacentes $T_{pce}(50p)$ et de l'air extérieur $T_{ext}(50p)$. Hormis la température extérieure, chaque valeur est la moyenne sur deux mesures relevées toutes les 10 minutes de juillet 2009 à juin 2010.

Figure 4.39. Température médiane mensuelle des vérandas sud-ouest (Tvs), des pièces adjacentes (Tpce) et de l'air extérieur (Text), mesurée avec un pas de 10 min (juillet 2009-juin 2010)



L'évolution des températures mensuelles 10p, 50p et 90p mesurées dans les vérandas sud-ouest du bâtiment 42 sont présentées sur la Figure 4.40. Les points rouges indiquent les températures médianes extérieures de juillet 2009 à juin 2010. Le Tableau 4.16 donne les températures minimales et maximales mensuelles (moyenne sur 2 vérandas orientées sud-ouest) mesurées avec un pas de 10 min.

Figure 4.40. Evolution des températures mensuelles 10p, 50p, et 90p des vérandas sud-ouest, mesurées avec un pas de 10 min de juillet 2009 à juin 2010. Chaque valeur est la moyenne sur deux vérandas. Les points rouges représentent la médiane des températures extérieures Text(50p), $\Delta T=10$ min.

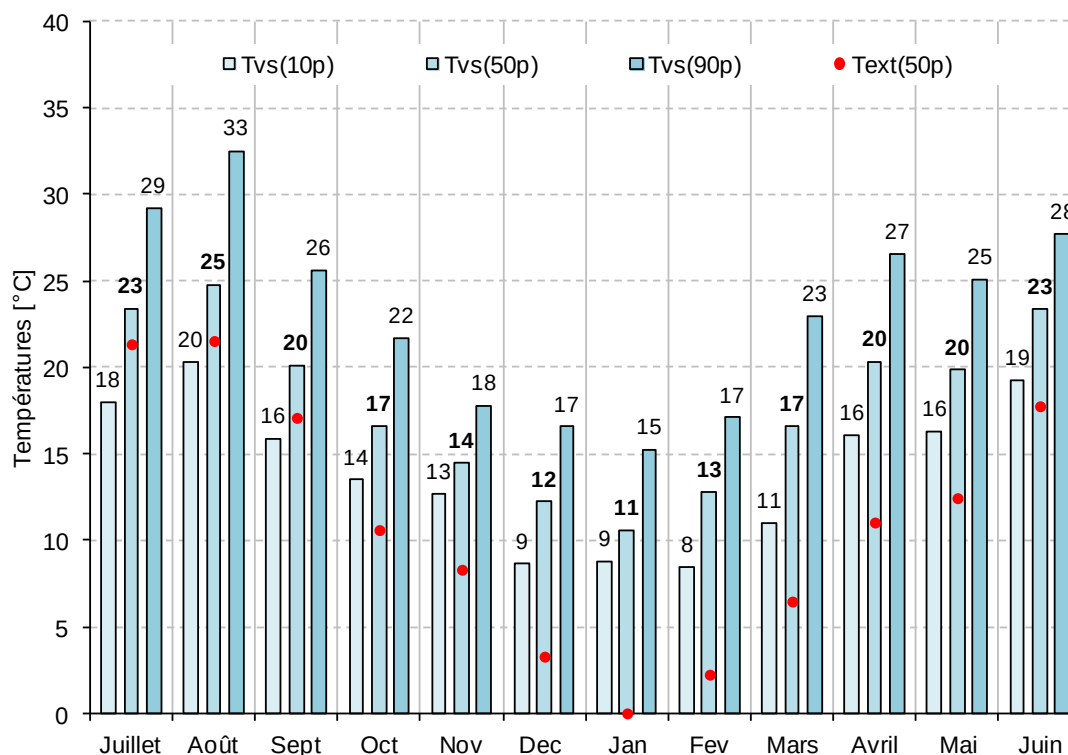


Tableau 4.16. Températures maximales ($T_{vs_{max}}$) et minimales ($T_{vs_{min}}$) des vérandas sud-ouest du bâtiment 42. Chaque valeur est la moyenne sur deux vérandas, mesurée avec un pas de 10 min, de juillet 2009 à juin 2010.

T(°C)	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin
$T_{vs_{min}}$	14	15	12	10	11	5	6	7	9	12	13	16
$T_{vs_{max}}$	40	40	33	30	26	24	23	28	32	34	35	34

Discussion des résultats

En hiver, les températures médianes enregistrées dans les vérandas sud-ouest $T_{vs}(50p)$ varient entre 11 et 13°C durant les mois de décembre, janvier et février, comme on peut le constater sur les Figures 4.39 et 4.40. 90% des valeurs enregistrées toutes les 10 minutes dans ces vérandas sont supérieures à 9°C en décembre et janvier et à 8°C en février, tandis que 10% des températures mesurées sont supérieures à 17°C en décembre et février et à 15°C en janvier (cf. Figure 4.40).

Le Tableau 4.16 montre que la température minimale atteinte en hiver dans les balcons vitrés est de l'ordre de 5°C en décembre, probablement suite à l'ouverture des fenêtres de la paroi extérieure de la véranda, tandis que la température maximale enregistrée a atteint 28°C en février ! Cependant, il est très difficile de déterminer la part provenant des apports solaires passifs et celle imputée aux pertes thermiques engendrées par l'ouverture des portes-fenêtres entre les pièces chauffées et les vérandas.

D'autre part, les médianes des températures mesurées toutes les 10 minutes en hiver dans les locaux situés aux 4^e et 8^e étages adjacents aux vérandas sud-ouest, sont élevées et varient entre 23 et 24°C (cf. Figure 4.39). Par conséquent, il est important de procéder à un abaissement de la température intérieure dans ces appartements en vérifiant la régulation et l'équilibrage hydraulique de l'installation de chauffage. A noter qu'une bonne régulation permettra d'éviter les surchauffes en hiver, source d'inconfort thermique et de gaspillage d'énergie.

En été, les températures médianes enregistrées dans les vérandas sud-ouest varient entre 23 et 25°C durant les mois de juin, juillet et août (cf. Figures 4.39 et 4.40). La Figure 4.40 montre que 90% des valeurs enregistrées toutes les 10 minutes dans ces vérandas sont respectivement supérieures à 19, 18 et 20°C, tandis que 10% des valeurs enregistrées ont dépassé les 28, 29 et 33°C. La température maximale atteinte est de 40°C, sans doute mesurée dans une loggia fermée durant une journée caniculaire (cf. Tableau 4.16). Enfin, la Figure 4.40 montre que la température médiane des locaux adjacents aux vérandas sud-ouest s'est élevée à 27°C durant les mois de juillet et d'août. On note également que les températures mesurées dans l'appartement non traversant ont été dans l'ensemble plus élevées que celles des appartements traversants.

Enfin, une bonne gestion des ouvertures des fenêtres pendant les journées caniculaires et une protection solaire plus efficace devraient réduire les températures élevées dans les pièces et offrir un meilleur confort.

4.3.8 Influence du comportement des usagers sur la performance des loggias en hiver

Comme indiqué au point précédent, le principe de fonctionnement d'une véranda « froide » consiste l'hiver à capter l'énergie solaire passive transmise par rayonnement pour stocker cette chaleur dans l'espace tampon.

Le comportement idéal est donc de maintenir fermées en hiver les portes-fenêtres de la paroi intérieure, ainsi que les fenêtres de la paroi extérieure des loggias, étant donné que le renouvellement d'air dans les pièces est assuré mécaniquement par la ventilation à double-flux. Il est aussi souhaitable de ne pas baisser les stores d'occultation en hiver afin d'obtenir une meilleure efficacité du capteur solaire (système loggia).

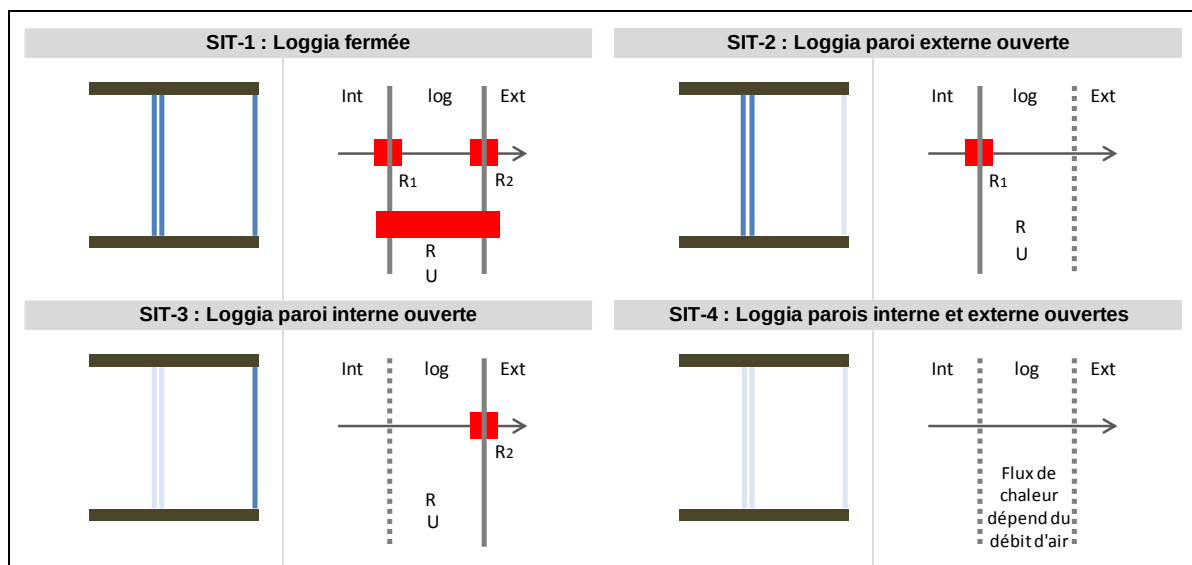
A cet égard, une plaquette expliquant le mode d'utilisation efficace des loggias pendant les saisons a été réalisée et distribuée durant la séance d'information à l'intention des locataires qui s'est tenue à la Maison Onésienne le 29 janvier 2009 (se référer à l'Annexe 7 du rapport Gros-Chêne [48]).

4.3.8.1 Comportements observés et leur influence sur la performance des loggias

Les 4 situations présentées à la Figure 4.41 représentent d'une manière générale les différentes gestions possibles des loggias en hiver, observées lors de nos visites de suivi.

Figure 4.41. Influence du comportement des usagers sur la performance thermique des loggias

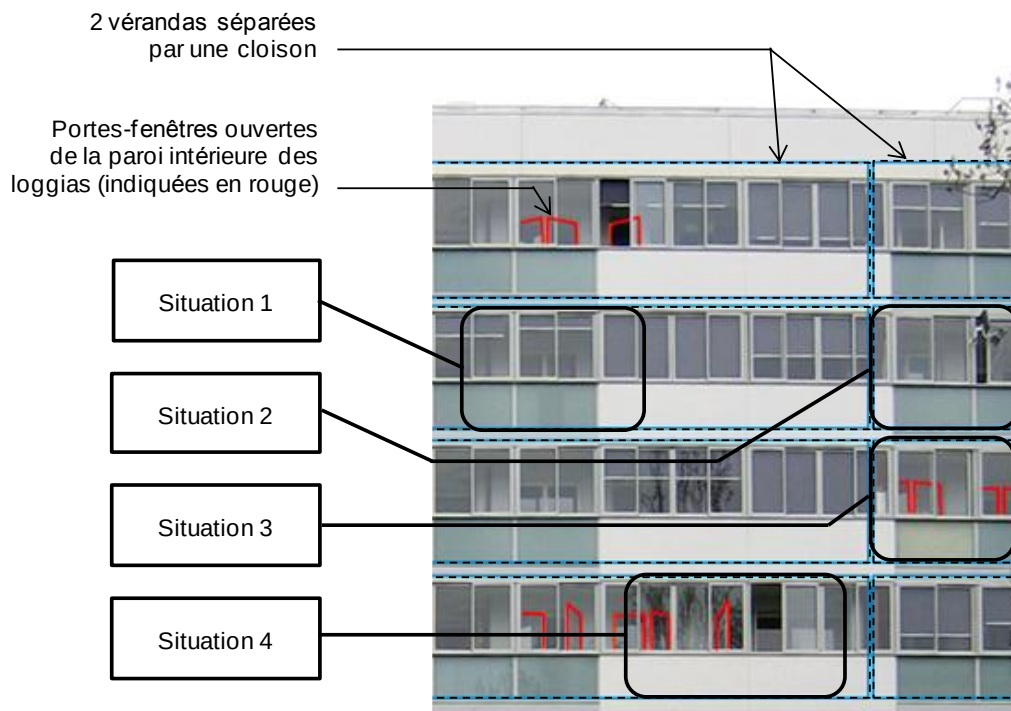
4 situations identifiées pour la gestion des loggias en hiver	R ₁ (interne) [m²K/W]	R ₂ (externe) [m²K/W]	R loggia [m²K/W]	U loggia [W/m²K]
• Situation 1 : Loggia fermée en hiver	0.55	0.24	0.79	1.26
• Situation 2 : Paroi interne fermée et paroi externe ouverte	0.55	0	0.55	1.81
• Situation 3 : Paroi interne ouverte et paroi externe fermée	0	0.24	0.24	4.21
• Situation 4 : Parois interne et externe ouvertes	-	-	-	-



Dans la pratique, les comportements observés sont très variables d'un appartement à l'autre. Cette différence dépend entre autres de facteurs socioculturels, mais aussi des conditions extérieures (température, ensoleillement) et intérieures (température et humidité des pièces). Plusieurs études, comme celle réalisée par Andersen [77], proposent des modèles qui définissent le comportement des occupants selon un certain nombre de variables en lien avec le confort thermique, la perception de la qualité de l'air, la météo et les aspects physiques de l'habitation. Les nombreuses données collectées dans le cadre de ce retour d'expérience peuvent être utilisées pour valider ce type de modèle.

La photo suivante (Figure 4.42) illustre, à titre d'exemple, différents comportements des usagers des loggias sud-ouest, observés le 23 février 2010 à 10 heures. A l'heure de la prise de vue, la température extérieure était de 6.5°C, l'ensoleillement global horizontal de 55 W/m². Les portes-fenêtres ouvertes de la paroi intérieure des loggias sont indiquées en rouge.

Figure 4.42. Photo illustrant différentes gestions des loggias sud-ouest le 23/02/2010 à 10h



On peut distinguer quatre situations possibles décrites ci-après :

- **Situation 1 : Loggia fermée en hiver**

Il s'agit de la situation optimale, où les portes-fenêtres et les fenêtres coulissantes respectivement de la paroi intérieure et extérieure des loggias sont fermées. Dans ce cas, la loggia joue le rôle d'un espace tampon étanche entre les pièces chauffées et l'extérieur. Sa résistance thermique totale R est de 0.79 m²K/W. Cette valeur correspond à la somme des résistances des deux parois intérieure et extérieure (R_1 et R_2). Le coefficient de transmission thermique U d'une loggia fermée est donc de 1.26 W/m²K (cf. Figure 4.41).

Situation 1 : $U_{\text{loggia}} = 1.26 \text{ W/m}^2\text{K}$

- **Situation 2 : Les portes-fenêtres de la paroi intérieure sont fermées, mais les fenêtres extérieures de la loggia sont ouvertes**

L'ouverture des vitrages coulissants de la paroi extérieure des loggias est évidemment une source de déperdition thermique. Lors de nos visites, nous avons remarqué des comportements aléatoires et d'autres volontaires, comme l'installation d'une antenne parabolique sur la paroi extérieure. Ce comportement a pour conséquence de diminuer l'efficacité de la loggia et de réduire sa performance thermique à celle de la paroi intérieure seule. Dans ce cas-là, la résistance thermique de la loggia va diminuer d'environ 30% pour atteindre $0.55 \text{ m}^2\text{K/W}$. Le coefficient U_{loggia} tendra donc vers $1.81 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Situation 2 : $U_{\text{loggia}} = 1.81 \text{ W/m}^2\text{K}$

- **Situation 3 : Les fenêtres extérieures de la loggia sont fermées, mais les portes-fenêtres de la paroi intérieure sont ouvertes (loggia chauffée)**

L'ouverture des portes-fenêtres de la paroi intérieure des loggias, indiquée en rouge sur la Figure 4.42, conduit de manière directe à une augmentation de la consommation énergétique du bâtiment rénové. Ceci est dû d'une part à une augmentation de la surface de référence énergétique du bâtiment en ajoutant la surface des loggias chauffées. D'autre part, les pertes par transmission thermique vont augmenter étant donné que l'espace chauffé se trouve en contact direct avec la paroi extérieure composée dans l'ensemble d'un vitrage simple (situation identique à celle d'avant rénovation). Par conséquent, l'enveloppe verra sa résistance thermique diminuer d'un facteur 3.3 pour atteindre $0.24 \text{ m}^2\text{K/W}$ (performance de la paroi extérieure seule). Le coefficient U de la loggia augmentera de 1.26 à $4.21 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Situation 3 : $U_{\text{loggia}} = 4.21 \text{ W/m}^2\text{K}$

L'ouverture des portes-fenêtres de la paroi intérieure des loggias est donc catastrophique du point de vue énergétique. Sur le plan économique, l'investissement dans les balcons vitrés n'aura pas d'effet sur l'amélioration de la performance de l'enveloppe, et même au contraire, la demande de chauffage du bâtiment risque d'augmenter en chauffant un espace supplémentaire. Dans cette situation, le comportement de l'occupant devient un facteur majeur dans le bilan du bâtiment rénové.

- **Situation 4 : Les portes-fenêtres de la paroi intérieure et les fenêtres extérieures de la loggia sont ouvertes**

L'ouverture en permanence des portes-fenêtres et des fenêtres extérieures en hiver contribue à un gaspillage massif d'énergie. Dans ce cas, on ne caractérise plus les déperditions avec la résistance thermique mais avec le taux de renouvellement d'air qui dépend de paramètres comme le gradient de températures. Cette situation représente le « pire scénario ».

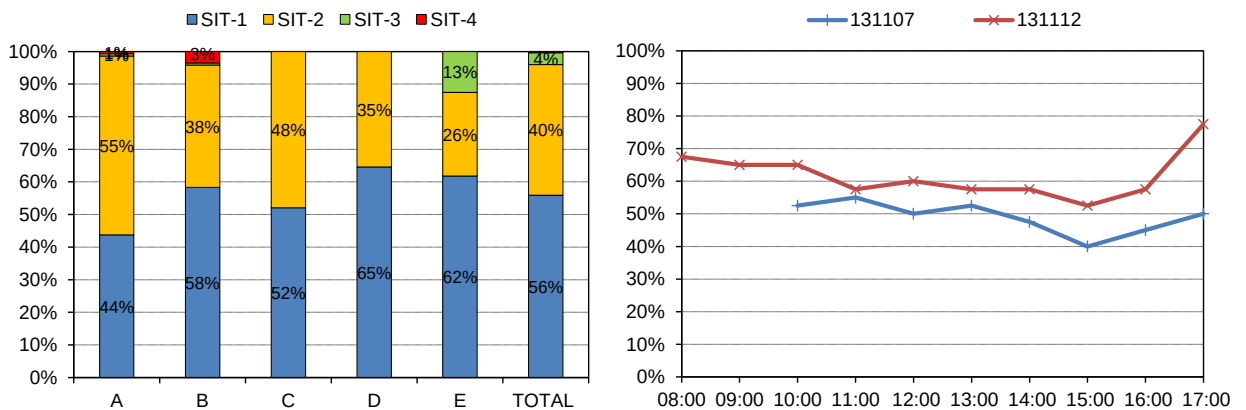
En conclusion, l'occupant peut donc par son comportement, en fonction des situations 2, 3 ou 4, réduire significativement la performance des loggias et par conséquent augmenter la consommation énergétique du bâtiment. Cependant, il est difficile de déterminer les pertes énergétiques directement imputables aux comportements des usagers en hiver, qui dépendent non seulement des situations évoquées, mais aussi du taux d'ouverture et du temps pendant lequel les portes-fenêtres et les fenêtres respectivement de la paroi intérieure et extérieure des loggias sont ouvertes.

4.3.8.2 Sensibilité à l'ouverture des loggias

L'analyse de sensibilité a été effectuée sur la base d'images prises dans le spectre visible et infrarouge. Tout d'abord, une série de photos de la façade sud-ouest du bâtiment 40-42 a été réalisée avec un pas de temps horaire entre 8h et 17h sur deux journées de novembre 2013. Cette façade, qui comporte 40 loggias, a été découpée en 5 bandes verticales (nommées ci-après colonnes A à E) composées chacune de 8 loggias superposées.

L'analyse des 18 photos prises durant les deux journées (soit 720 observations) a été réalisée dans le cadre d'un cours à l'Université de Genève. D'après les observations effectuées par les étudiants, près de la moitié des loggias (44%) n'étaient pas fermées (cf. Figure 4.43, graphique de gauche) : 40% se trouvaient en situation 2 (SIT-2) et 4% en situation 3 (SIT-3). Le graphique de droite montre que le taux de loggia fermée varie au cours de la journée entre 40% et 70%. Le taux le plus bas est atteint vers 15 heures pour les deux journées.

Figure 4.43. Graphique de gauche : Gestion observée des loggias sud-ouest du bâtiment 40-42 dans des conditions réelles d'utilisation sur deux journées de novembre 2013. Droite : Evolution avec un pas de temps horaire du taux de loggias fermées (SIT-1) entre 8h et 17h



Si on considère que le comportement moyen observé durant ces deux journées de novembre (56% SIT-1, 40% SIT-2 et 4% SIT-3) est représentatif de celui en hiver, la résistance thermique des loggias devient égale à $0.24 \text{ m}^2\text{K/W}$ et son coefficient U passe de 1.26 (situation 1, lorsque toutes les loggias sont fermées) à $1.60 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Selon observations : $U_{\text{loggia}} = 1.60 \text{ W/m}^2\text{K}$

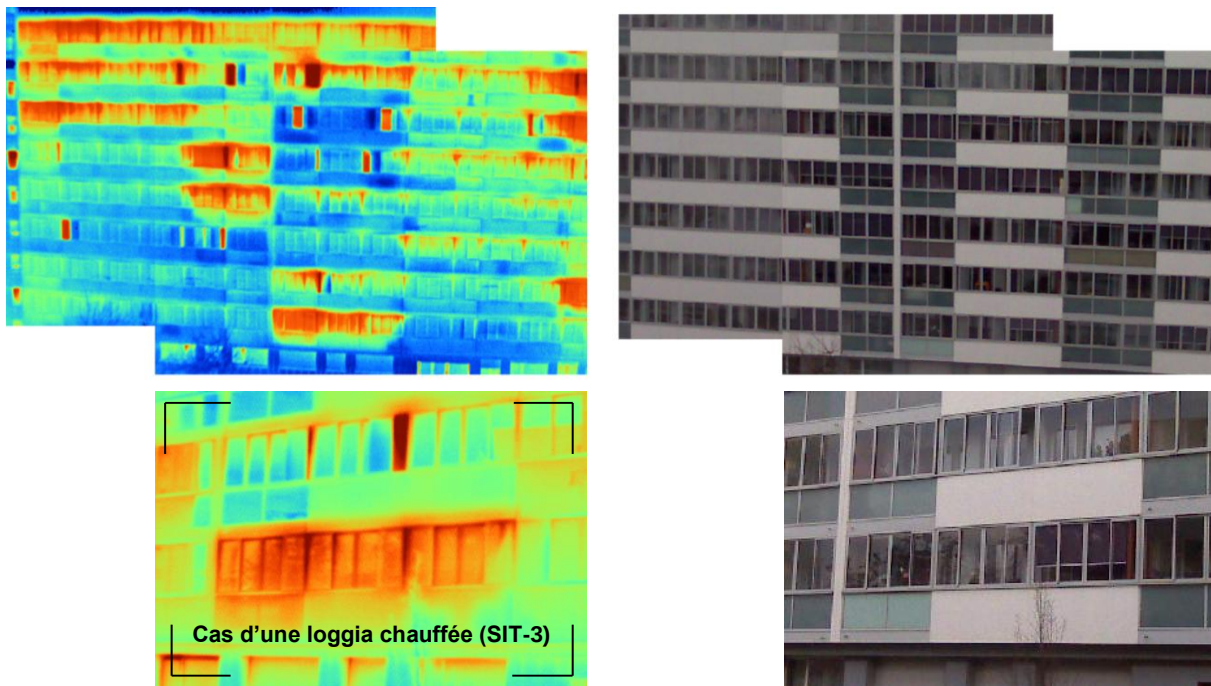
Les déperditions annuelles de chaleur à travers les loggias sud-ouest et nord-est du bâtiment 40-42 ont été calculées avec $3'800 \text{ DJ}_{16/22}$ pour les situations suivantes :

- 100% situation 1 (SIT-1) : $141 \text{ MJ/m}^2_{\text{SRE}}$ par an
- 100% situation 2 (SIT-2) : $201 \text{ MJ/m}^2_{\text{SRE}}$ par an
- 100% situation 3 (SIT-3) : $468 \text{ MJ/m}^2_{\text{SRE}}$ par an
- Selon observations (SIT-observée) : $178 \text{ MJ/m}^2_{\text{SRE}}$ par an

Selon la situation, les déperditions thermiques à travers les balcons vitrés varient entre $141 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ (SIT-1) et $468 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ (SIT-3). Les pertes imputées à la situation observée (SIT-observée) s'élèvent à $178 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ contre $141 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ si les loggias étaient fermées. Les résultats concernant le comportement observé doivent cependant être interprétés avec prudence du fait de la courte durée de la campagne (2 journées en novembre 2013, au cours de la semaine) et de la difficulté d'identifier sur les photos les parois internes ouvertes.

D'après les observations effectuées sur place lors de nos visites de suivi et la prise de vue en infrarouge de la façade sud-ouest du bâtiment le 10 février 2012 à 10 heures, lorsqu'il faisait -8°C à l'extérieur (cf. Figure 4.44, photo de gauche), on remarque que le pourcentage de loggias chauffées (SIT-3) en gardant les portes-fenêtres intérieures ouvertes est beaucoup plus important que celui identifié par les étudiants. Les loggias (SIT-3) peuvent être identifiées sur cette photo par les zones rouges qui représentent les importantes déperditions de chaleur à travers le simple vitrage de la paroi extérieure. La photo en bas montre un exemple d'une loggia chauffée (SIT-3).

Figure 4.44. Photos de la façade sud-ouest du bâtiment 40-42, dans l'infrarouge (à gauche) et dans le spectre visible (à droite), prises le 10/2/2012 à 10h ($T_{\text{ext}} = -8^{\circ}\text{C}$). La photo en bas à gauche montre un exemple d'une loggia chauffée (SIT-3).



On peut également constater sur la Figure 4.44, une concentration de balcons vitrés chauffés aux derniers étages (SIT-3), malgré le fait qu'un équilibrage hydraulique a été réalisé après la rénovation dans le but de permettre une distribution optimale de la chaleur dans les appartements.

Deux raisons peuvent expliquer ce constat : premièrement, il se peut que les occupants des derniers étages utilisent les balcons vitrés comme un espace de vie supplémentaire profitant ainsi de la vue dégagée; deuxièmement, certaines loggias peuvent être utilisées comme un mode de réglage des températures dans les pièces, qui s'avèrent d'après nos mesures élevées dans les étages supérieurs (températures de 24°C au 8^e étage contre 22°C au 4^e étage).

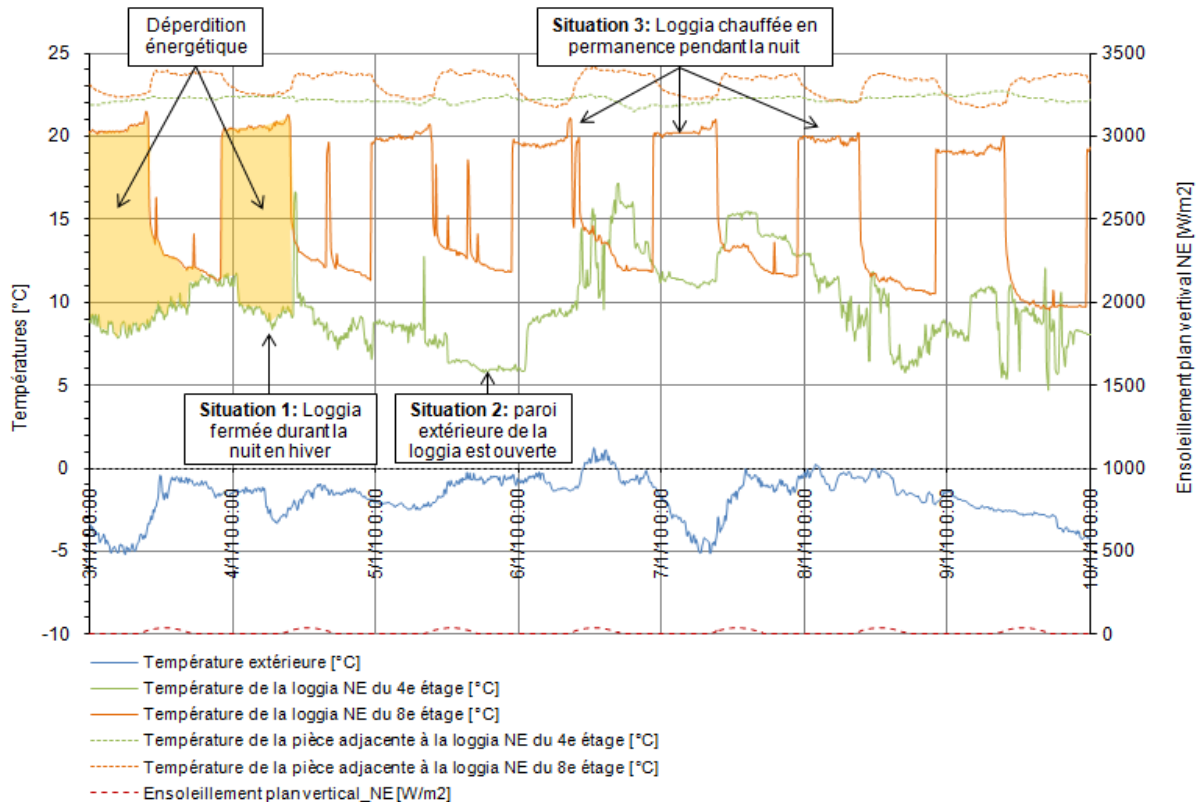
4.3.8.3 Exemples d'utilisation correcte et incorrecte des loggias pendant la saison de chauffe

a) Exemple d'une loggia chauffée en permanence pendant la nuit en hiver

La Figure 4.45 présente l'évolution des températures dans les loggias nord-est et dans les pièces adjacentes de deux appartements traversants situés au 4^e étage (tracé vert) et 8^e étage

(tracé orange) du bâtiment 42, mesurées avec un pas de 10 minutes du 3 au 9 janvier 2010. Les tracés bleu et rouge indiquent respectivement la température extérieure en °C et l'ensoleillement dans le plan vertical en W/m². Les différentes gestions possibles des loggias identifiées précédemment à la Figure 4.42 sont aussi représentées sur la figure ci-dessous.

Figure 4.45. Influence de l'occupant sur la performance des loggias nord-est durant les nuits d'hiver du 3 au 9 janvier 2010 : Cas d'une loggia chauffée



On constate que la loggia du 8^e étage est en permanence chauffée durant la nuit, suite à l'ouverture de la porte-fenêtre qui sépare la chambre à coucher de la loggia (situation 3). Les températures mesurées dans les balcons vitrés ont atteint plus de 20°C (malgré une température extérieure négative), entraînant une baisse de la température de la pièce adjacente d'environ 2°C.

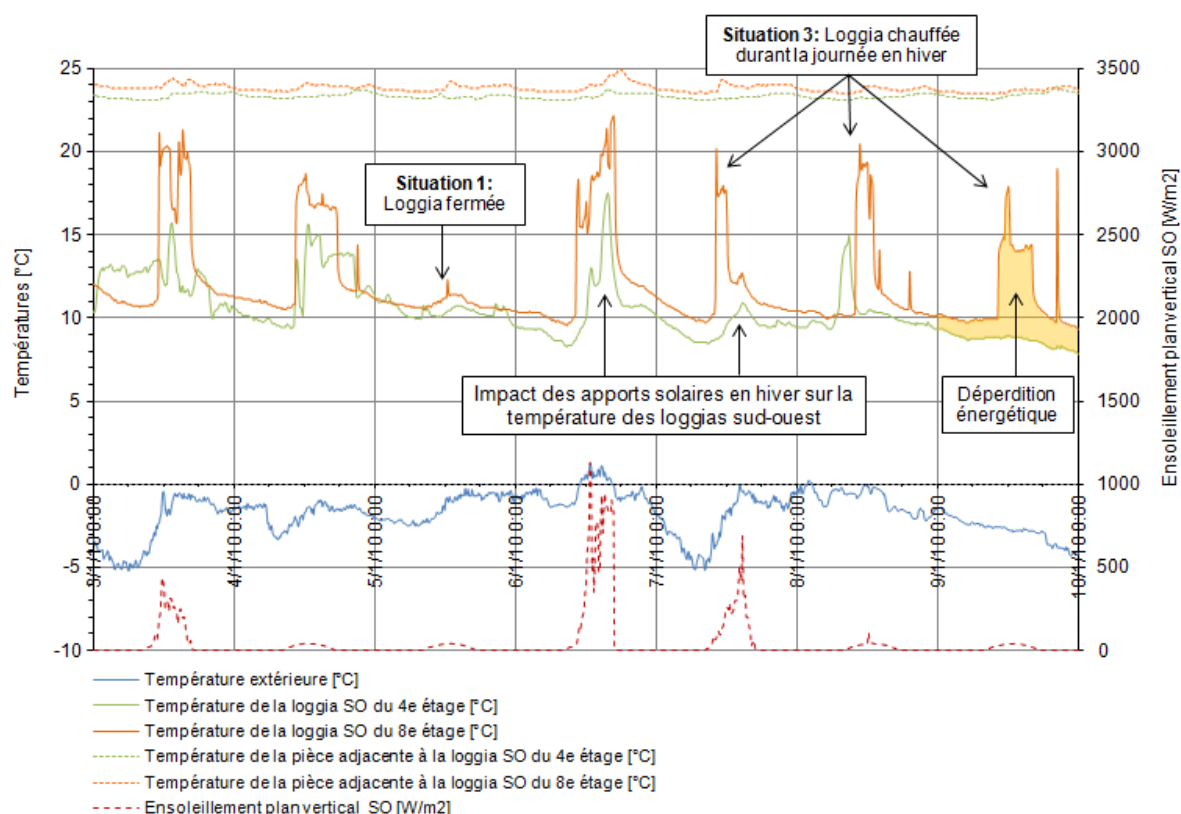
D'après l'occupant, ce comportement quotidien est dû aux températures élevées mesurées dans la chambre ($T_{\text{pièce}} = 24^{\circ}\text{C}$). Cependant, l'ouverture des portes-fenêtres de la paroi intérieure des loggias ne doit en aucun cas être un mode de réglage de la température des pièces (ce comportement neutralise l'effet de la loggia). Il est en revanche possible d'éviter la surchauffe dans les pièces, en réglant la vanne thermostatique de la pièce à la position 1 et en adaptant la courbe de chauffe.

On peut aussi remarquer que le comportement des occupants du 4^e étage est meilleur que celui du 8^e étage (grâce à une meilleure gestion de la loggia et à une utilisation correcte des vannes thermostatiques). En guise d'exemple, la surface colorée sur la Figure 4.45 met en évidence les pertes énergétiques imputées à l'utilisation incorrecte des loggias du 8^e étage durant les nuits d'hiver du 3 et 4 janvier 2010.

b) Impact des apports solaires et du comportement des usagers sur la performance des loggias sud-ouest pendant la journée en hiver

La Figure 4.46 présente l'évolution des températures dans les loggias et dans les pièces adjacentes des mêmes appartements traversants situés au 4^e étage (tracé vert) et 8^e étage (tracé orange) du bâtiment 42 mais cette fois-ci du côté sud-ouest, toujours mesurées avec un pas de 10 min du 3 au 9 janvier 2010. Les tracés bleu et rouge indiquent respectivement la température extérieure en °C et l'ensoleillement dans le plan vertical en W/m².

Figure 4.46. Influence de l'occupant sur la performance des loggias sud-ouest durant les journées d'hiver du 3 au 9 janvier 2010



Cette figure montre que les loggias sud-ouest bénéficient des apports solaires gratuits et accumulent la chaleur dès qu'il y a un peu de soleil, ce qui explique par exemple les pics de température que l'on observe durant les journées ensoleillées du 6 et 7 janvier 2010.

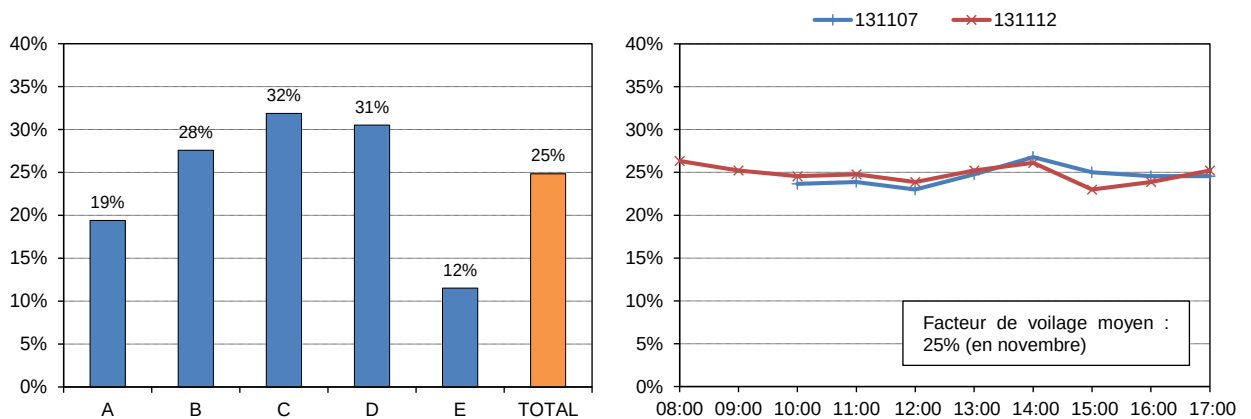
Cependant, il n'est pas toujours facile de distinguer les pics de température provenant des apports solaires passifs (gain de chaleur depuis l'extérieur) de ceux résultant de l'ouverture des portes-fenêtres des balcons vitrés (déperdition thermique depuis l'intérieur). Ceci rend particulièrement difficile d'établir un bilan thermique précis pour les balcons vitrés.

On constate aussi que les portes-fenêtres de la paroi intérieure des deux loggias sud-ouest sont souvent ouvertes quelques heures durant les journées d'hiver. Cette utilisation des loggias (situation 3 déjà discutée au point précédent) est source de déperditions énergétiques. Ces pertes sont représentées à titre d'exemple sur la Figure 4.46 par la surface colorée pour la journée du 9 janvier 2010.

4.3.8.4 Sensibilité au facteur de voilage

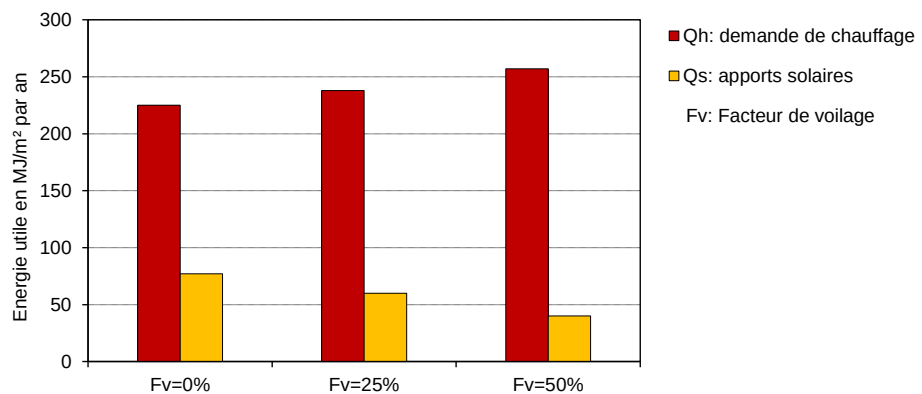
L'analyse des photos prises des loggias sud-ouest du bâtiment 40-42 sur deux journées de novembre 2013 avec un pas de temps horaire entre 8h et 17h montre que le facteur de voilage moyen de la paroi extérieure des balcons vitrés (composés de 448 modules de fenêtres coulissantes) varie entre 12% et 32% selon les colonnes A à E, avec une moyenne située à 25% (cf. Figure 4.47, graphique de gauche). Le graphique de droite montre que son évolution durant ces deux journées varie peu.

Figure 4.47. Graphique de gauche : Facteur de voilage moyen par colonne des loggias sud-ouest du bâtiment 40-42 observé dans des conditions réelles d'utilisation sur deux journées de novembre 2013. Droite : Evolution moyenne du facteur de voilage entre 8h et 17h (pas de temps horaire).



La Figure 4.48 ci-dessous montre l'effet du facteur de voilage sur les gains solaires Q_s intervenant dans le bilan thermique et sur la demande de chauffage Q_h du bâtiment rénové 40-42. Les résultats présentés ici sont issus de simulations en utilisant les hypothèses suivantes : météo normalisée 2'659 DJ_{12/18}, température intérieure de 23°C, taux de renouvellement d'air de 0.32 m³/m²/h.

Figure 4.48. Effet du facteur de voilage sur les gains solaires et la demande de chauffage (résultats générés à partir de simulations Enercad)



On remarque que par rapport à une paroi extérieure non voilée, un facteur de voilage de 25% ($F_v=25\%$) réduit les apports solaires Q_s de 22% et induit une augmentation de la demande de chauffage Q_h de 6% ; alors qu'un taux de voilage de 50% augmente Q_h de 14% (avec une baisse de Q_s de 48%). On note que seul le facteur de voilage de la paroi extérieure est considéré ici tandis qu'en réalité la paroi intérieure des loggias peut être aussi voilée.

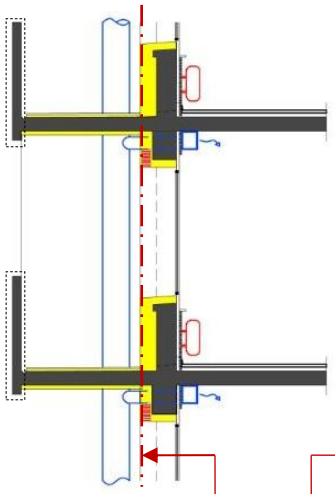
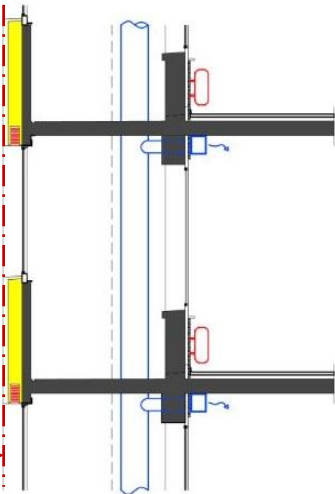
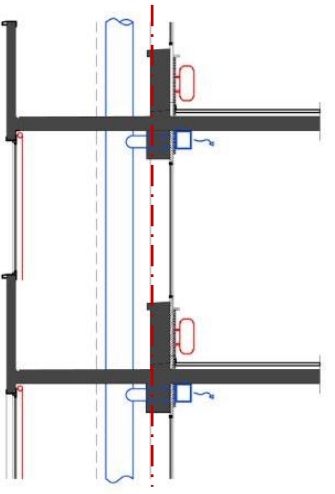
4.3.8.5 Remarques et satisfaction des usagers des loggias

Une année après l'achèvement des travaux de rénovation, les occupants ont soulevé à la suite de discussions spontanées des points positifs et d'autres à améliorer sur leur satisfaction vis-à-vis des balcons vitrés. Ces points sont présentés en Annexe A20.

4.3.8.6 Pertinence de la solution choisie (loggia froide)

La performance de l'enveloppe thermique du bâtiment 40-42 a été analysée au point 4.3.7. Il en ressort que sa performance dépend en grande partie de celle des loggias froides étant donné qu'elles représentent 85% des façades et environ 75% de l'enveloppe thermique contre extérieur du bâtiment rénové. Dans cette partie, nous discutons la pertinence des loggias froides comme une solution d'efficacité énergétique en hiver. Pour cela, deux variantes possibles à la solution technique choisie sont proposées dans le Tableau 4.17 ci-dessous et sont discutées ensuite compte tenu de leurs avantages et de leurs inconvénients.

Tableau 4.17. Variantes possibles à la solution technique choisie

	Variante 1 Isolation par l'extérieur	Variante 2 Loggia chaude	Solution technique choisie Loggia froide
Coupe schématique			
Description	- Isolation par l'extérieur des parois opaques des façades du bâtiment et remplacement du vitrage simple par du vitrage performant. - Traitement des ponts thermiques. - Protection solaire : par exemple stores droits à lamelles guidées par des rails verticaux posés dans la nouvelle peau ou stores à rouleaux extérieurs.	- Paroi extérieure : isolation par l'extérieur des garde-corps et ajout de vitrages en verre double. - Paroi intérieure : conservation des fenêtres et portes-fenêtres en verre simple. - Protection solaire : par exemple stores droits à lamelles guidées par des rails verticaux posés dans la nouvelle peau.	- Paroi extérieure : ajout de fenêtres coulissantes en verre simple. - Paroi intérieure : pose de double vitrage sur cadres existants. - Protection solaire intérieure en toile.

Les variantes proposées sont les suivantes :

- Variante 1 : Isolation par l'extérieur ;
- Variante 2 : Fermeture des balcons avec création de loggia chaude au lieu de loggia froide.

a) Avantages et inconvénients de l'isolation par l'extérieur (variante 1)

L'isolation par l'extérieur est en général la solution à privilégier d'un point de vue énergétique pour améliorer l'enveloppe thermique d'un bâtiment. Elle assure d'une part une haute performance, si elle est bien conçue et correctement mise en œuvre, indépendamment du comportement des occupants et permet d'autre part d'éviter les ponts thermiques linéaires, source de déperdition de chaleur. C'est cette solution qui a été adoptée pour la toiture, les parois extérieures du rez-de-chaussée et le mur pignon, mais non pas pour les façades principales. Ainsi, la question se pose de savoir s'il est pertinent d'isoler par l'extérieur les murs des façades sud-ouest et nord-est du bâtiment 40-42 ?

En dehors du fait que l'isolation par l'extérieur restreint la surface du balcon, l'inconvénient de cette solution réside dans le fait que l'isolation est interrompue à chaque niveau par les balcons qui se développent sur l'ensemble des deux façades sud-ouest et nord-est. La présence de ponts thermiques dégrade la performance de l'enveloppe et peut générer un risque de condensation en face intérieure. Il existe en principe deux mesures pour y remédier :

- soit scier les balcons existants et ajouter de nouveaux balcons désolidarisés des façades existantes pour éviter les ponts thermiques. Compte tenu de la typologie particulière de ce bâtiment (8 étages et 16 balcons qui longent les façades principales), cette solution est d'un point de vue technique difficilement réalisable et économiquement non viable.
- soit allonger les ponts thermiques, en isolant les faces supérieures et inférieures des dalles de balcons. Cependant, cette opération n'évite pas les pertes thermiques à travers la dalle, mais permet de diminuer leurs effets néfastes en augmentant la température superficielle intérieure. Une des solutions, qui permet d'éviter ces pertes, consiste à placer un « emballage » isolant sur l'ensemble du balcon. Dans les deux cas, la mise en œuvre est difficile.

Ainsi, l'isolation par l'extérieur est techniquement envisageable à condition de traiter les ponts thermiques linéaires, mais sa mise en œuvre est assez complexe. L'avantage de cette solution est qu'elle contribue directement à la réduction des pertes énergétiques, indépendamment du comportement de l'occupant. Cependant, elle est moins pertinente sur une façade présentant de grandes surfaces vitrées, comme c'est le cas pour les façades sud-ouest et nord-est du bâtiment 40-42 qui nécessitent de porter une attention particulière à tant de points (comme les encadrements des fenêtres, des portes-fenêtres, etc.).

b) Loggia froide ou loggia chaude ?

La différence entre la variante 2 (loggia chaude) et la solution choisie (loggia froide) réside principalement dans la position de l'enveloppe thermique, selon que celle-ci se trouve au niveau de la paroi intérieure (loggia/appartement) ou extérieure (loggia/extérieur). Cette limite est indiquée par le trait pointillé sur les coupes schématiques du Tableau 4.17 précédent.

Cela signifie que dans une loggia chaude, à l'opposé d'une loggia froide, les doubles vitrages se situent entre les balcons vitrés et l'extérieur, tandis que les portes-fenêtres intérieures sont en verre simple (situation avant rénovation). Dans ce cas, l'enveloppe

thermique s'arrête à la surface qui présente le plus petit coefficient de déperdition thermique (selon SIA 416/1/2.2.1.3) et donc englobe les loggias chaudes. De ce fait, la surface de référence énergétique du bâtiment sera plus importante, entraînant pour une même consommation, une diminution de l'indice de dépense de chaleur du bâtiment. A noter que les aspects juridiques, fiscaux et économiques découlant d'une telle augmentation de la SRE n'ont pas été étudiés ici.

En termes de confort, le niveau de température dans une loggia froide est moins élevé que dans une loggia chaude et présente d'importantes fluctuations qui ne permettent pas une occupation en hiver de l'espace de vie supplémentaire offert à l'occupant. Dans les deux cas, les portes-fenêtres intérieures et les fenêtres extérieures des loggias doivent être fermées pendant la période hivernale.

Sur le plan énergétique, le Tableau 4.18 donne les performances thermiques des loggias fermées froide et chaude, ainsi que de leurs parois respectives intérieures et extérieures.

Tableau 4.18. Performances thermiques des loggias chaude et froide

	Loggia chaude	Loggia froide	Situations équivalentes
Loggia fermée			
Résistance	1.26 m ² K/W	0.79 m ² K/W	(Situation 1)
Valeur U	0.79 W/m ² K	1.26 W/m ² K	
Paroi intérieure			
Résistance	0.28 m ² K/W	0.55 m ² K/W	(Situation 2)
Valeur U	3.57 W/m ² K	1.81 W/m ² K	
Paroi extérieure			
Résistance	0.98 m ² K/W	0.24 m ² K/W	(Situation 3)
Valeur U	1.02 W/m ² K	4.21 W/m ² K	

Pour la loggia chaude, nous avons considéré les hypothèses suivantes :

- pose de 10 cm d'isolation périphérique avec une conductivité thermique de 0.04 W/mK sur l'ensemble des garde-corps ;
- fermeture des balcons par du double vitrage de même performance que celui utilisé pour les loggias froides ($U_{\text{vitrage}} = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$) ;
- pas de changements concernant la paroi intérieure des loggias : mur non isolé et vitrage simple (état avant rénovation).

On remarque tout d'abord que la résistance thermique d'une loggia chaude fermée est plus élevée que celle d'une loggia froide fermée ($R_{\text{loggia chaude}} = 1.26 \text{ m}^2\text{K/W} > R_{\text{loggia froide}} = 0.79 \text{ m}^2\text{K/W}$), donc plus performante. Il apparaît néanmoins, sur la base des constatations faites et des mesures effectuées dans les balcons vitrés, que plusieurs locataires considèrent les loggias comme des espaces chauffés en hiver.

Ainsi, **l'ouverture des portes-fenêtres intérieures (situation 3) a pour conséquence de diminuer la résistance thermique de la loggia froide d'un facteur 3.3** (de 0.79 à 0.24 m²K/W), **tandis que son influence est moins importante sur la performance de la loggia chaude** (diminution de la résistance thermique de 1.26 à 0.98 m²K/W, soit d'un facteur 1.3).

De ce fait, la loggia chaude serait une solution globalement plus satisfaisante que la loggia froide. Cependant, son coût est relativement élevé comparé à celui de la solution retenue,

mais sa réalisation est moins compliquée que la variante 1. On note également que le Programme Bâtiments⁴¹ ne subventionne pas les éléments de construction utilisés pour la fermeture des balcons, même si les valeurs U minimales prescrites sont respectées.

c) Synthèse

Chacune de ces solutions présentent des avantages et des inconvénients que ce soit du point de vue énergétique, économique ou de mise en œuvre. S'il fallait à l'heure actuelle choisir parmi ces variantes, on placerait en premier la loggia chaude moins sensible au comportement des occupants, ensuite l'isolation périphérique des murs (mise en œuvre difficile) et la loggia froide peu recommandable pour ce bâtiment locatif. La performance des loggias froides aurait peut-être été meilleure si les occupants étaient des propriétaires ou membres d'une coopérative.

En tout cas, cette solution n'est plus reproductible aujourd'hui, après le renforcement de la réglementation thermique en 2009, car elle ne permet pas d'atteindre les exigences de la nouvelle norme SIA 380/1:2009. Des solutions plus innovantes pour l'amélioration thermique de l'enveloppe des bâtiments existants sont à développer, comme par exemple le recours à la préfabrication et l'utilisation de nouveaux matériaux isolants.

On peut aussi se demander s'il est pertinent de choisir une seule solution pour les deux façades du bâtiment, dont l'une est orientée sud-ouest bénéficiant d'un apport d'énergie solaire passive et l'autre nord-est avec peu d'apports solaires et une mauvaise gestion constatée du côté des chambres. Enfin, quelle que soit la solution technique retenue (ou les solutions), il faut prévoir pour la période estivale une protection solaire adaptée et plus efficace que celle choisie pour cette rénovation.

⁴¹ Lien vers le site du Programme Bâtiments : <http://www.dasgebaeudeprogramm.ch>

4.3.8.7 Conclusions

En conclusion, le comportement de l'occupant a un impact significatif sur la performance thermique des balcons vitrés et par conséquent sur les besoins de chauffage du bâtiment rénové. D'après nos observations sur place, les mesures effectuées dans les loggias et les photos prises en infrarouge, on constate malheureusement que les loggias ne sont pas toujours utilisées de manières attendues (ouverture de l'une voire des deux parois durant l'hiver).

Dans la pratique, l'ouverture des portes fenêtres intérieures des loggias (situation 3 la plus observée) a pour effet de diminuer la résistance thermique de la loggia d'un facteur 3.3. La gestion réelle des loggias et son effet sur la consommation effective du bâtiment est cependant difficile à chiffrer avec précision. La communication est de ce fait très importante afin de rendre ces comportements compatibles avec la technique mise en place et vice-versa.

Une utilisation correcte des loggias par les usagers (situation 1) devrait réduire les pertes thermiques à travers les balcons vitrés, diminuer la demande énergétique du bâtiment rénové et entraîner une baisse des charges énergétiques pour les locataires.

Parmi les variantes analysées, la loggia chaude serait une solution globalement plus satisfaisante que la loggia froide qui a l'inconvénient de présenter des performances très dépendantes du comportement des occupants. Même si cette solution a l'inconvénient d'augmenter la surface énergétique du bâtiment, elle a l'avantage d'être moins dépendante du comportement des occupants (diminution de la résistance thermique de la loggia chaude d'un facteur 1.3 contre 3.3 pour une loggia froide, lorsque les portes-fenêtres intérieures sont ouvertes). Cette solution est par contre plus onéreuse à mettre en œuvre que les loggias froides.

4.3.9 Conclusions de l'analyse énergétique

Le retour d'expérience, effectué sur deux années complètes du 1er octobre 2008 au 30 septembre 2010, a porté sur le bâtiment 40-42 rénové Minergie et sur le bâtiment 36-38 (jumeau du 40-42) non rénové.

La demande nette de chaleur (chauffage et ECS) de ces bâtiments, mesurée lors du suivi énergétique, est respectivement de 372 et 520 MJ/m²a (valeurs normalisées à 2'507 DJ_{12/18}/an, moyenne à Genève depuis 1992). La valeur de 520 se recoupe avec les données tirées des consommations de mazout du bâtiment avant rénovation, ce qui signifie que le bâtiment 36-38 actuel est représentatif du bâtiment 40-42 avant rénovation.

La rénovation du bâtiment 40-42 a porté d'une part sur l'enveloppe (fermeture des balcons en loggias sur les deux façades, remplacement du simple vitrage par du double, isolation périphérique de la toiture, du plancher et des murs du rez-de-chaussée), d'autre part sur les installations techniques (passage du mazout au chauffage à distance CADIOM, installation solaire pour la production de l'ECS, mise en place d'une ventilation double-flux avec pompe à chaleur intégrée et assainissement de l'éclairage des zones communes).

Performance globale de la rénovation

En comparant la période (2003-2007) avant travaux à la période (2008-2010) après travaux, il ressort de l'analyse énergétique que la rénovation du bâtiment 40-42 a fait baisser :

- son indice de dépense de chaleur (IDC) de près de 300 MJ/m²a à 392 MJ/m²a, (diminution de 41%, dont 11% suite au seul passage à CADIOM) ;
- sa demande nette de chaleur pour le chauffage et l'ECS de l'ordre de 150 MJ/m²a pour atteindre 372 MJ/m²a (diminution d'environ 30%), dont environ 100 MJ/m²a sont consacrés à la production de l'ECS ;
- sa demande nette de chauffage de 35% à 270 MJ/m²a.

On observe aussi qu'à une température extérieure de 0°C, le bâtiment rénové 40-42 consomme pour le chauffage 8 W/m² de moins que le bâtiment 36-38 non rénové. La demande de chauffage du bâtiment non rénové est de 36 W/m², tandis que celle du bâtiment rénové est de 28 W/m² (78% apportés par les radiateurs, le reste par l'air pulsé).

Cette opération a également entraîné une baisse de 25% de la puissance maximale appelée, libérant ainsi de la puissance installée pour la connexion de nouveaux bâtiments sur le réseau CADIOM. La puissance maximale appelée par le bâtiment rénové s'élève à 45 W/m², tandis qu'elle est de l'ordre 60 W/m² pour le bâtiment non rénové.

Si l'on compare les besoins de chaleur (chauffage et ECS) du bâtiment analysé 40-42 avec les besoins thermiques classés en 2010 des bâtiments résidentiels collectifs construits durant la période 1946-1980 à Genève, on remarque que cette opération a permis de faire passer le bâtiment des 11% les moins performants au 25% les plus performants.

La rénovation a par contre induit une consommation supplémentaire d'électricité de 8.5 MJ/m²a imputée à la ventilation double-flux, à la PAC intégrée et au circulateur solaire. Cette augmentation a été compensée par les économies engendrées par l'assainissement de

l'éclairage des parties communes qui ont été estimées à 12 MJ/m²a (diminution d'environ 80% de la consommation de ce poste).

L'indice de consommation électrique globale du bâtiment 40-42 est passé de 121 MJ/m²a (avant travaux) à 126 MJ/m²a (après travaux), soit une augmentation de +5 MJ/m²a (+4%). La consommation d'électricité des logements a augmenté en moyenne de 10 MJ/m²a (+11%) probablement à cause de la fermeture des balcons en loggias, alors que celle des parties communes et des services généraux ont baissé de 5 MJ/m²a (-17%) suite à l'assainissement de l'éclairage des communs d'immeubles.

Performance réelle versus prévue

L'analyse des écarts entre la performance prévue et réelle a montré que :

- La demande de chauffage mesurée du bâtiment rénové 40-42 est 2.3 fois plus élevée que la valeur prévue en conditions normées d'utilisation (dépassement de 135%). Les principaux facteurs à l'origine de cet écart sont: l'influence de l'opérateur dans la simulation et les effets liés aux conditions différentes d'utilisation.
- Si on compare la baisse prévue de chauffage du bâtiment 40-42 d'après le justificatif thermique avec la baisse mesurée lors du suivi énergétique, on se rend compte qu'en visant une réduction d'environ deux-tiers (-69%) en conditions normées d'utilisation, on n'en réalise effectivement que la moitié (baisse réelle de 35%).
- Pourtant, le bâtiment 40-42 respecte les exigences du label Minergie en rénovation, malgré le fait que l'indice réel est presque deux fois plus élevé que l'indice prévu. Ceci est principalement attribuable aux facteurs de pondération adoptés dans le calcul Minergie (dans ce cas, facteur de 0.6 pour CADIOM et de 0 pour le solaire).

Performance des sous-systèmes

Au niveau des sous-systèmes, la ventilation double-flux avec PAC intégrée a permis de récupérer environ 80 MJ/m²a. L'installation solaire thermique produit 45 MJ/m²a. L'assainissement thermique de l'enveloppe a permis d'économiser 80 MJ/m²a.

Globalement, *les systèmes techniques* sont bien dimensionnés et présentent de bonnes performances énergétiques. Il convient de signaler que ces installations ont bénéficié d'un suivi régulier par des professionnels qualifiés qui ont permis d'assurer le bon fonctionnement des installations et de prévenir d'éventuels dysfonctionnements.

L'installation solaire possède la meilleure performance avec un COP annuel de 75. Le système de ventilation à double-flux présente un coefficient de performance intéressant de 19, calculé sur la base de la consommation du ventilateur de pulsion uniquement. Enfin, le COP de la pompe à chaleur intégrée varie entre 3 et 8 avec une moyenne située à 5.5. La performance annuelle globale de la ventilation contrôlée (VDF + PAC) atteint 11.

La performance de *l'enveloppe* est très modeste et dépend en grande partie de celle des loggias froides, qui constituent environ 75% de l'enveloppe thermique contre extérieur du bâtiment rénové. D'après les mesures effectuées dans les loggias et les photos prises en infrarouge, on constate malheureusement que les loggias ne sont pas toujours utilisées de manières attendues (ouverture de l'une voire des deux parois durant l'hiver).

L'ouverture des portes fenêtres intérieures des loggias (situation assez fréquente, cas de loggia chauffée) a pour effet de diminuer la résistance thermique de la loggia d'un facteur 3.3 pour atteindre $0.24 \text{ m}^2\text{K/W}$ (performance de la paroi extérieure seule). La performance réelle des loggias et son effet sur la consommation effective du bâtiment est cependant difficile à chiffrer avec précision. La communication est de ce fait très importante afin de rendre ces comportements compatibles avec la technique mise en place et vice-versa.

Parmi les variantes analysées, la loggia chaude serait une solution globalement plus satisfaisante que la loggia froide qui a l'inconvénient de présenter des performances très dépendantes du comportement des occupants. Même si cette solution est plus onéreuse à mettre en œuvre que la loggia froide et a l'inconvénient d'augmenter la surface énergétique du bâtiment, elle a l'avantage d'être moins dépendante du comportement des occupants (diminution de la résistance thermique de la loggia chaude d'un facteur 1.3 contre 3.3 pour une loggia froide, lorsque les portes-fenêtres intérieures sont ouvertes).

4.4 Analyse technico-économique et aspects financiers

Dans toute rénovation énergétique, l'analyse économique représente un complément indispensable à l'évaluation technique du projet.

Cette partie présente d'abord une récapitulation des coûts des travaux de rénovation réalisés, ensuite une évaluation économique des solutions d'efficacité énergétique intégrées au bâtiment. Enfin, la répercussion du coût des travaux sur les loyers fondée sur l'ancienne LDTR⁴² (avant le 5 août 2010) et la nouvelle LDTR (après le 5.8.2010) est discutée au dernier point.

4.4.1 Introduction

L'évaluation économique dépend en grande partie de la manière dont on définit le périmètre des travaux énergétiques pris en compte dans le calcul. Dans la littérature, on distingue deux approches radicalement différentes : celle du *coût global* et celle du *coût marginal*.

Le *coût global* des travaux énergétiques englobe la totalité du coût des travaux, y compris la mise en œuvre et les honoraires des mandataires. Cette approche est adoptée dans de nombreuses études menées en France, comme celles publiées par l'ADEME [78] et par le service interministériel français PUCA [79], et dans les retours d'expériences effectués par le groupe Energie de l'Université de Genève sur des bâtiments à basse consommation d'énergie [46, 65].

Le *coût marginal* représente uniquement le coût additionnel des travaux d'amélioration énergétique par rapport à une situation de référence (par exemple, les travaux nécessaires pour respecter la réglementation thermique). Les hypothèses retenues pour le scénario de référence peuvent influencer considérablement les résultats. Cette approche a été utilisée dans des études publiées en Allemagne et à l'Ecole polytechnique de Zurich [63, 80].

En cas de remplacement des vitrages simples par des vitrages plus isolants, la première approche considère le coût global de l'opération, alors que la seconde ne considère que le surcoût entre le vitrage isolant et un vitrage conforme par exemple à la norme SIA 380/1 en vigueur. Cette dernière estime que des interventions sur les éléments de l'enveloppe sont de toute manière inévitables, soit à la fin de leur cycle de vie, soit avant la fin des délais fixés par les obligations légales telles que l'article 56 RALCI (obligation de remplacer les vitrages simples) et l'article 15-17 OPB (isolation acoustique des bâtiments existants).

L'utilisation de ces deux approches pour le calcul de la rentabilité d'une opération donne des résultats très différents. En ne considérant que le coût marginal, la deuxième approche conduit à diminuer le temps de retour sur investissement des travaux et à augmenter leur rentabilité économique. Néanmoins, les résultats obtenus ne reflètent pas la réalité (coûts fixes non considérés) et sont difficilement comparables avec d'autres rénovations.

Nous avons donc choisi d'effectuer cette analyse économique sur la base du coût global des travaux.

⁴² LDTR : Loi sur les démolitions, transformations et rénovations de maisons d'habitation

4.4.2 Coût de la rénovation

4.4.2.1 Coût des travaux (entretien et amélioration énergétique)

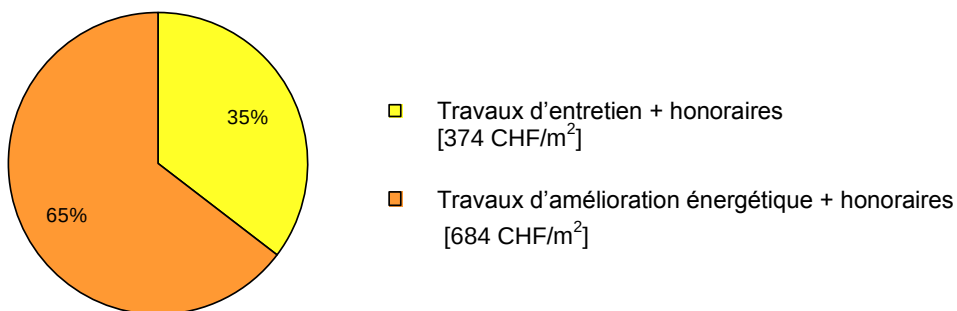
Hors subventions, l'investissement nécessaire pour rénover le bâtiment 40-42 de l'avenue du Gros-Chêne conformément au standard Minergie s'est élevé à 5'670'000 CHF HT ou 1'058 CHF HT/m²_{SRE}.

Ce montant constitue environ la moitié de l'investissement par mètre carré nécessaire à la construction d'un bâtiment neuf de même typologie, réalisé selon les normes SIA 2001-2007, selon les données obtenues par Zraggen [46] sur le coût moyen de construction de 8 bâtiments résidentiels locatifs édifiés entre 1997 et 2005 à Genève, et estimé à 2'250 CHF/m²_{SRE}.

La Figure 4.49 montre la répartition du coût d'investissement entre les travaux d'entretien et les travaux d'amélioration énergétique. Le coût des travaux énergétiques s'est élevé à 684 CHF/m² et représente 65% de l'investissement total. Le reste (35%; 374 CHF/m²) est consacré aux travaux d'entretien.

Figure 4.49. Coût des travaux de rénovation du bâtiment 40-42 exprimé en CHF hors taxes par mètre carré de surface énergétique

Désignation	Investissement	%/total
Total HT (hors subventions)	1'058 CHF/m²	100%
Travaux d'entretien	374 CHF/m ²	35%
Travaux d'amélioration énergétique	684 CHF/m ²	65%
(dont subventions 110 CHF/m ²)		
Total HT (subventions déduites)	948 CHF/m²	



Remarque : Tous les coûts annoncés sont hors taxes (HT) et sont exprimés en CHF/m²_{SRE}. Les honoraires des intervenants ont été répartis proportionnellement aux coûts des travaux.

Par travaux d'entretien, on entend les travaux de remise en état de l'enveloppe et des espaces communs, ainsi que les travaux de gros œuvre. Les travaux d'amélioration énergétique concernent les travaux d'assainissement des installations techniques et de l'enveloppe conformément à l'article 14, alinéas 2 et 3, OBLF (Ordonnance sur le bail à loyer et le bail à ferme d'habitations et de locaux commerciaux).

Il est également nécessaire de préciser que les coûts annoncés incluent les honoraires des architectes et des ingénieurs, ainsi que les prestations de l'entreprise générale qui a dirigé les travaux de rénovation. Le montant des honoraires (260 CHF/m²) a été réparti proportionnellement aux coûts des travaux d'entretien et d'amélioration énergétique. Enfin, cette rénovation a bénéficié d'environ 600'000 CHF de subventions (110 CHF/m²) qui ont permis de réduire le coût d'investissement de 10% à 948 CHF/m².

4.4.2.2 Structure du coût d'investissement par groupes et sous-groupes

La Figure 4.50, à la page suivante, présente la structure du coût des travaux de rénovation par groupes principaux et par sous-groupes en CHF/m²_{SRE}. Une récapitulation des coûts est présentée à l'Annexe A21. On peut distinguer trois grands groupes de travaux :

- les travaux d'entretien
- les travaux d'assainissement des installations techniques
- les travaux d'assainissement de l'enveloppe du bâtiment

Tous les coûts sont hors taxes (HT) et les valeurs en caractères gras représentent les coûts avec les honoraires des intervenants.

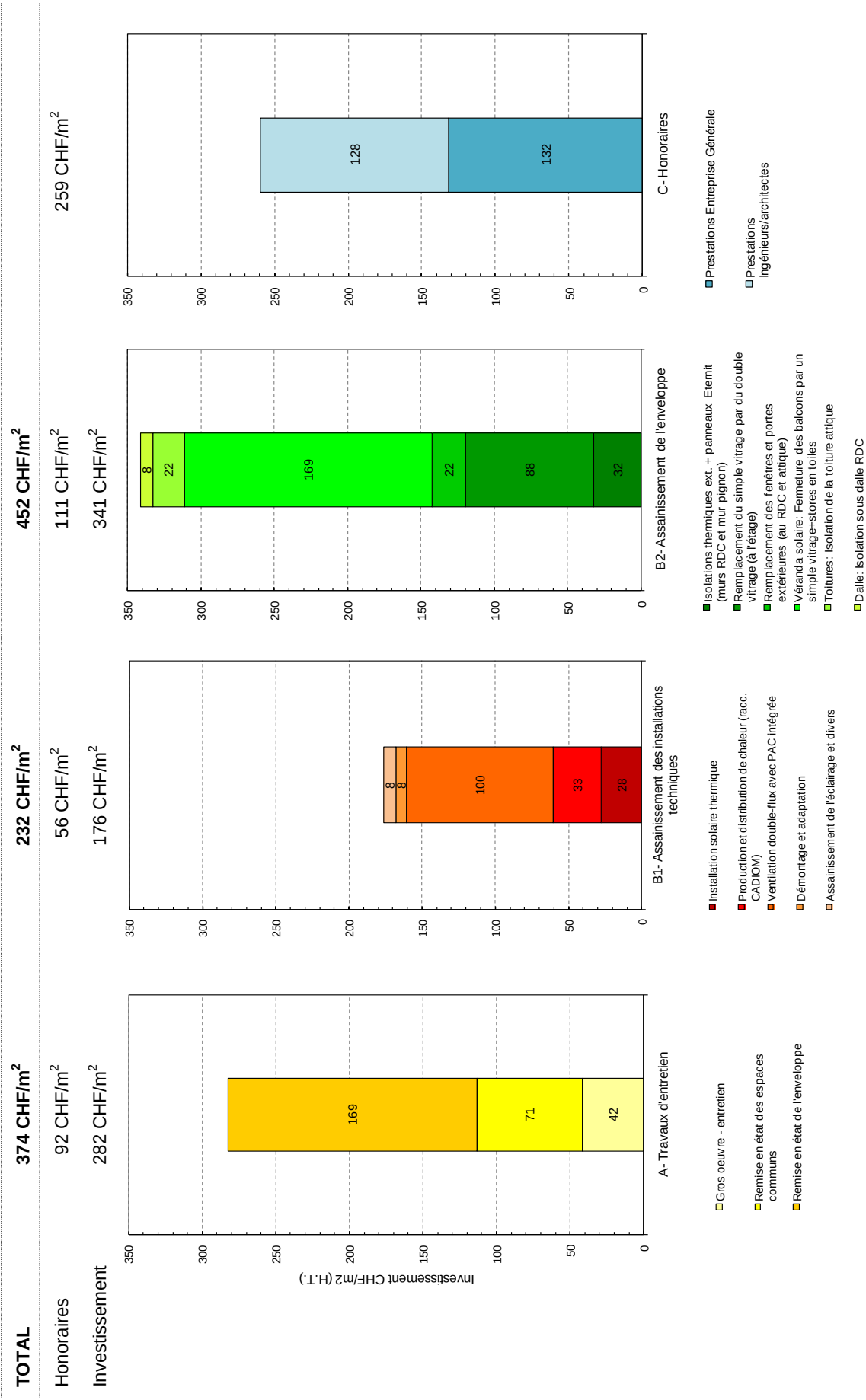
L'indicateur choisi (CHF/m²_{SRE}) permet la ventilation du coût des travaux par intervention, mais sa comparaison avec des indicateurs d'une autre rénovation ne peut être faite qu'avec précaution, surtout lorsque l'intervention est partielle. Ainsi, l'investissement dans l'isolation périphérique des murs du bâtiment 40-42 rapporté au mètre carré chauffé n'est pas représentatif pour un autre immeuble locatif de même typologie complètement isolé, car l'isolation du bâtiment concerné s'est limitée au rez-de-chaussée et au mur pignon, tandis que la comparaison peut être valable pour les installations techniques et les interventions globales sur l'enveloppe.

En ce qui concerne les travaux d'entretien (282 CHF/m²_{SRE}), plus de la moitié de l'investissement (169 CHF/m²_{SRE}) est consacrée à la remise en état de l'enveloppe (traitement de la carbonatation, étanchéité de la toiture et réfection de la peinture extérieure des façades). La prise en compte des honoraires des intervenants (répartis proportionnellement au coût de la rénovation) élève le coût total des travaux d'entretien à 374 CHF/m²_{SRE}.

Il importe aussi de noter que les travaux d'entretien réalisés peuvent être qualifiés de simples puisqu'elles ne comprennent ni des travaux de mise aux normes et de réaménagement des espaces intérieurs, ni des travaux d'assainissement de matériel amianté. La présence d'amiante, qu'on découvre lors de la rénovation des bâtiments édifiés durant les années soixante, pourrait engendrer des coûts plus importants.

Concernant les travaux d'assainissement des installations techniques, l'investissement total (176 CHF/m²_{SRE}) comprend l'installation solaire thermique, le raccordement au réseau CADIOM, le démontage et l'adaptation des installations, la distribution de chaleur et l'installation d'une ventilation contrôlée composée d'un système double-flux et d'une pompe à chaleur sur l'air vicié. La prise en compte des honoraires des intervenants élève le coût total des travaux à 232 CHF/m²_{SRE}. L'évaluation économique de ces solutions d'efficacité énergétique est présentée au point suivant 4.4.3.

Figure 4.50. Récapitulation du coût des travaux de rénovation par groupes et sous-groupes



N.B. Tous les coûts sont hors taxes (HT) et sont exprimés en CHF/m² sFE.

Quant aux travaux d'amélioration énergétique de l'enveloppe, ils ont coûté 341 CHF/m²_{SRE}. Les travaux ont porté sur l'isolation extérieure des murs du rez-de-chaussée et du mur pignon (32 CHF/m²_{SRE}), et sur l'isolation de la toiture (22 CHF/m²_{SRE}) et de la dalle du rez-de-chaussée (8 CHF/m²_{SRE}). Le montant englobe aussi le remplacement des fenêtres au rez-de-chaussée, le remplacement des vitres existantes par du double vitrage aux étages et la fermeture des balcons par un vitrage simple pour créer la véranda solaire. La prise en compte des honoraires des intervenants élève le coût total des travaux à 452 CHF/m²_{SRE}.

On remarque également que l'investissement dans la fermeture des balcons (paroi extérieure de la véranda solaire) représente presque la moitié du coût de l'assainissement de l'enveloppe, soit 169 CHF/m²_{SRE}. Ce montant élevé est dû principalement à la surface importante de vitrage posé. En raisonnant par mètre carré d'élément posé, l'investissement dans la fermeture des balcons serait de l'ordre de 100 CHF/m² de vitrage simple ajouté, l'investissement dans le remplacement complet des fenêtres du rez-de-chaussée de 800 CHF/m², contre 470 CHF/m² pour le remplacement des verres simples par des verres isolants aux étages. Ces coûts sont relativement proches des coûts moyens des éléments soutenus par le Programme Bâtiments de la Fondation Centime Climatique à fin 2010.

En conclusion, l'investissement nécessaire pour rénover un bâtiment dépend de la nature des travaux à réaliser. **Hors subventions, le coût total de la rénovation du bâtiment 40-42 (travaux d'entretien et d'amélioration énergétique) conformément au standard Minergie est de l'ordre de 1'000 CHF HT/m²_{SRE}. Le coût des travaux de rénovation énergétique s'est élevé à 684 CHF HT/m²_{SRE}. Les subventions accordées ont permis de réduire ce coût à 574 CHF HT/m²_{SRE}.**

4.4.3 Evaluation économique des solutions d'efficacité énergétique

L'analyse économique a porté sur les trois solutions d'efficacité énergétique suivantes : l'amélioration énergétique de l'enveloppe, l'installation solaire thermique et la ventilation contrôlée composée d'un système double-flux et d'une pompe à chaleur sur l'air vicié (cf. Figure 4.51).

Figure 4.51. Solutions d'efficacités énergétiques intégrées au bâtiment 40-42



Enveloppe assainie



Solaire thermique



Double flux+PAC

Les coûts du kWh économisé (négakWh) et de la tonne de CO₂ évitée ont été calculés pour chacune des solutions à partir des données économiques réelles et des performances techniques mesurées des sous-systèmes.

4.4.3.1 Hypothèses de calcul

Les différentes hypothèses retenues pour cette analyse sont exposées ci-dessous :

- L'investissement dans l'enveloppe représente la part du coût des travaux qui aboutissent à des améliorations énergétiques et qui excède le coût de rétablissement et de maintien de l'état initial.
- L'investissement dans l'installation solaire thermique comprend le coût des capteurs (environ 100 m² de capteurs solaires thermiques servant au préchauffage de l'eau chaude sanitaire), des ballons de stockage, des conduites, ainsi que du montage, du réglage et de la mise en service de l'installation.
- L'investissement dans l'installation de ventilation à double-flux avec pompe à chaleur intégrée représente le surcoût par rapport à une installation d'extraction simple, ainsi que le coût du montage, du réglage et de la mise en service de l'installation. Le coût englobe aussi la pose des caissons de diffusion dans les pièces et l'ajout d'un réseau de pulsion d'air en tôle galvanisée qui passe à travers les balcons vitrés.
- Tous les coûts annoncés dans cette analyse sont des coûts hors taxes (HT) basés sur le devis final fourni par le bureau d'architecte. Ces coûts incluent également les honoraires des ingénieurs, des architectes et de l'entreprise générale, qui ont planifié et supervisé les travaux.
- Pour le prix des énergies, nous avons considéré un prix du mazout de 9.5 ct/kWh (d'après factures 2007-2008), un prix de la chaleur CADIOM de 6.5 ct/kWh et un prix de l'électricité de 23 ct/kWh (tarif réel du bâtiment : profil simple SIG Vitale Bleu).
- Le taux d'intérêt utilisé pour le calcul est de 3.5%, renté à un taux de 0.5 point au-dessus de celui d'un prêt hypothécaire à taux variable de la période qui a précédé les travaux (janvier-mai 2007). Les coûts d'entretien sont déterminés sur la base des contrats d'entretien et de surveillance des installations. La durée d'amortissement est de 40 ans pour l'enveloppe et de 20 ans pour les systèmes techniques.
- Pour le calcul du coût de la tonne de CO₂ évitée suite à l'assainissement, le facteur de conversion retenu est de 265g CO₂/kWh mazout⁴³. Nous avons aussi considéré un rendement de 80% pour les chaudières existantes et une taxe de 36 CHF/tonne CO₂ émise (montant de la taxe carbone à partir du 1^{er} janvier 2010).

⁴³ OFEV, Contenu énergétique et facteurs d'émissions de CO₂ des agents fossiles, n° référence : G134-0310, disponible en ligne à l'adresse : <http://www.bafu.admin.ch/klima/09608/index.html?lang=fr>, consulté en septembre 2011.

4.4.3.2 Présentation des résultats

a) Evaluation du coût de l'énergie économisée ou substituée

Une évaluation du coût des kWh économisés par l'enveloppe assainie, par la ventilation double flux et par l'installation solaire thermique, avec et sans subventions, est présentée en détail dans les paragraphes suivants.

Ce coût représente la somme de l'amortissement, de l'achat de l'électricité de fonctionnement et des coûts de maintenance rapportée à l'énergie économisée ou récupérée. Il est ensuite comparé au prix de la chaleur CADIOM et au prix du mazout (rapporté à l'énergie utile en considérant un rendement de la chaudière de 80%) pour les années 2008 et 2010. Nous avons considéré un prix du mazout de 95 CHF par 100 litres pour l'année 2008 (tarif février 2008), soit un coût de l'énergie utile de 12 ct/kWh et un prix moyen pour l'année 2010 de 81.4 CHF par 100 litres⁴⁴, soit un coût de l'énergie utile de 10 ct/kWh. Les prix de la chaleur CADIOM retenus pour les années 2008 et 2010 s'élèvent respectivement à 5.7 et 6.5 ct/kWh.

La Figure 4.52, à la page suivante, donne le coût du kWh économisé par les différentes solutions retenues. Ces coûts (hors subventions) sont présentés à la Figure 4.53, avec et sans intérêts, en fonction de l'énergie économisée ou substituée par les solutions sur toute la durée d'amortissement. Les résultats sont explicités dans les parties 4.4.3.3 à 4.4.3.5.

b) Evaluation du coût du CO₂ évité

Le coût de la tonne de CO₂ évitée par les trois solutions d'efficacité énergétique a été également calculé. Ce coût dépend du coût total annuel (amortissement + exploitation), du prix de l'énergie fossile économisée, du prix de la taxe carbone et de la quantité annuelle de CO₂ évitée.

L'évaluation de ce coût dépend de plusieurs facteurs internes et externes :

- Les facteurs internes sont d'une part le coût total annuel des solutions d'efficacité énergétique intégrées au bâtiment et d'autre part la quantité annuelle de CO₂ évitée, qui dépend en grande partie de l'état de l'enveloppe et du système de chauffage avant l'assainissement.
- Les facteurs externes sont principalement les prix imprévisibles et volatiles des énergies fossiles et le prix de la taxe carbone, lorsqu'on amortit sur 20 ans les installations techniques et sur 40 ans l'assainissement de l'enveloppe.

La Figure 4.54 donne le coût de la tonne de CO₂ évitée par les différentes solutions retenues. Ces coûts (hors subventions) sont présentés à la Figure 4.55, avec et sans intérêts, en fonction des émissions évitées sur toute la durée de l'amortissement. Les résultats sont explicités dans les parties 4.4.3.3 à 4.4.3.5. A noter que les émissions liées à la consommation électrique de l'installation solaire et de la ventilation contrôlée (VDF+PAC) sont considérées négligeables et n'ont donc pas été prises en compte dans les calculs.

⁴⁴ OFS (Office fédéral de la statistique), Indice Suisse des prix à la consommation, disponible en ligne à l'adresse : <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/05/02/blank/key/durchschnittspreis.html>, consulté en septembre 2011.

Figure 4.52. Coût du kWh économisé ou substitué par les solutions d'efficacité énergétique

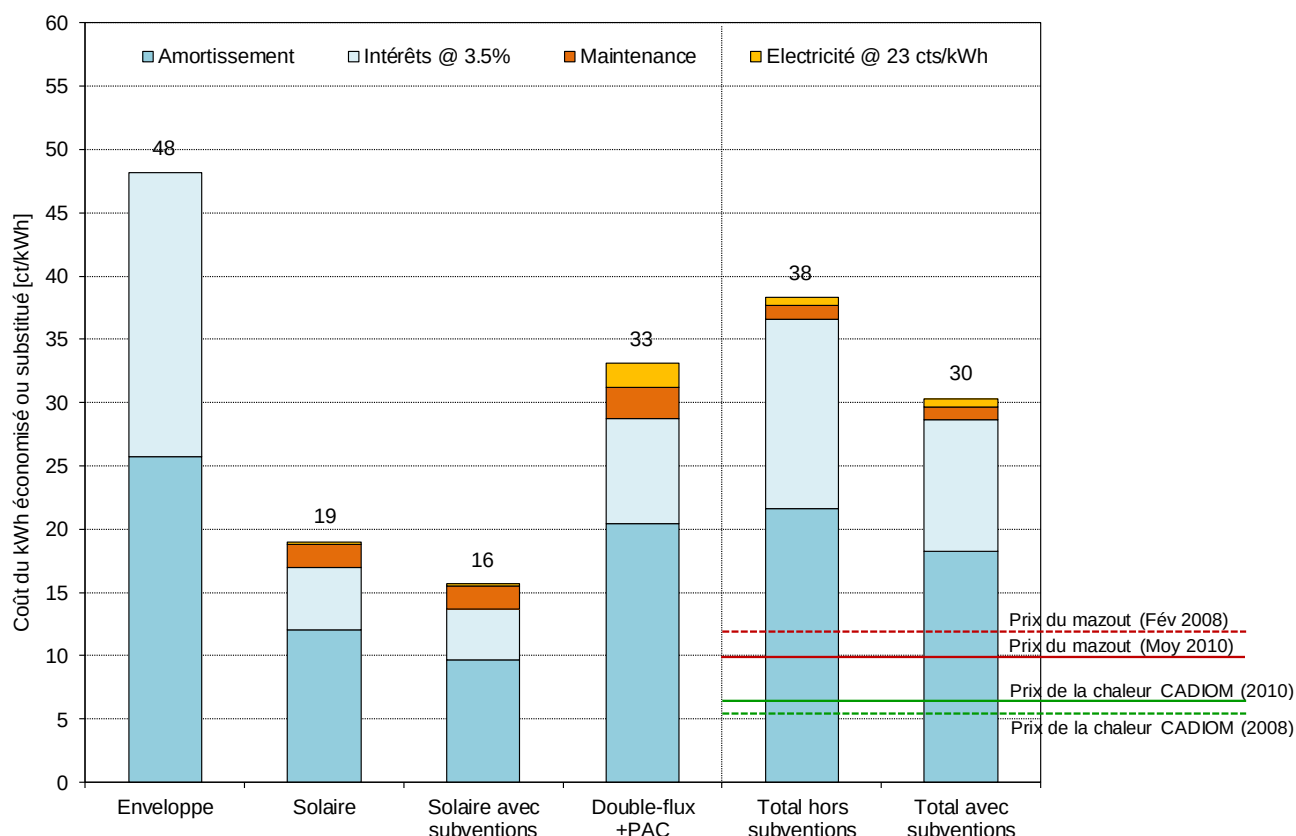
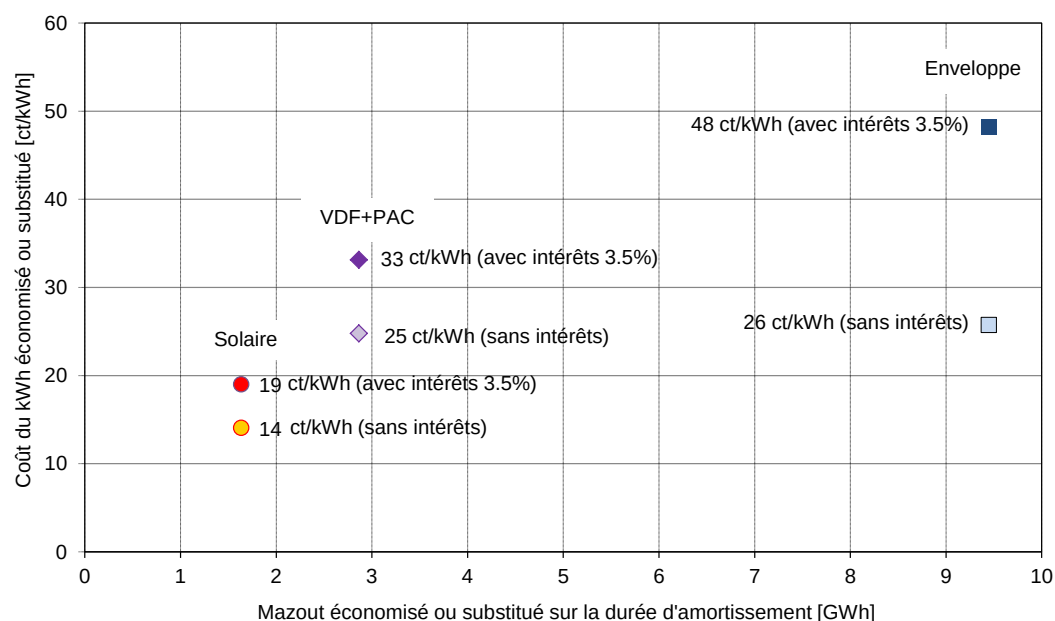


Figure 4.53. Coût du négakWh (hors subventions, avec et sans intérêts) en fonction de l'énergie économisée ou substituée sur toute la durée d'amortissement par l'enveloppe rénoverée, le solaire thermique et la ventilation contrôlée. La durée d'amortissement retenue est de 40 ans pour l'enveloppe et de 20 ans pour les systèmes techniques.



Remarque : Coût de l'énergie économisée par l'enveloppe (sans considérer les subventions et avec un intérêt de 3.5%): 48 ct/kWh (scénario moyen), 35 ct/kWh (scénario haut) et 76 ct/kWh (scénario bas), cf. 4.4.3.3.

Figure 4.54. Coût de la tonne de CO₂ évitée par les solutions d'efficacité énergétique

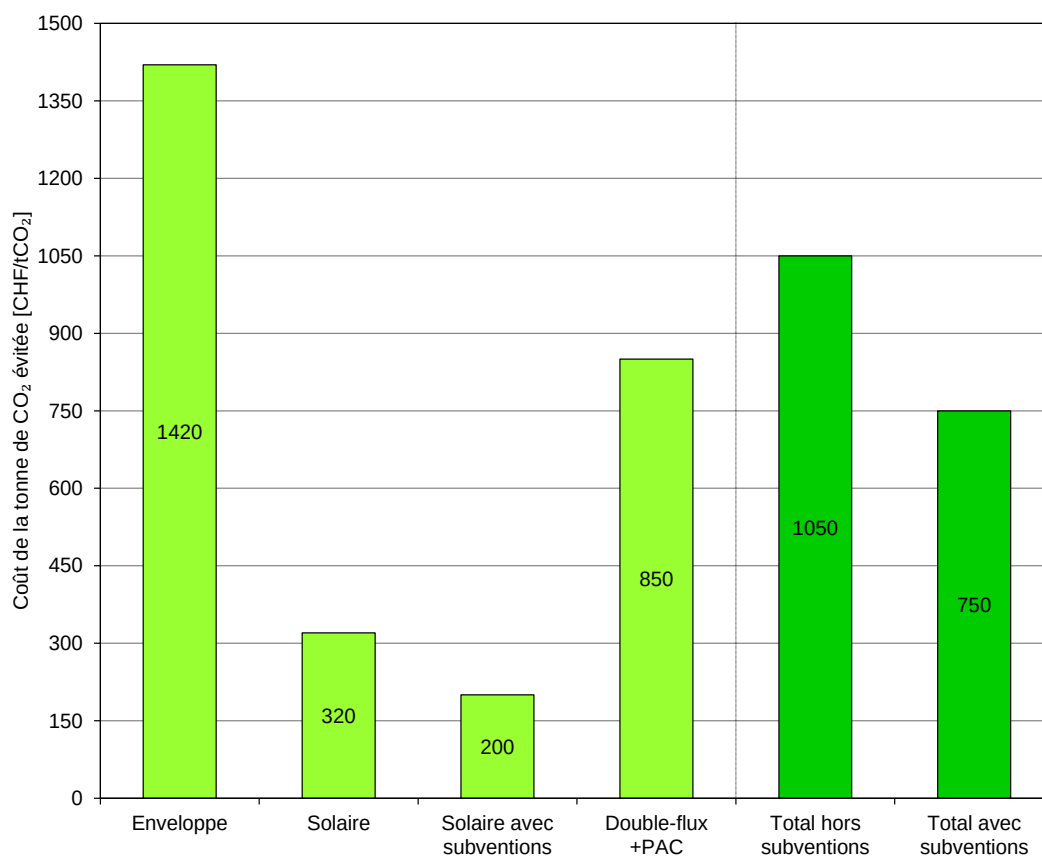
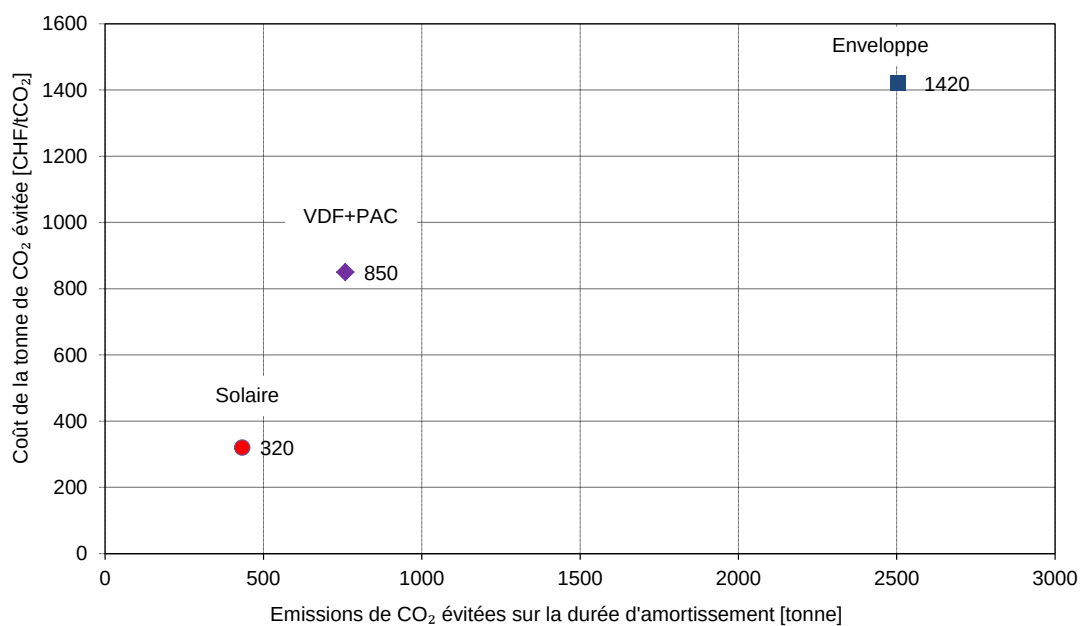


Figure 4.55. Coût de la tonne de CO₂ évitée (hors subventions) en fonction des émissions évitées sur toute la durée d'amortissement. La durée d'amortissement est de 40 ans pour l'enveloppe et de 20 ans pour les systèmes techniques.



Remarque : Coût de la tonne de CO₂ évitée par l'enveloppe assainie (sans considérer les subventions) : 1'420 CHF/tCO₂ (scénario moyen), 940 CHF/tCO₂ (scénario haut) et 2'490 CHF/tCO₂ (scénario bas), cf. 4.4.3.3.

Le Tableau 4.19 donne les résultats détaillés de l'analyse technico-économique des solutions retenues.

Tableau 4.19. Analyse technico-économique des solutions d'efficacité énergétique

	Unité	Enveloppe	Solaire	Solaire +subv.	Ventilation VDF+PAC	TOTAL	TOTAL +subv.
Investissement (surcoût)	CHF	2'430'000	197'000	158'500	585'000	3'212'000	2'622'200
Coût d'investissement	CHF	1'830'000	148'000	109'500	535'000	2'510'000	-
Honoraires répartis	CHF	600'000	49'000	49'000	175'000	824'000	-
Installation traditionnelle	CHF	-	-	-	125'000	-	-
Investissement / surcoût	%	76%	6.1%	-	18.2%	100%	-
Amortissement							
Durée d'amortissement	an	40	20	20	20	-	-
Annuité sur le surcoût (intérêt @ 3.5%)	CHF/an	113'800	13'900	11'200	41'160	168'860	131'910
Exploitation							
Maintenance	CHF/an	0	1'500	1'500	3'500	5'000	5'000
Electricité de fonctionnement	kWh/an	0	620	620	11'900	12'520	12'520
Achat électricité	CHF/an	0	140	140	2'740	2'880	2'880
Coût total annuel	CHF/an	113'800	15'540	12'840	47'400	176'740	139'790
	CHF/m ² _{SRE} /an	21	2.9	2.4	8.8	33.0	26.1

Energie finale substituée (08-10)		Enveloppe	Solaire	Solaire +subv.	Ventilation VDF+PAC	TOTAL	TOTAL +subv.
Energie économisée	kWh/an	236'200				236'200	236'200
Energie produite par le solaire thermique	kWh/an		81'800	81'800		81'800	81'800
Energie récupérée par Vdf+PAC	kWh/an				143'200	143'200	143'200
Coût du négakWh	ct/kWh	48	19	16	33	38	30

Subventions	Unité	Minergie	Solaire	Bonus LDTR	Centimes climatique	TOTAL
Montant des subventions	CHF	81'400	38'500	421'500	48'400	589'800
Durée d'amortissement	an	40	20	40	40	-
Annuité (int. @3.5%)	CHF/an	3'800	11'150	19'700	2'300	36'950

Bilan CO₂	Unité	Enveloppe	Solaire	Solaire +subv.	Ventilation VDF+PAC	TOTAL	TOTAL +subv.
Emissions de CO ₂ évitées (*)	tonnes/an	63	22	22	38	122	122
Taxe CO ₂ évitée	CHF/an	2'253	780	780	1'366	4'400	4'400
Economie réalisée sur l'achat du mazout	CHF/an	22'440	7'770	7'770	13'600	43'810	43'810
Coût de la tonne de CO ₂ évitée	CHF/tCO ₂	1'420	320	200	850	1'050	750

(*) sans la consommation électrique

4.4.3.3 Coût de l'énergie économisée par l'assainissement de l'enveloppe

i. Annuités

Pour calculer le coût de l'énergie économisée par l'assainissement de l'enveloppe, nous avons considéré le coût global des travaux qui aboutissent à des améliorations énergétiques et qui excèdent les coûts d'entretien (selon l'art.14 OBLF). On peut considérer ce raisonnement comme conservateur comparé à l'approche par coût marginal, puisque le coût du négakWh qui ressort de cette analyse est un coût maximal.

L'investissement dans la rénovation énergétique de l'enveloppe s'est élevé à 2'430'000 CHF (452 CHF/m²_{SRE}) et se répartit entre le coût d'assainissement des façades (412 CHF/m²_{SRE}) et celui de la toiture et du plancher (40 CHF/m²_{SRE}). Hors subventions, le coût total annuel est donc de 113'800 CHF, calculé sur 40 ans avec un taux d'intérêt de 3.5% par an.

ii. Energie économisée

Dans un bilan thermique global, les pertes de l'enveloppe par transmission et les pertes thermiques dues à la ventilation sont compensées par l'énergie de chauffage et par les apports gratuits. Afin de calculer les économies d'énergie engendrées par l'amélioration énergétique de l'enveloppe, nous avons utilisé deux méthodes qui ont abouti respectivement à deux scénarios « haut » et « bas » (pour plus de détails, se référer à l'Annexe A22).

- Méthode 1 (scénario haut) : par calcul thermique en utilisant le logiciel EnerCAD ;
- Méthode 2 (scénario bas) : par différence des flux mesurés entre les immeubles 36-38 (non rénové) et 40-42 (rénové).

Les résultats obtenus par les deux méthodes sont proposés dans le Tableau 4.20 et présentent une différence d'environ 100 MJ/m²a.

Tableau 4.20. Pertes d'énergie évitées par l'enveloppe rénovée (scénarios haut et bas)

	Méthode 1 Scénario haut	Méthode 2 Scénario bas	Scénario moyen
Economies d'énergie suite à l'assainissement de l'enveloppe	173 MJ/m ² a (simulé)	80 MJ/m ² a (mesuré)	127 MJ/m²a

Cette différence résulte d'une part de la spécificité des méthodes utilisées (hypothèses retenues pour le calcul EnerCAD et cumul d'erreurs des valeurs mesurées dans la deuxième méthode) et d'autre part du comportement de l'occupant qui est pris en compte uniquement dans la seconde méthode (scénario bas). A ces différences, il faut ajouter la difficulté d'évaluer les économies d'énergie résultant de l'assainissement de l'enveloppe du bâtiment 40-42, étant donné que 75% de l'enveloppe contre extérieur est composée de loggias « froides ». La performance thermique de ces loggias dépend en grande partie de l'usage qu'en fait l'occupant.

Etant donné qu'aucune des méthodes proposées n'est pleinement satisfaisante, **nous avons opté pour un scénario moyen qui consiste à prendre la moyenne des valeurs obtenues, soit 127 MJ/m²a.** Ainsi, l'énergie finale économisée par l'assainissement de l'enveloppe sur une période de 40 ans est estimée à 9.4 GWh.

iii. Coût du kWh économisé

Sans compter les subventions reçues de l'Etat (OCEN), de la Fondation Centime Climatique et de Minergie, le coût de l'énergie économisée par l'assainissement de l'enveloppe s'élève à 48 centimes le kWh pour le scénario moyen. Ce coût correspond à 4 à 5 fois le coût du kWh mazout ou à 7 à 8 fois le coût du kWh CADIOM. Cette évaluation ne tient compte ni des risques de hausse de prix de l'énergie durant la durée de l'amortissement, ni des co-bénéfices engendrés par la rénovation de l'enveloppe (comme l'accroissement de la valeur du bâtiment, le meilleur confort pour les occupants, etc.). Les coûts du kWh économisé pour les scénarios haut et bas sont indiqués dans le Tableau 4.21 ci-dessous.

Tableau 4.21. Coûts du kWh économisé et de la tonne de CO₂ évitée pour les 3 scénarios

	Coût du kWh économisé	Coût de la tonne de CO ₂ évitée
Scénario bas	76 ct/kWh	2'490 CHF/tCO ₂
Scénario moyen	48 ct/kWh	1'420 CHF/tCO ₂
Scénario haut	35 ct/kWh	940 CHF/tCO ₂

iv. Coût de la tonne de CO₂ évitée

Les travaux d'assainissement de l'enveloppe ont permis d'éviter l'émission de 63 tonnes de CO₂ par an, à un coût de 1'420 CHF/tonne pour le scénario moyen. Les coûts de la tonne évitée pour les scénarios haut et bas sont respectivement de 2'490 et de 940 CHF/tCO₂.

4.4.3.4 Coût de l'énergie solaire thermique

i. Annuités

Le coût de l'installation solaire (100 m² de capteurs) revient à 197'000 CHF, équivalent à 1'970 CHF/m² installé et se répartit comme suit : 1'476 CHF/m² (coût de l'installation solaire) et 494 CHF/m² (honoraires liés à la rénovation). Le coût total annuel de l'installation est de 15'540 CHF (20 ans, 3.5%/an, 1'500 CHF/an d'entretien et 140 CHF/an d'électricité). La subvention octroyée par l'OCEN pour la production solaire (38'500 CHF) a permis d'abaisser les annuités à 12'840 CHF.

ii. Production solaire

Les capteurs solaires thermiques installés sur le toit du bâtiment ont produit en moyenne 65'500 kWh/an, entre octobre 2008 et septembre 2010, soit 44 MJ/m²_{SRE} par an avec un taux de couverture solaire de 43%. L'énergie finale substituée sur une période de 20 ans est de 2.9 GWh. Pour déterminer le coût de l'énergie solaire, il est plus judicieux d'utiliser la part réellement consommée de cette production solaire en prenant compte des pertes thermiques engendrées par la surproduction estivale et de celles des ballons de stockage (peu importantes). Cependant, ces pertes sont difficiles à évaluer étant donné qu'on ne connaît pas la part de l'énergie solaire réellement valorisée. Par conséquent, nous avons utilisé la production solaire pour ce calcul, ce qui sous-estime potentiellement le prix du kWh économisé par le solaire.

iii. Coût du kWh économisé

Hors subvention, le coût du kWh économisé par l'installation solaire thermique s'élève à 19 centimes le kWh. La prise en compte de la subvention solaire ramène ce coût à 16 ct/kWh, qui est toujours 1.5 fois plus élevé que le coût du kWh mazout et 2.5 fois plus élevé que le coût du kWh CADIOM.

iv. Coût de la tonne de CO₂ évitée

Cette installation a permis d'éviter l'émission de 22 tonnes de CO₂ par an. Ainsi, sans prendre en compte la consommation électrique de fonctionnement, le coût de la tonne de CO₂ évitée annuellement revient à 320 CHF hors subvention et à 200 CHF avec subvention.

4.4.3.5 Coût de l'énergie récupérée par le système de ventilation

i. Annuités

Pour le système de ventilation à double-flux avec pompe à chaleur intégrée, l'investissement représente le surcoût par rapport à une installation d'extraction simple, qu'on a estimé à 125'000 CHF. Le coût du système intégré au Gros-Chêne s'est élevé à 710'000 CHF (honoraires inclus) et comprend le coût du monobloc de ventilation, du réseau de distribution d'air, des caissons de diffusion ainsi que le coût du montage, du réglage et de la mise en service de l'installation.

Hors subvention, l'investissement est donc de 585'000 CHF (53 CHF/m³/h), soit l'équivalent d'un coût annuel de 41'200 CHF calculé sur 20 ans avec un taux d'intérêt de 3.5%, 3'500 CHF d'entretien et 2'740 CHF d'électricité par année.

ii. Energie récupérée par le système

L'énergie moyenne récupérée par ce système, entre octobre 2008 et septembre 2010, est de 77 MJ/m²a. L'énergie finale économisée sur 20 ans est de 1.6 GWh. Environ 70% de cette énergie est récupérée par la ventilation double-flux et le reste par la pompe à chaleur.

iii. Coût du kWh économisé

Hors subvention, le système de ventilation produit un négakWh à 33 centimes (3 fois plus élevé que le coût du kWh mazout et 5 à 6 fois plus élevé que le coût du kWh CADIOM). Cependant, ce système présente des co-bénéfices rarement pris en compte dans les considérations de rentabilité. La plupart de ces co-bénéfices sont difficilement chiffrables comme une meilleure qualité de l'environnement intérieur et une meilleure protection contre le bruit.

A titre d'exemple, le fait de mieux intégrer les caissons de pulsion d'air à l'intérieur des appartements en les prolongeant tout au long des pièces a permis aux occupants de ne pas avoir de conduites visibles dans leurs pièces. Cette opération purement esthétique a engendré un surcoût de l'ordre de 25% sur l'investissement dans le système de ventilation. Il en résulte une augmentation du coût du négakWh de 27 à 33 centimes.

iv. Coût de la tonne de CO₂ évitée

Le coût de la tonne de CO₂ évitée annuellement par ce système revient à 850 CHF sans compter la consommation électrique. Cette installation a permis d'économiser la production de 38 tonnes de CO₂ en moyenne sur les deux années de mesure par rapport à l'état initial avant rénovation.

4.4.3.6 Conclusions

Hors subventions, le coût du kWh économisé par l'ensemble des travaux d'amélioration énergétique s'élève à 38 centimes. La prise en compte des subventions ramène ce coût à 30 ct/kWh, qui reste 3 fois plus élevé que le coût du kWh mazout et 5 fois plus élevé que le coût du kWh CADIOM.

Les coûts de l'énergie économisée ou substituée par les trois solutions d'efficacité énergétique (l'assainissement de l'enveloppe, l'installation solaire thermique et l'installation de ventilation contrôlée) sont supérieurs au prix actuel de l'énergie. L'intégration de ces systèmes représente un coût total de 26 CHF/m²_{SRE} par an, en tenant compte des subventions.

Cependant, il faut tenir compte lors de l'interprétation des résultats que :

- ces systèmes offrent plusieurs co-bénéfices qui ne sont pas pris en compte dans les considérations de rentabilité. L'accroissement de la valeur du patrimoine immobilier et l'amélioration du confort des occupants en assurant une meilleure protection contre le bruit et une meilleure qualité de l'air représentent des co-bénéfices qui peuvent avoir une valeur économique aussi élevée que ceux réalisés sur le plan énergétique.
- les travaux d'amélioration énergétique sont étroitement liés à des travaux structurels sur le bâtiment (travaux de mises aux normes ou d'entretien), qui ne sont pas toujours facile à isoler. Il faut par conséquent accepter que les économies d'énergie ne puissent financer seules la globalité des travaux énergétiques.
- les indicateurs utilisés (coût du kWh économisé et coût de la tonne de CO₂ évitée) ne prennent pas en compte la durée de vie des opérations. L'assainissement de l'enveloppe, bien qu'il présente un coût annuel de l'énergie économisée plus élevé que ceux des installations techniques, recèle au total des économies d'énergie plus importantes (économies réalisées sur une période plus longue).

D'après nos calculs, l'opération de rénovation n'est pas rentable aux prix actuels de l'énergie, et pourtant le propriétaire a fait le choix de rénover le bâtiment. La rentabilité n'est pas perçue par le propriétaire comme le seul critère pour le choix des investissements en efficacité énergétique. D'autres critères d'ordre qualitatif ont probablement été considérés, tels que la nécessité d'intervenir, les bénéfices non-énergétiques, le risque et le caractère stratégique propre à l'investissement.

Enfin, cette rénovation permet d'éviter l'émission de 122 tonnes de CO₂ par an par rapport à l'état initial avant rénovation. Le coût de la tonne de CO₂ évitée annuellement revient à 1'050 CHF hors subventions et à 750 CHF avec subventions (sans prendre en compte la consommation électrique).

4.4.4 Baisse effective des charges énergétiques

4.4.4.1 Détermination de la baisse des charges

La baisse effective des charges énergétiques suite à la rénovation du bâtiment 40-42 a été calculée à partir des données du suivi énergétique, étant donné que la baisse prévue ne nous a pas été transmise. Le Tableau 4.22 présente le détail du calcul des charges énergétiques (frais de chauffage + frais d'exploitation) avant et après rénovation. La différence entre ces valeurs représente la baisse effective des charges.

Tableau 4.22. Baisse des charges énergétiques du bâtiment 40-42 suite à la rénovation

Avant rénovation 2003-2007		Après rénovation 2008-2010	
Frais de chauffage		Frais de chauffage	
Moy demande therm GC 36-42 (2003-2007)	513 MJ/m ² /an	Moy demande therm GC 40-42 (2008-2010)	372 MJ/m²/an
Energie finale IDC (Ch+ECS)	641 MJ/m ² /an	basée sur le suivi énergétique	
Consommation de mazout GC 40-42	95'422 Lmaz/an	Energie utile Cadiom (Ch+ECS)	552'800 kWh/an
Achat mazout GC 40-42	90'650 CHF/an	Achat cadiom totale 40-42	35'900 CHF/an
@ 9.5 ct/kWh mazout		@ 6.5 ct/kWh cadiom	
Frais d'exploitation GC 36-42 (du 1.05.2007 au 30.04.2008)		Frais d'exploitation GC 40-42 (2009-2010)	
Ramonage-nettoyage		Energie électrique additionnelle	
Révision contrat d'entretien		Budget prévisionnel des coûts d'entretien	
Révision citerne		Honoraire de surveillance	
Total exploitation GC 36-42	18'500 CHF	Achat filtres à poche Vdf	
Total exploitation GC 40-42	9'250 CHF	Total exploitation GC 40-42	19'440 CHF
Charges énergétiques 40-42 avant rénovation	99'900 CHF	Charges énergétiques 40-42 après rénovation	55'340 CHF
Baisse effective des charges énergétiques suite à la rénovation (effet rénovation + passage à Cadiom)		44'560 CHF/an ou 189 CHF/pce/an	

Pour le calcul des frais de chauffage avant rénovation, nous avons utilisé la consommation annuelle moyenne de mazout durant la période 2003 à 2007, tandis que pour le calcul après rénovation, nous nous sommes basés sur les résultats du suivi énergétique 2008-2010. En ce qui concerne les frais d'exploitation, les valeurs indiquées sont issues des décomptes de chauffage. Nous avons aussi considéré un prix du mazout de 9.5ct/kWh (selon factures 2007-2008) et un prix de la chaleur CADIOM de 6.5ct/kWh.

Sur cette base, les charges énergétiques s'élèvent à 99'900 CHF/an avant rénovation et 55'340 CHF/an après rénovation (cf. Tableau 4.22). **La baisse effective des charges liée à la rénovation est donc de 45%, soit une économie annuelle de 44'560 CHF ou de 189 CHF par pièce.**

On remarque que la rénovation a engendré une diminution des frais de chauffage d'un facteur 2.5 et une augmentation des frais d'exploitation d'un facteur 2.

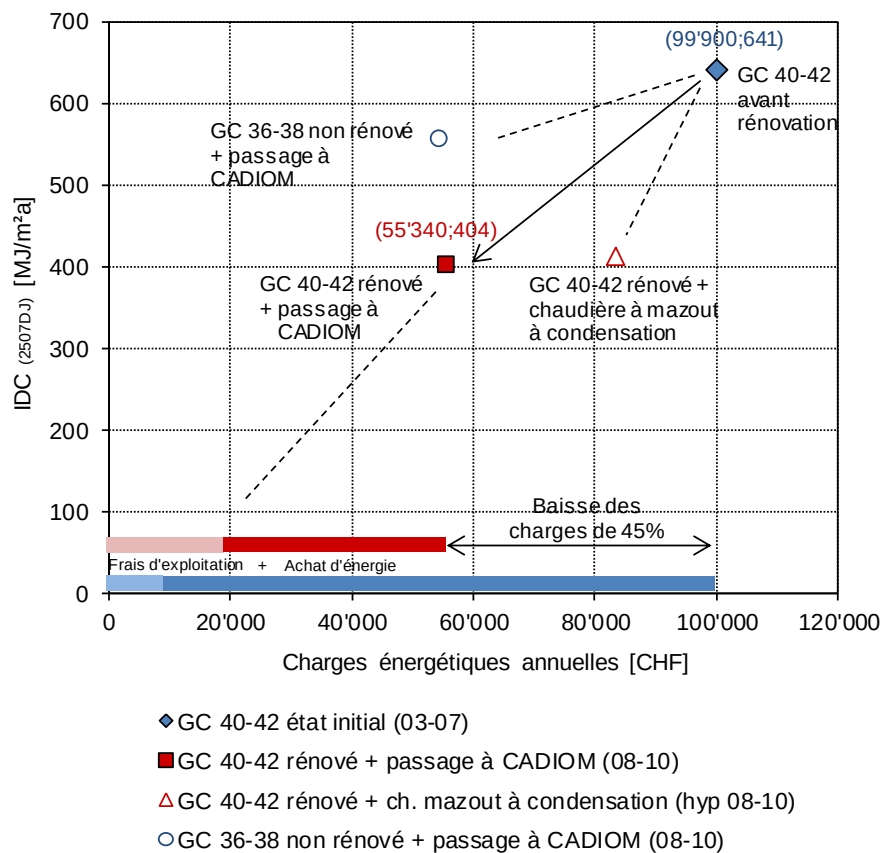
Nous rappelons que cette baisse est essentiellement la résultante de deux effets : la baisse de la demande énergétique du bâtiment suite à la rénovation et le passage à CADIOM (changement de vecteur énergétique).

4.4.4.2 Influence du passage à CADIOM sur la baisse des charges

Nous discutons dans ce qui suit de l'influence du passage à CADIOM sur la baisse des charges énergétiques. A cet égard, la Figure 4.56 illustre la relation entre les charges énergétiques annuelles et les indices de dépense de chaleur IDC calculés sur la base de 2'507 DJ pour les bâtiments :

- 40-42 avant rénovation (état initial : moyenne 2003-2007) ;
- 40-42 rénové et raccordé au réseau CADIOM (état actuel : moyenne 2008-2010) ;
- 40-42 rénové mais en prenant l'hypothèse que la production de chaleur est assurée par une chaudière mazout à condensation (hypothèse : moyenne 2008-2010) ;
- 36-38 non rénové et raccordé au réseau CADIOM (état actuel : 2008-2010).

Figure 4.56. Relation entre charges énergétiques et indices de dépenses de chaleur (IDC 2'507 DJ)



Pour le calcul de l'IDC, nous avons considéré un rendement de 90% pour la chaudière mazout à condensation et une fraction utile/finale de 92.5% pour la chaleur fournie par CADIOM, avec des pertes de production et de distribution estimées à 7.5% (facteur de conversion retenu pour le CAD tarifié d'après la directive pour le calcul de l'IDC avant 2010 [34]. L'IDC avant rénovation a été calculé à partir des consommations de mazout observées de 2003 à 2007. Pour les frais d'exploitation du bâtiment 40-42 avant rénovation, nous avons considéré la moitié des frais du bâtiment 36-42.

Le Tableau 4.23 donne pour les 4 situations considérées les achats de l'énergie, les frais d'exploitation et les baisses de charges énergétiques par rapport à l'état initial avant rénovation.

Tableau 4.23. Baisse des charges énergétiques pour les 4 situations considérées

	Achat d'énergie [CHF/an]	Frais d'exploitation [CHF/an]	Charges énergétiques [CHF/an]	Baisse des charges énergétiques par rapport à l'état initial avant rénovation	
Bâtiment 40-42 avant rénovation Etat initial : moy. 03-07	90'650 (mazout)	9'250	99'900	-	-
Bâtiment 40-42 rénové + passage à CADIOM Etat actuel : moy. 08-10	35'900 (CADIOM)	19'440	55'340	44'560 CHF/an (189 CHF/pce/an)	-45%
Bâtiment 40-42 rénové + mazout à condensation Hypothèse : moy. 08-10	58'400 (mazout)	25'000 (estimé)	83'400	16'500 CHF/an (70 CHF/pce/an)	-17%
Bâtiment 36-38 non rénové + passage à CADIOM Etat actuel : moy. 08-10	49'600 (CADIOM)	4'400 (estimé)	54'000	45'900 CHF/an (194 CHF/pce/an)	-46%

L'analyse des résultats nous permet d'énoncer les constats suivants :

- Le raccordement du bâtiment 36-38 non rénové au réseau CADIOM a permis, à lui seul, de baisser de 46% les charges énergétiques, essentiellement grâce au bas prix de la chaleur CADIOM. Cette baisse est même légèrement supérieure à la baisse calculée (45%) pour le bâtiment 40-42 rénové et raccordé à CADIOM. La baisse de 45% est la résultante à la fois d'une augmentation d'un facteur 2 des frais d'exploitation (en raison du contrat de suivi des installations techniques) et d'une diminution de la quantité d'énergie consommée et du coût de l'énergie.
- La baisse des charges (46%) du bâtiment 36-38, non rénové et raccordé à CADIOM, semble aussi être plus importante que celle d'un bâtiment rénové mais dont la production de chaleur est assurée par une chaudière mazout à condensation (baisse estimée à 17% avec un rendement de 90% pour la chaudière).
- Au prix actuel de l'énergie, le raccordement des bâtiments au réseau CADIOM entraîne une baisse significative des charges énergétiques sans avoir rénové les bâtiments. Ceci est dû principalement au faible prix de la chaleur vendue par CADIOM à la commune d'Onex (situation actuelle en 2012). Cet écart devrait davantage se creuser dans les années à venir avec la hausse attendue des prix du pétrole.
- Dans le cas où le bâtiment 36-38, non rénové et raccordé à CADIOM, devrait subir à son tour une rénovation énergétique, la baisse des charges énergétiques qui pourrait être répercutée sur les locataires en vertu de la LDTR actuelle serait beaucoup plus faible que la baisse effective des charges résultant de la rénovation du bâtiment 40-42 (189 CHF/pce/an). Un prix aussi bas de la chaleur risque de rendre difficile la rentabilité des efforts de rénovation des bâtiments connectés à CADIOM.

4.4.5 Répercussion du coût des travaux sur les loyers

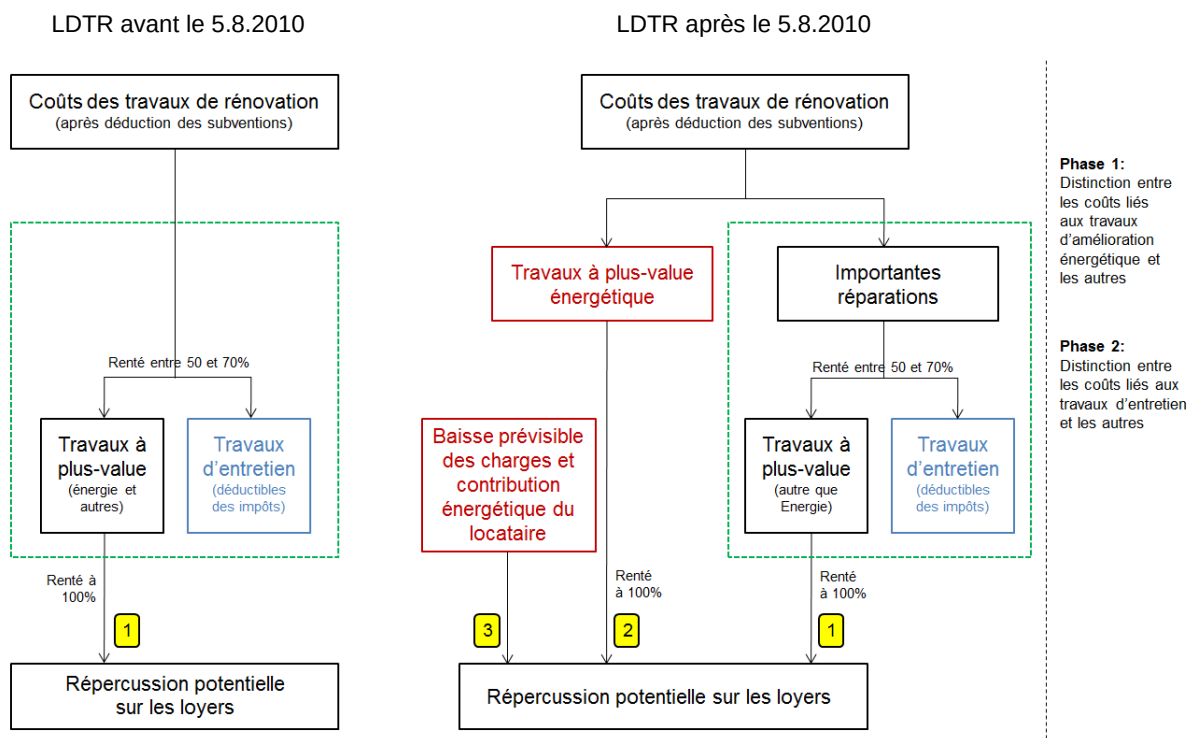
Etant donné que la demande d'autorisation pour les travaux de rénovation a été déposée auprès du DCTI⁴⁵ (actuellement DALE⁴⁶) bien avant la modification de la loi sur l'énergie le 5 août 2010 et avant la modification en janvier 2008 de l'ordonnance sur le bail à loyer (OBLF), l'incidence du coût des travaux sur les loyers du bâtiment 40-42 est fondée sur la LDTR⁴⁷ avant le 5.8.2010, appelée aussi « *ancienne LDTR* », qui n'est plus en vigueur aujourd'hui.

La modification de la loi cantonale sur l'énergie, notamment avec l'entrée en vigueur le 5 août 2010 des articles 14 et 15 LEN, peut imposer au propriétaire de bâtiment un certain nombre de prescriptions en matière d'amélioration énergétique. Une partie de ces charges peut également être répercutée sur les loyers conformément aux conditions prévues par les articles 6 alinéa 3, et 9 alinéa 6 LDTR. Compte tenu de ce changement réglementaire, nous avons considéré un scénario simulant l'application de la « *nouvelle LDTR* », soit la version actuelle en vigueur dès le 5.8.2010, au bâtiment rénové.

4.4.5.1 Classification des coûts des travaux de rénovation

La Figure 4.57 illustre la méthode de classification des coûts des travaux de rénovation selon les modalités de l'ancienne LDTR (avant le 5.8.2010) et la nouvelle LDTR (après le 5.8.2010).

Figure 4.57. Classification des coûts des travaux de rénovation selon les modalités de l'ancienne LDTR (avant le 5.8.2010) et la nouvelle LDTR (après le 5.8.2010)



⁴⁵ DCTI : Département des Constructions et des Technologies de l'Information de l'Etat de Genève.

⁴⁶ DALE : Département de l'Aménagement, du Logement et de l'Energie.

⁴⁷ LDTR : Loi sur les démolitions, transformations et rénovations de maisons d'habitation.

L'article 3 de la LDTR distingue les travaux de rénovation créant des plus-values dont le coût peut être reporté sur les loyers, des travaux d'entretien non répercutables sur les loyers mais déductibles des impôts (cf. Figure 4.57, phase 2). Dans la pratique, il appartient au DCTI de qualifier la nature des travaux envisagés (travaux d'entretien ou à plus-value) et de déterminer à quelle hauteur le coût des travaux pourra être pris en considération (à raison de 50%-50%, 60%-40% ou 70%-30%). Sans possibilité de contacter le DCTI pour savoir quelle répartition avait effectivement été appliquée, **nous avons opté pour le scénario moyen qui consiste à répartir les travaux à hauteur de 60% pour les travaux de rénovation créant des plus-values et 40% pour les travaux d'entretien.**

En appliquant l'ancienne LDTR, seul le coût des travaux à plus-value peut être reporté sur les loyers (répercussion potentielle). En plus, la nouvelle LDTR permet de reporter sur les loyers les travaux considérés à plus-value énergétique (cf. Figure 4.57, phase 1) et la baisse prévisible des charges du locataire résultant de l'amélioration énergétique, à laquelle peut être ajoutée une contribution du locataire d'au maximum 10 francs par pièce et par mois.

4.4.5.2 Hypothèses de calcul

Pour la classification des coûts des travaux (cf. Figure 4.57, phase 2), nous avons retenu le ratio suivant : 60% travaux de rénovation à plus-value et 40% travaux d'entretien. En ce qui concerne les coûts des travaux d'amélioration énergétique qui peuvent être reportés directement sur les loyers dans le cas de la nouvelle LDTR (cf. Figure 4.57, phase 1), nous avons considéré les pourcentages suivants : 100% pour le solaire thermique et pour l'isolation périphérique, 50% pour la ventilation contrôlée, le remplacement des fenêtres et la fermeture des balcons en loggia. La part restante, considérée comme importantes réparations, a été répartie entre 60% travaux à plus-value non énergétique et 40% travaux d'entretien.

La baisse réelle des charges énergétiques observée par les locataires ne nous a pas été transmise. Nous nous sommes donc basés sur les résultats du suivi énergétique pour déterminer la baisse effective des charges. Ce calcul est détaillé au point précédent 4.4.4.

Pour le calcul de la rentabilité, nous avons considéré un taux d'intérêts de 8.25%, préconisé par le service juridique du département des constructions et des technologies de l'information (DCTI, actuellement DALE), qui se décompose en :

- un taux hypothécaire⁴⁸ moyen de 1.75% (3.5%/2)
- un amortissement du coût des travaux sur 20 ans (5%)
- des frais d'entretien (1.5%)

Enfin, pour pouvoir calculer l'incidence du coût des travaux sur les loyers fondée sur la nouvelle LDTR, il est désormais obligatoire d'actualiser les loyers avant travaux en utilisant le taux hypothécaire en vigueur lors du dépôt du dossier. Cependant, cela n'a pas été possible dans le cadre de ce travail puisque l'information sur l'ancienneté des baux ne nous a pas été transmise. L'actualisation des loyers a tendance à diminuer le potentiel d'augmentation des loyers, puisque le taux hypothécaire actuel est inférieur à ceux des années précédentes.

⁴⁸ Renté à un taux de 0.5 point au-dessus du taux hypothécaire de référence (3%) de juin 2010.

4.4.5.3 Incidence potentielle des travaux à plus-value sur les loyers

Selon l'ancienne LDTR, seul le coût des travaux de rénovation créant des plus-values peut être reporté sur les loyers. Après déduction des subventions, ce montant s'élève environ à 2'811'000 CHF (cf. Tableau 4.24). La répercussion du coût de ces travaux sur les loyers, assorti d'un taux d'intérêt de 8.25%, devrait entraîner une hausse potentielle de l'état locatif de 232'000 CHF/an, soit 983 CHF/pce/an. Cette hausse aura fait passer le loyer net moyen de 3'133 à 4'116 CHF/pce/an après travaux.

Tableau 4.24. Incidence potentielle des travaux de rénovation sur les loyers (ancienne LDTR avant le 5.8.2010). Pour les indications entre crochets, se référer à la Figure 4.57.

Coût total des travaux (selon CFC)	5'668'000	CHF
Coût des travaux de rénovation (p-v admise 60%)	3'400'800	CHF
Subventions	-589'750	CHF
Coût des travaux de rénovation (subventions déduites)	2'811'050	CHF
Hausse potentielle de l'état locatif [1]	232'000	CHF/an
Hausse potentielle par pièce [1]	983	CHF/pce/an

Ce calcul se réfère à l'arrêt Fracheboud du 14 septembre 1992 qui admet la possibilité pour un propriétaire de répercuter entièrement le coût des travaux à plus-value sur les loyers. Or, cette hausse de loyers est « potentielle » car à Genève, la LDTR est plus stricte et empêche la répercussion totale sur les loyers en limitant la hausse des loyers après travaux. Ce point sera explicité dans la partie suivante 4.4.5.4.

Le Tableau 4.25 suivant détermine l'incidence potentielle du coût des travaux de rénovation sur les loyers selon la nouvelle LDTR.

Tableau 4.25. Incidence potentielle des travaux de rénovation sur les loyers (nouvelle LDTR après le 5.8.2010). Pour les indications entre crochets, se référer à la Figure 4.57.

Coût total des travaux (selon CFC)	5'668'000	CHF
Coût des travaux de rénovation (p-v admise 60%)	2'087'000	CHF
Coût des travaux d'amélioration énergétique	2'190'000	CHF
Subventions	-589'750	CHF
Coût des travaux d'amélioration énergétique (subv. déduites)	1'600'250	CHF
Incidence des travaux à plus-value [1]	729	CHF/pce/an
Incidence des travaux d'amélioration énergétique [2]	462	CHF/pce/an
Hausse potentielle des loyers [1+2]	1'191	CHF/pce/an
Baisse des charges énergétiques + contribution énergétique du locataire (189+120) [3]	309	CHF/pce/an

Après déduction des subventions, le montant des travaux à plus-values et des travaux d'amélioration énergétique s'élève environ à 3'687'000 CHF (2'087'000 + 1'600'250). La hausse potentielle des loyers engendrée par ces travaux est de 1'191 CHF/pce/an (environ 280'000 CHF/an), à laquelle peut s'ajouter 309 CHF/pce/an, correspondant à la baisse des charges énergétiques et à la contribution énergétique des locataires (189 + 120 CHF/pce/an).

4.4.5.4 Incidence sur les loyers fondée sur la LDTR avant et après le 5.8.2010

Le principe de l'application de *l'ancienne LDTR* (avant le 5.8.2010) est le suivant :

- pour les logements dont le loyer avant travaux était inférieur à 3'363 CHF par pièce et par an, le loyer après travaux ne peut pas excéder ce seuil.
- pour les logements dont le loyer avant travaux était déjà supérieur au seuil de 3'363 CHF par pièce et par an, aucune augmentation de loyer n'est possible.
- dans la pratique, un déplafonnement du seuil à 3'650 CHF/pce/an était admis selon l'article 9 alinéa 5 de la LDTR pour les rénovations dépassant les exigences légales, tels que les rénovations Minergie. La rénovation du bâtiment 40-42 remplit cette condition.

Le principe de l'application de *la nouvelle LDTR* (après le 5.8.2010) est le suivant :

- pour les logements dont le loyer avant travaux est inférieur à 3'363 CHF par pièce et par an (seuil LDTR 2006 à 2010), la hausse de loyer comprend l'amortissement des travaux à plus-value non énergétique puis des travaux liés aux améliorations énergétiques. Au final, le loyer après travaux ne pourra pas excéder le seuil LDTR, auquel on pourra ajouter la baisse prévisible des charges du locataire (dans ce cas la baisse effective issue du suivi énergétique) résultant de l'amélioration énergétique du bâtiment, et si nécessaire une contribution du locataire d'au maximum 120 francs par pièce et par an. Cette contribution ne peut pas être ajoutée que si le coût des travaux d'amélioration énergétique n'est pas entièrement compensé par la baisse des charges énergétiques.
- pour les logements dont le loyer avant travaux est supérieur à 3'363 CHF par pièce et par an (seuil LDTR 2006 à 2010), la hausse de loyer après travaux ne peut pas dépasser la baisse prévisible des charges du locataire (dans ce cas la baisse effective issue du suivi énergétique), à laquelle on peut ajouter si nécessaire une contribution du locataire d'au maximum 120 francs par pièce et par an.

Dans ce qui suit, l'incidence du coût des travaux de rénovation sur les loyers du bâtiment 40-42 est analysée selon les modalités de l'ancienne et de la nouvelle LDTR. Pour cela, nous avons considéré en complément du scénario de référence (qui correspond au report réel du coût des travaux sur les loyers, communiqué aux autorités compétentes), les trois scénarios suivants :

- Scénario de référence : Report réel du coût des travaux sur les loyers, fondé sur la LDTR avant le 5.8.2010, en se basant sur les états locatifs avant et après travaux communiqués aux autorités compétentes (cf. Figure 4.58).
- Scénario 1 : Report théorique sur les loyers avec un plafond de 3'363 CHF/pce/an, fondé sur la LDTR avant le 5.8.2010 (cf. Figure 4.59).
- Scénario 2 : Report théorique sur les loyers avec un déplafonnement admis à 3'650 CHF/pce/an, fondé sur la LDTR avant le 5.8.2010 (cf. Figure 4.60).
- Scénario 3 : Report théorique sur les loyers avec un plafond de 3'363 CHF/pce/an, fondé sur la LDTR après le 5.8.2010 (cf. Figures 4.61 à 4.63).

Les résultats sont présentés dans les figures suivantes et discutés ci-après.

Figure 4.58. Report réel du coût des travaux sur les loyers, fondé sur l'ancienne LDTR, selon les états locatifs communiqués (Scénario de référence)

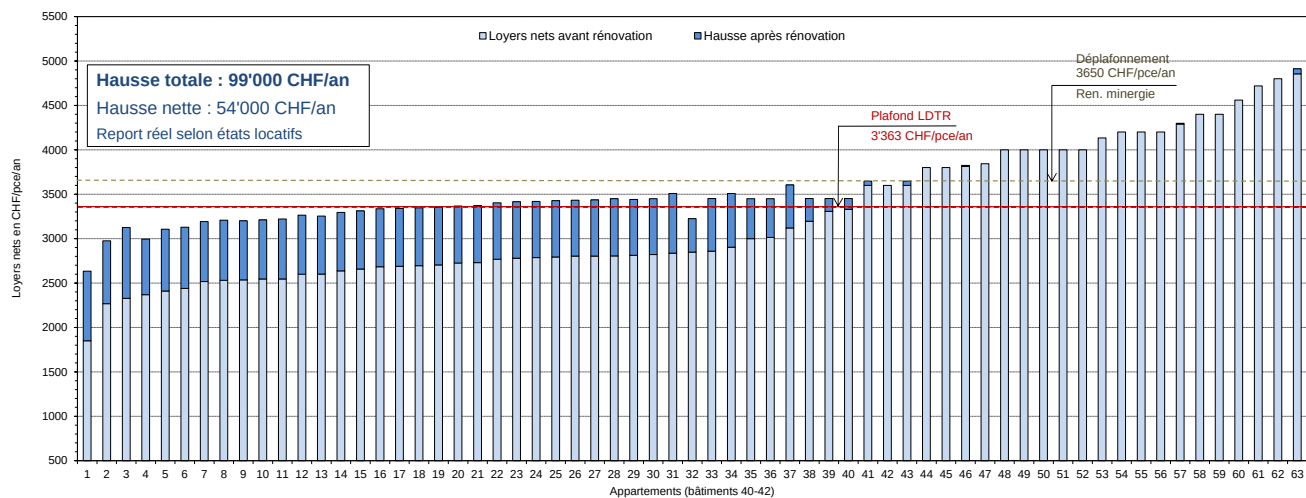


Figure 4.59. Report théorique sur les loyers avec un plafond LDTR de 3'363 CHF/pce/an, fondé sur l'ancienne LDTR (Scénario 1)

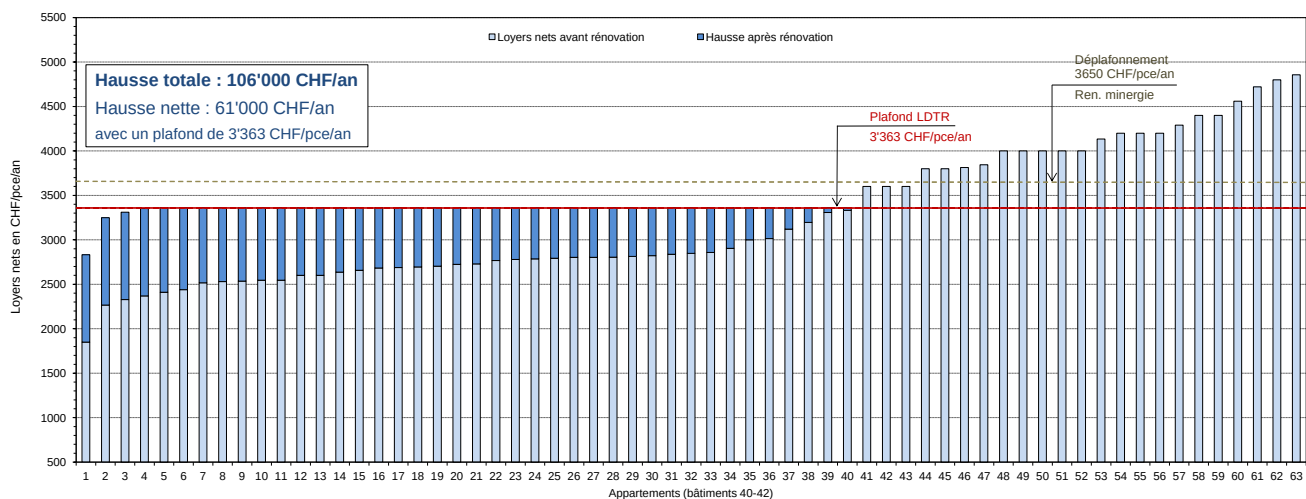


Figure 4.60. Report théorique sur les loyers avec un déplafonnement admis à 3'650 CHF/pce/an, fondé sur l'ancienne LDTR (Scénario 2)

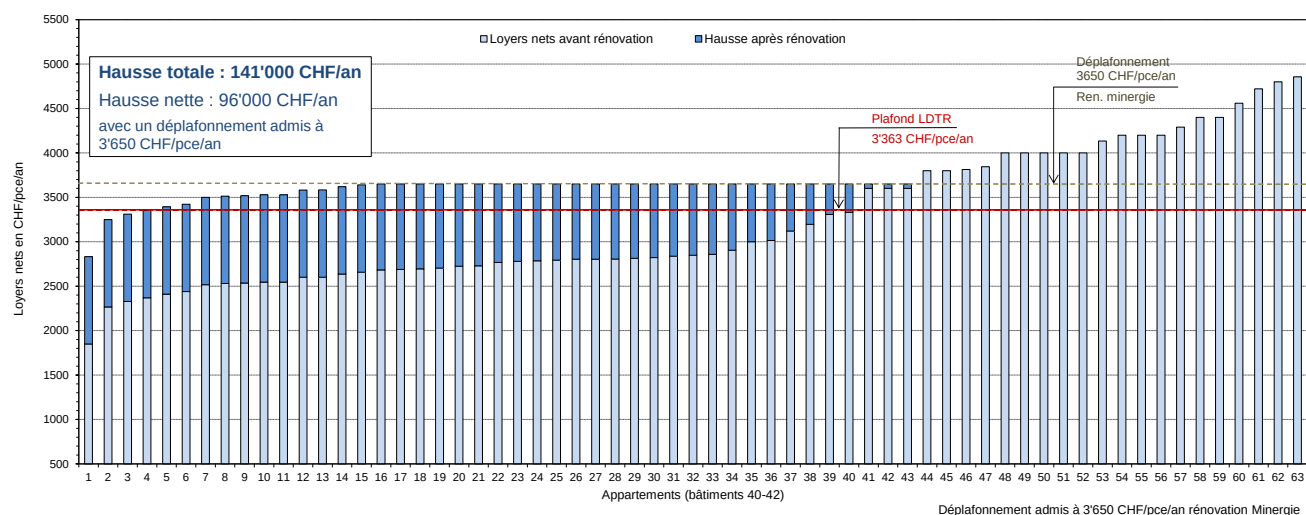


Figure 4.61. Report théorique sur les loyers avec un plafond LDTR de 3'363 CHF/pce/an, fondé sur la nouvelle LDTR (Scénario 3)

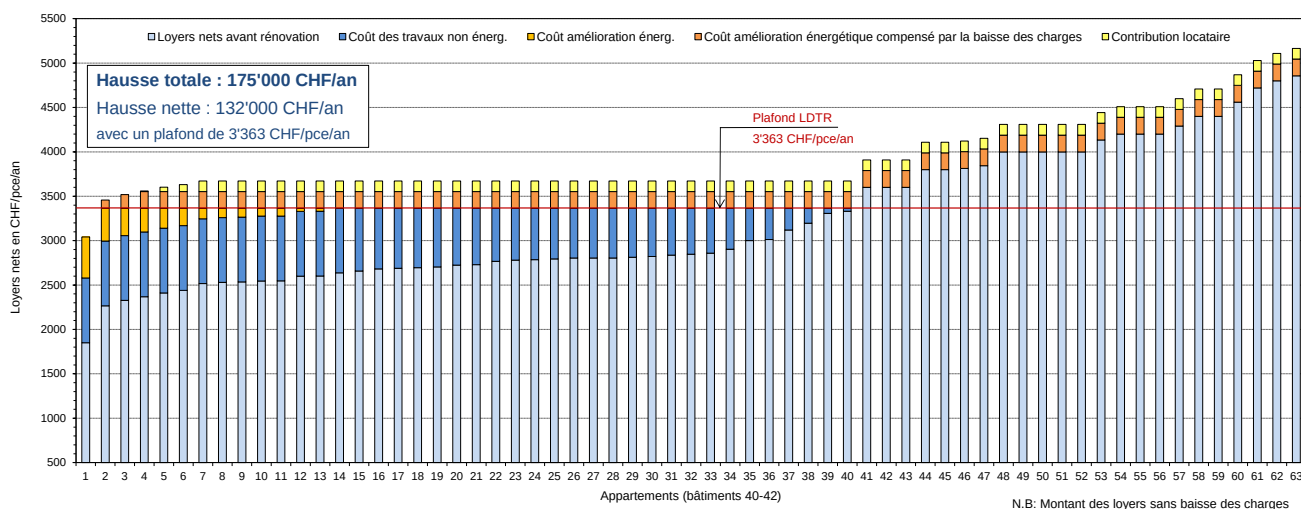


Figure 4.62. Hausse totale des loyers, avant la baisse des charges énergétiques, fondée sur la nouvelle LDTR avec un plafond LDTR de 3'363 CHF/pce/an (Scénario 3)

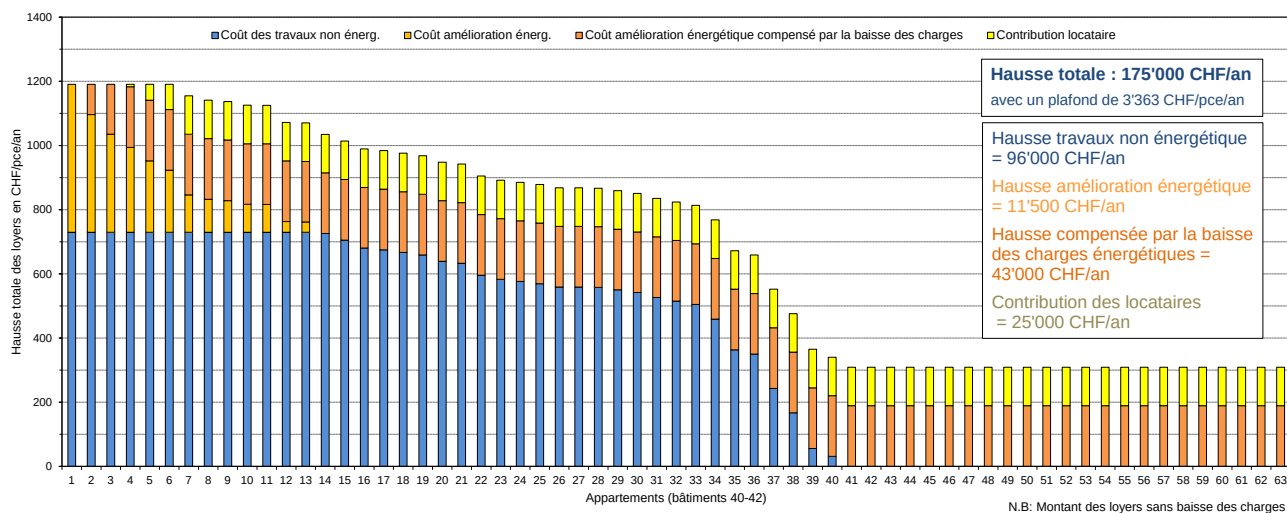
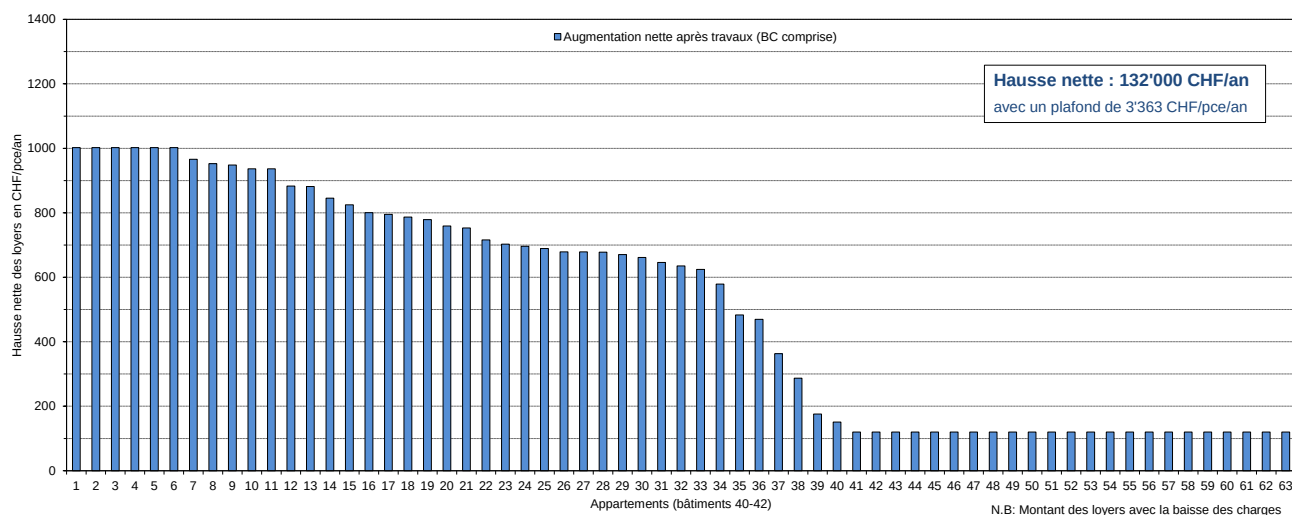


Figure 4.63. Hausse nette des loyers, après la baisse des charges énergétiques, fondée sur la nouvelle LDTR avec un plafond LDTR de 3'363 CHF/pce/an (Scénario 3)



En ce qui concerne l'incidence des travaux de rénovation sur les loyers, on peut distinguer deux notions :

- la « hausse nette » des loyers ou « part nette locataire », qui représente la participation effective du locataire aux travaux de rénovation après la baisse des charges énergétiques.
- la « hausse totale » des loyers ou « part totale locataire », qui représente la somme de la hausse nette des loyers et de celle compensée par la baisse des charges énergétiques.

Discussion des résultats : scénario de référence (LDTR avant le 5.8.2010)

En se basant sur les états locatifs communiqués aux autorités compétentes, la hausse totale réelle de l'état locatif a été de l'ordre de 100'000 CHF/an, soit une hausse moyenne par pièce d'environ 420 CHF/an (cf. Figure 4.58). Cette augmentation représente presque la moitié de la hausse potentielle des loyers estimée à 232'000 CHF/an ou 983 CHF/pce/an (cf. Tableau 4.24).

Cependant, la hausse moyenne n'est pas représentative de l'augmentation de loyer observée par les locataires, d'une part car il s'agit d'une hausse moyenne sur l'ensemble des locataires (or certains loyers n'ont pas été augmentés du fait qu'ils dépassaient déjà le plafond LDTR avant rénovation), d'autre part car cette hausse a été en partie compensée par la baisse des charges énergétiques liée à la rénovation (baisse effective de 189 CHF/pce/an).

Discussion des résultats : scénarios 1 et 2 (LDTR avant le 5.8.2010)

La comparaison du scénario de référence avec le scénario 1 montre que l'incidence totale des travaux sur les loyers est presque égale dans les deux scénarios (environ 100'000 CHF/an), malgré une augmentation aléatoire appliquée pour certains loyers dans le scénario de référence. On en conclut que la hausse des loyers est conforme à l'ancienne LDTR (avant le 5.8.2010). Après déduction de la baisse des charges énergétiques, la hausse nette des loyers est de 54'000 CHF/an pour le scénario de référence et de 61'000 CHF/an pour le scénario 1.

Le scénario 2 montre que la contribution des locataires aurait pu être plus importante (hausse totale des loyers de 141'000 CHF/an au lieu de 99'000 CHF/an en réalité) puisque que la rénovation du bâtiment 40-42 visait le standard Minergie, et que par conséquent un déplafonnement des loyers à 3'650 CHF/pce/an aurait été admis. Après déduction de la baisse des charges énergétiques, la hausse nette des loyers aurait été de 96'000 CHF/an.

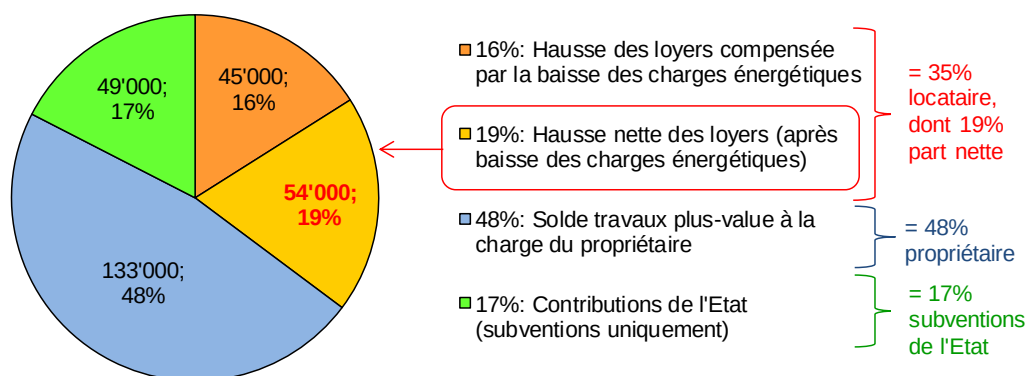
Discussion des résultats : scénario 3 (LDTR après le 5.8.2010)

En se basant sur les hypothèses énoncées plus haut, la hausse totale des loyers fondée sur la nouvelle LDTR est estimée à 175'000 CHF/an (en considérant un plafond LDTR de 3'363 CHF/pce/an). Cette hausse, qui est assez proche de la hausse du scénario 2, se répartit comme suit : 96'000 CHF/an concernant des travaux à plus-value non énergétique, 11'500 CHF/an des travaux d'amélioration énergétique, 25'000 CHF/an proviennent de la contribution énergétique des locataires et enfin 43'000 CHF/an sont compensés par la baisse des charges énergétiques. Après déduction de la baisse des charges, la hausse nette des loyers aurait atteint 132'000 CHF/an contre 61'000 CHF/an avec l'ancienne LDTR (scénario 1).

4.4.5.5 Répartition du coût des travaux à plus-value entre propriétaire, locataires et Etat

La répartition annuelle du coût des travaux de rénovation à plus-value entre propriétaire, locataires et Etat (uniquement subventions) est présentée dans la Figure 4.64 ci-dessous pour le scénario de référence.

Figure 4.64. Répartition annuelle des coûts des travaux de rénovation à plus-value entre propriétaire, locataires et Etat (uniquement subventions) pour le scénario de référence



Scénario de référence

Loc	Part du locataire compensée par la baisse des charges énergétiques	45'000	CHF/an	16%
	Part nette du locataire (après baisse des charges énergétiques)	54'000	CHF/an	19%
Prop	Solde travaux plus-value à la charge du propriétaire	133'000	CHF/an	48%
Etat	Contributions de l'Etat (subventions uniquement)	49'000	CHF/an	17%
TOTAL (Amortissement des travaux à plus-value, hors subventions)		281'000	CHF/an	100%

Il en ressort les points suivants :

- La contribution « nette » du locataire au financement des travaux de rénovation à plus-value s'élève à 19%, soit 54'000 CHF/an après déduction de la baisse des charges énergétiques. La part totale est de 35% (99'000 CHF/an), dont environ 16% (45'000 CHF/an) sont compensés par la baisse des charges énergétiques engendrée par la rénovation.
- La participation du propriétaire aux travaux de rénovation à plus-value (subventions déduites) s'élève à 48%, soit 133'000 CHF/an, et représente le « solde des travaux à plus-value » qui n'a pas pu être répercuté sur les loyers à cause du seuil LDTR. Une participation de l'Etat sous forme d'un bonus conjoncturel à l'énergie est prévue à partir de 2011 pour couvrir une partie de ce solde.
- Les subventions accordées essentiellement par l'Etat (17%) ont permis au propriétaire de réduire sa part du coût des travaux à plus-values de 65% à 48%. Les déductions fiscales en faveur des économies d'énergies, nombreuses mais difficilement quantifiables, réduiront encore plus la contribution du propriétaire.

Le Tableau 4.26 de synthèse donne la répartition du coût des travaux à plus-values entre propriétaire, locataires et Etat pour le scénario de référence et pour les trois autres scénarios choisis (scénarios 1, 2 et 3). Le détail des calculs concernant ces trois scénarios est présenté en Annexe A23.

Tableau 4.26. Répartition du coût des travaux à plus-values entre propriétaire, locataires et Etat (subventions uniquement) pour le scénario de référence et pour les 3 scénarios choisis

Tableau de synthèse	Amortissement total des travaux à plus-values	Locataire		Propriétaire	Etat
		Hausse totale	Hausse nette	Solde travaux à plus-values	Subventions
Scénario de référence : Report réel selon états locatifs (ancienne LDTR) (Figure 4.64)	281'000 CHF/an	99'000 (35%)	54'000 (19%)	133'000 (48%)	49'000 (17%)
Scénario 1 : Ancienne LDTR avec un plafond de 3'363 CHF/pce/an (Figure A23.1)	281'000 CHF/an	106'000 (38%)	61'000 (22%)	126'000 (45%)	49'000 (17%)
Scénario 2 : Ancienne LDTR avec un plafond de 3'650 CHF/pce/an (Figure A23.2)	281'000 CHF/an	141'000 (50%)	96'000 (34%)	91'000 (33%)	49'000 (17%)
Scénario 3 : Nouvelle LDTR avec un plafond de 3'363 CHF/pce/an (Figure A23.3)	353'000 CHF/an	175'000 (49%)	132'000 (37%)	129'000 (37%)	49'000 (14%)

Remarque : La hausse nette des loyers « part nette locataire » représente la participation effective du locataire aux travaux de rénovation après la baisse des charges énergétiques. Hausse totale locataire = hausse nette locataire + hausse compensée par la baisse des charges.

La comparaison du scénario 2 (ancienne LDTR avec un déplafonnement admis à 3'650 CHF/pce/an) avec le scénario 3 (nouvelle LDTR avec un plafond de 3'363 CHF/pce/an) montre que la répartition du coût des travaux à plus-values entre propriétaire et locataires (part nette) est presque identique : 33%/34% pour le scénario 2 ; 37%/37% pour le scénario 3.

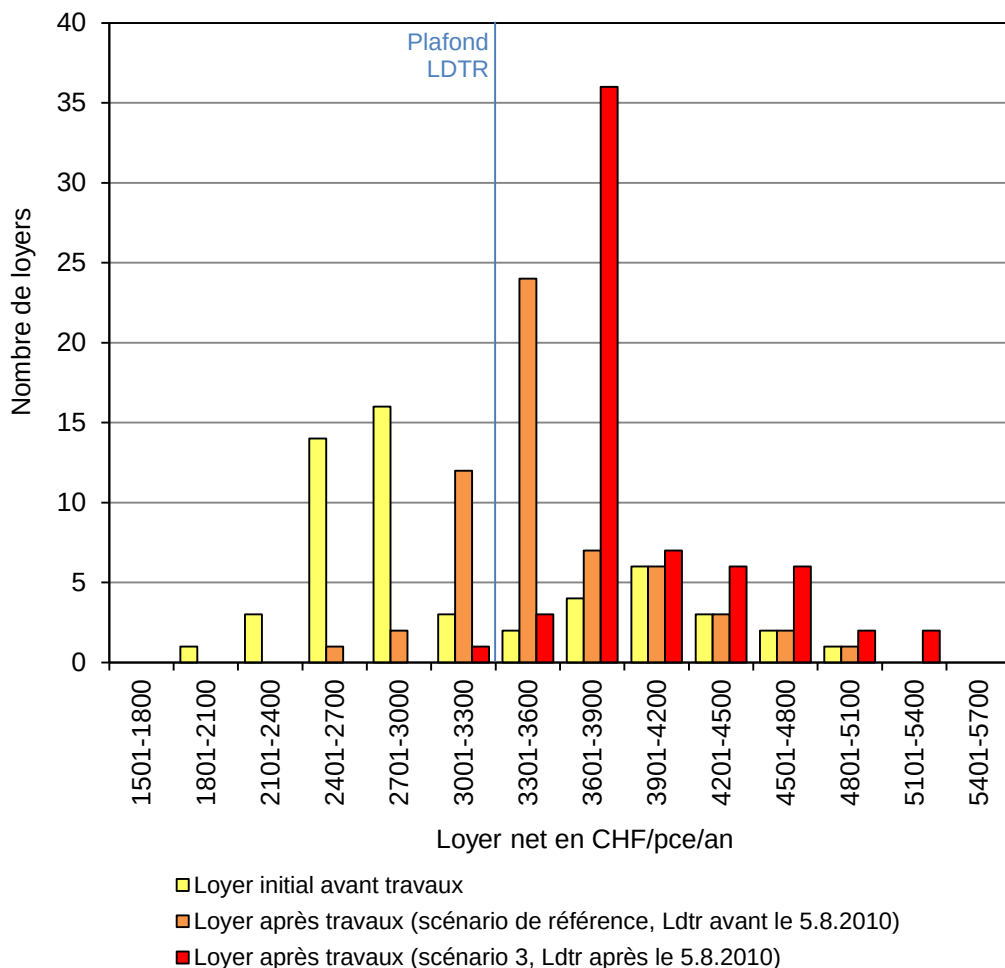
Cette répartition est bien différente du scénario de référence, où la contribution nette du locataire s'est élevée seulement à 19%, contre 48% solde des travaux à plus-values à la charge du propriétaire qui n'a pas pu être reporté sur les loyers à cause du seuil LDTR.

On en conclut donc, pour le bâtiment étudié, que l'application de la nouvelle LDTR aurait permis d'augmenter d'un facteur 1.8 la contribution des locataires au financement des travaux à plus-values par rapport au scénario de référence (ancienne LDTR). Ainsi, la contribution nette des locataires tend à s'approcher du solde à payer par le propriétaire. Ceci devrait inciter davantage les propriétaires à s'engager dans des rénovations énergétiques.

4.4.5.6 Répartition des loyers avant et après travaux (ancienne et nouvelle LDTR)

L'histogramme représenté sur la Figure 4.65 montre la répartition des loyers du bâtiment 40-42 avant et après travaux (scénario de référence avant le 5.8.2010 et scénario 3 après le 5.8.2010).

Figure 4.65. Répartition des loyers avant et après travaux (bât 40-42)



NB : Plafond LDTR = 3'363 CHF/pce/an (période 2006-2010)

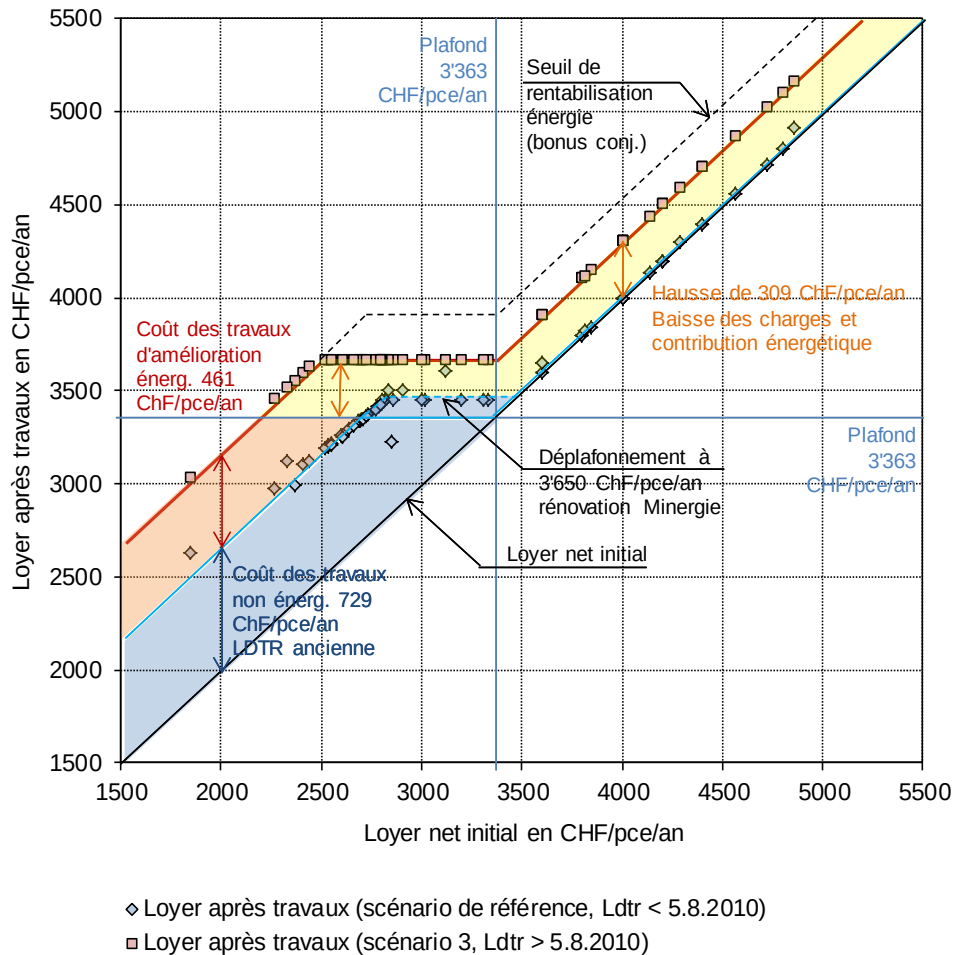
Avant travaux, on observe qu'environ 2/3 des loyers étaient en dessous du seuil LDTR de 3'363 CHF/pce/an. Cette situation n'est pas représentative de l'ensemble des immeubles locatifs à Genève, sachant qu'environ 2/3 des loyers dans le canton ont déjà dépassé le seuil fixé par la LDTR (rentabilité rendue plus difficile dans ce cas).

Dans le scénario de référence (report réel selon états locatifs), 23 loyers ont dépassé le plafond LDTR en plus des 20 loyers déjà au-delà. Au final, environ deux tiers des loyers après travaux se retrouvent au-dessus du seuil des 3'363 CHF/pce/an.

En appliquant la nouvelle LDTR (scénario 3), seulement 1 loyer (sur un total de 63) reste en dessous du plafond LDTR. Plus de la moitié des loyers seraient situées entre 3'601 et 3'900 CHF/pce/an.

La Figure 4.66 représente de manière synthétique l'incidence du coût de travaux de rénovation sur les loyers du bâtiment 40-42 pour le scénario de référence et le scénario 3. Ce type de graphique permet aussi d'avoir un aperçu rapide sur le potentiel locatif ou potentiel d'augmentation des loyers d'un bâtiment à rénover.

Figure 4.66. Répartition des loyers du bâtiment 40-42 après travaux selon l'ancienne LDTR (scénario de référence) et la nouvelle LDTR (scénario 3). La diagonale représente les loyers nets avant travaux.



On observe, même en appliquant la nouvelle LDTR, que la hausse des loyers et les aides financières ne permettent pas de couvrir entièrement les coûts des travaux d'amélioration énergétique. Pour y arriver, il faut que le seuil de rentabilisation indiqué en trait discontinu sur la figure soit atteint. A cet égard, une participation de l'Etat sous forme de bonus conjoncturel à l'énergie est en vigueur depuis 2011 pour couvrir une partie de ce solde.

4.4.6 Conclusions de l'analyse économique et financière

Le coût total de la rénovation (travaux d'entretien + travaux d'amélioration énergétique) du bâtiment 40-42 conformément au standard Minergie s'est élevé à 1'058 CHF HT/m²_{SRE}. 65% de ce montant a été dédié aux travaux d'amélioration énergétique, soit 684 CHF HT/m²_{SRE}. Les subventions (principalement de l'Etat) ont permis de réduire ce coût à 574 CHF HT/m²_{SRE}.

Les coûts du kWh économisé (négakWh) et de la tonne de CO₂ évitée ont été calculés à partir des données économiques réelles et des performances techniques mesurées des sous-systèmes. Le coût global du négakWh est de 38 centimes, ramené à 30 centimes grâce aux subventions. Hors subventions, les travaux réalisés sur l'enveloppe ont produit un négakWh à 48 centimes, la ventilation contrôlée à 33 centimes et le solaire thermique à 19 centimes.

Ces coûts peuvent paraître élevés par rapport au prix actuels du kWh mazout et surtout du kWh CADIOM, mais il ne faut pas oublier que la rénovation énergétique a amené des co-bénéfices importants, comme l'augmentation de la valeur du patrimoine bâti et l'amélioration du confort des locataires, qui n'ont pas été considérés dans l'évaluation économique. L'assainissement de l'enveloppe, bien qu'il présente un coût annuel du négakWh plus élevé que ceux des installations techniques, recèle des économies d'énergie sur la durée considérée plus importantes (facteur 3.3 par rapport à la ventilation et 5.5 par rapport au solaire).

Le coût de la tonne de CO₂ évitée par la rénovation énergétique revient à 1'050 CHF hors subventions et à 750 CHF avec subventions (1'420 CHF pour l'enveloppe, 320 CHF pour le solaire et 850 CHF pour la ventilation).

L'incidence du coût des travaux de rénovation sur les loyers est fondée sur l'« ancienne LDTR » avant le 5.8.2010, étant donné que la demande d'autorisation a été déposée auprès du DCTI (actuellement DALE) avant cette date. Dans ce cas, seul le coût des travaux de rénovation créant des plus-values peut être reporté sur les loyers, à concurrence du seuil LDTR de 3'363 CHF/pce/an.

La rénovation a engendré une hausse totale de l'état locatif de l'ordre de 100'000 CHF/an, soit presque la moitié de la hausse potentielle calculée selon l'arrêt Fracheboud (232'000 CHF/an), du fait que certains loyers dépassaient déjà le plafond LDTR avant rénovation. Il est à noter que la moitié environ de cette hausse a été compensée par la baisse des charges énergétiques liée à la rénovation (baisse effective de 189 CHF/pce/an). La hausse nette de l'état locatif s'est élevée alors à 54'000 CHF/an.

Un déplafonnement du seuil LDTR de 3'363 à 3'650 CHF/pce/an (scénario 2) aurait même été possible dans le cas d'une rénovation Minergie, mais n'a pas été appliqué. La hausse totale des loyers aurait été de 141'000 CHF/an, ce qui est assez proche de la hausse simulée avec la nouvelle LDTR après le 5.8.2010 (hausse totale de 175'000 CHF/an, scénario 3 avec un plafond de 3'363 CHF/pce/an).

Au final, le financement des travaux à plus-value selon l'ancienne LDTR (scénario de référence) se répartit comme suit : 17% subventions (principalement Etat), 35% locataires (dont 16% sont compensés par la baisse des charges énergétiques, soit une part nette de

19%) et 48% propriétaire (solde des travaux de rénovation à plus-value qui n'a pas pu être reporté sur les loyers à cause du seuil LDTR).

La part des loyers dépassant le seuil LDTR de 3'363 CHF/pce/an est passée de 30% avant rénovation à 70% après rénovation (scénario de référence). En appliquant la nouvelle LDTR (scénario 3), seulement un seul loyer (sur un total de 63) serait resté en dessous de ce seuil.

Malgré cela, on remarque que la hausse des loyers et les aides financières ne permettent pas de couvrir entièrement les coûts des travaux d'amélioration énergétique. A cet égard, une participation de l'Etat sous forme de bonus conjoncturel à l'énergie est en vigueur depuis 2011 pour couvrir une partie de ce solde et inciter davantage les propriétaires à s'engager dans des rénovations énergétiques.

4.5 Mise en perspective des résultats avec d'autres opérations de rénovation

4.5.1 Introduction

Dans cette partie, la performance énergétique et économique de la rénovation du bâtiment Gros-Chêne est comparée à celle de 9 autres opérations de rénovation énergétique, totalisant 50 immeubles, réalisées à Genève entre 2006 et 2009. On recense huit opérations conçues pour respecter la performance globale de la norme SIA 380/1 (rénovation standard) et une opération visant le standard à haute performance énergétique Minergie.

4.5.2 Présentation des opérations sélectionnées

4.5.2.1 Méthode et critères de sélection des opérations

Les 10 opérations de rénovation étudiées ont été sélectionnées à partir de la liste des requêtes d'autorisation de rénovation énergétique établie et analysée dans le Chapitre 3. Ces opérations comportent 50 immeubles de logements construits entre 1947 et 1975 (majoritairement entre 1961 et 1975) dont les requêtes d'autorisation ont été déposées entre 2005 et 2008. Le Tableau 4.27 résume les étapes de sélection des bâtiments rénovés.

Tableau 4.27. Récapitulatif des différentes étapes pour la sélection des opérations de rénovation

Nombre de bâtiments résidentiels collectifs concernés par les requêtes :		Epoque de construction des bâtiments	Année de dépôt des autorisations	Statuts des requêtes au 15.08.2012 (1)
Autorisations totales (énergie et non énergie)	990	jusqu'à 2010	mars 2004 à mai 2012	aucune condition
Autorisations Energie (catégories T-1 et/ou T-2)	630	jusqu'à 2010	mars 2004 à mai 2012	aucune condition
Autorisations Energie (catégories T-1 et/ou T-2)	430	1947 à 1975	mars 2004 à mai 2012	aucune condition
Autorisations Energie (catégories T-1 et/ou T-2)	118	1947 à 1975	2005 à 2008	aucune condition
Autorisations Energie (T-1 avec ou sans T-2)	113	1947 à 1975	2005 à 2008	aucune condition
Autorisations Energie (T-1 avec ou sans T-2)	82	1947 à 1975	2005 à 2008	en cours de réalisation ou terminé (2)
Bâtiments sélectionnés (au total, 10 opérations) (3)	50	1947 à 1975	2005 à 2008	terminé

Pour les catégories de travaux, se référer au point 3.3.3 du Chapitre 3 :

- Catégorie T-1: Travaux d'amélioration énergétique de l'enveloppe
- Catégorie T-2: Rénovation des systèmes de production de chaleur

- (1) Les statuts des requêtes d'autorisation ont été relevés depuis la plateforme de suivi des dossiers SAD-Consult de l'Etat de Genève. Au total, il existe 12 statuts qui correspondent aux différentes phases depuis l'enregistrement du dossier jusqu'à la fin des travaux.
- (2) Les requêtes en cours de réalisation ou terminées correspondent aux statuts suivants : la phase de chantier, la procédure de mise en service, fin des travaux et fermeture du chantier.
- (3) Chaque opération de rénovation comporte un ou plusieurs bâtiments. On ne fait pas de différence dans cette partie entre bâtiment, immeuble ou allée.

L'analyse dans le chapitre 3 des requêtes d'autorisation, déposées entre mars 2004 et mai 2012, a montré que le nombre de bâtiments concernés par les travaux énergétiques s'élève à 630 (pour toutes les époques de construction et tous les statuts de requêtes). En ne considérant que les immeubles édifiés entre 1947 et 1975, le nombre de bâtiments passe à 430, puis à 118 si on ne retient que les requêtes d'autorisation déposées entre 2005 et 2008 (à l'instar des opérations sélectionnées).

A ce stade, les travaux énergétiques regroupent les travaux d'amélioration de l'enveloppe (T-1) et/ou la rénovation des systèmes de production de chaleur (T-2). Si on écarte les requêtes visant à rénover seulement les systèmes de production de chaleur sans améliorer les éléments de l'enveloppe thermique, le nombre de bâtiments devient 113 (cf. Tableau 4.27).

En consultant les statuts des requêtes depuis la plateforme de suivi des dossiers SAD-Consult de l'Etat de Genève (situation au 15.08.2012), on constate que 82 sur les 113 immeubles étaient en cours de réalisation ou terminés. A posteriori, nous savons que certains statuts n'étaient pas mis à jour sur la plateforme, ce qui probablement augmenterait le nombre d'opérations de rénovation réalisées.

Nous avons ensuite sélectionné parmi ces 82 immeubles, les 50 immeubles (10 opérations) présentés au point suivant et qui possèdent au final les caractéristiques suivantes :

- Catégorie de bâtiment : Immeubles de logements locatifs.
- Affectation : 100% logements (ou avec rez-activité).
- Epoque de construction : 1946-1980 (période d'après-guerre).
- SRE rénovée : Supérieure à 1500 m².
- Année de rénovation : Comprise entre 2005 et 2009, avant l'introduction de la nouvelle loi sur l'énergie à Genève.
- Nature des travaux : Rénovation énergétique de l'enveloppe thermique avec ou sans la rénovation des systèmes de production de chaleur, et sans création de surfaces habitables supplémentaires (surélévation ou aménagement de combles).
- Exigences : Rénovation selon la norme SIA 380/1 (justificatif par performance globale), avec ou sans l'obtention du label de haute performance énergétique Minergie.
- Disponibilité de l'information et problème de comptabilisation : Opérations dont les dossiers d'autorisation et les pièces énergétiques sont disponibles aux services concernés et dont la comptabilisation des économies d'énergie engendrées par les travaux d'amélioration énergétique est possible.

4.5.2.2 Caractéristiques générales des opérations

Une synthèse des principales caractéristiques des opérations est proposée dans le Tableau 4.28 à la page suivante. Pour faciliter la lecture, un acronyme a été attribué à chaque opération. L'acronyme retenu pour l'opération Gros-Chêne est GROC.

L'Annexe A24 présente pour chaque opération une fiche de description détaillée contenant des données quantitatives et qualitatives relatives aux bâtiments et aux travaux réalisés.

Tableau 4.28. Caractéristiques générales des opérations de rénovation sélectionnées.
Pour plus de détails, se référer aux fiches descriptives à l'Annexe A24

Caractéristiques des opérations de rénovation	ANIER	DOLE	GOL	GROC	LANCY	LAT	LIVR	MAL	MONT	YVOY
Epoque de construction	1961-70	1971-75	1961-70	1961-70	1947-60	1971-75	1961-70	1961-70	1961-70	1961-70
Année de rénovation	2007	2007-09	2008	2008	2007	2006	2008	2009	2007	2008
Label Minergie (<2009)	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-
Emplacement	Genève	Genève	Meyrin	Onex	Carouge	Meyrin	Meyrin	Genève	Chêne-Boug.	Genève
Type de propriétaire ⁽¹⁾	Assurance	Assurance	FIDP	Société SI	FIDP	Assurance	Fonds PI	Assurance	Assurance	Institution DP
Nombre d'immeubles	4	5	11	2	2	4	4	3	14	1
Nombre de logements	160	208	153	63	60	96	96	45	222	28
Nombre de pièces	638	773	620	236	158	396	360	217	1192	96
Niveaux hors-sol chauffés	9	7-11	4-5	9	7	12	7	8	6-7	7
SRE [m²]	14'016	19'971	14'210	5'357	3'846	9'708	7'560	7'518	27'709	1'640
Assainissement enveloppe ⁽²⁾	façades	partielle	complète	complète	complète	partielle	q-complète	partielle	q-complète	q-complète
Toiture	-	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	-
Parois façades	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓
Parois vitrées	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Plancher	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓
Assainissement équipements ⁽²⁾	non	non	oui	oui	oui	non	non	non	non	oui
Production	-	-	✓(sol)	✓(sol+cad)	✓(ch)	-	-	-	-	✓(ch)
Distribution	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓
Ventilation	-	-	-	✓(+RC)	✓	-	-	-	-	-
Eclairage (commun)	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	✓
Etat locatif avant [CHF/pce/an]	3'177	3'774	2'547	3'136	1'305	3'734	3'047	-	2'412	3'011
Etat locatif après [CHF/pce/an]	3'389	3'879	3'417	3'554	2'143	3'738	3'331	-	2'801	3'397
Coût global [CHF HT/m²SRE] ⁽³⁾	288	423	1'210	1'058	1'133	469	556	-	419	873
Besoins Q _{hww} avant [MJ/m²a] ⁽⁴⁾	532	483	770	544	538	501	663	377	479	812
Besoins Q _{hww} après [MJ/m²a] ⁽⁴⁾	385	428	396	395	366	439	489	336	412	446
Besoins Q _h avant [MJ/m²a] ⁽⁴⁾	448	405	662	435	455	402	561	332	422	708
Besoins Q _h après [MJ/m²a] ⁽⁴⁾	301	349	327	286	283	341	387	291	355	341

(1) Type de propriétaire: FIDP = fondation immobilière de droit public, SI = Société Immobilière, Fonds PI = Fonds de placement immobilier, Institution DP = institution de droit public.

(2) ch = chaufferie, sol = installation solaire thermique, cad = réseau de chaleur à distance, RC = ventilation double-flux avec récupération de chaleur, q-complète = rénovation quasi-complète

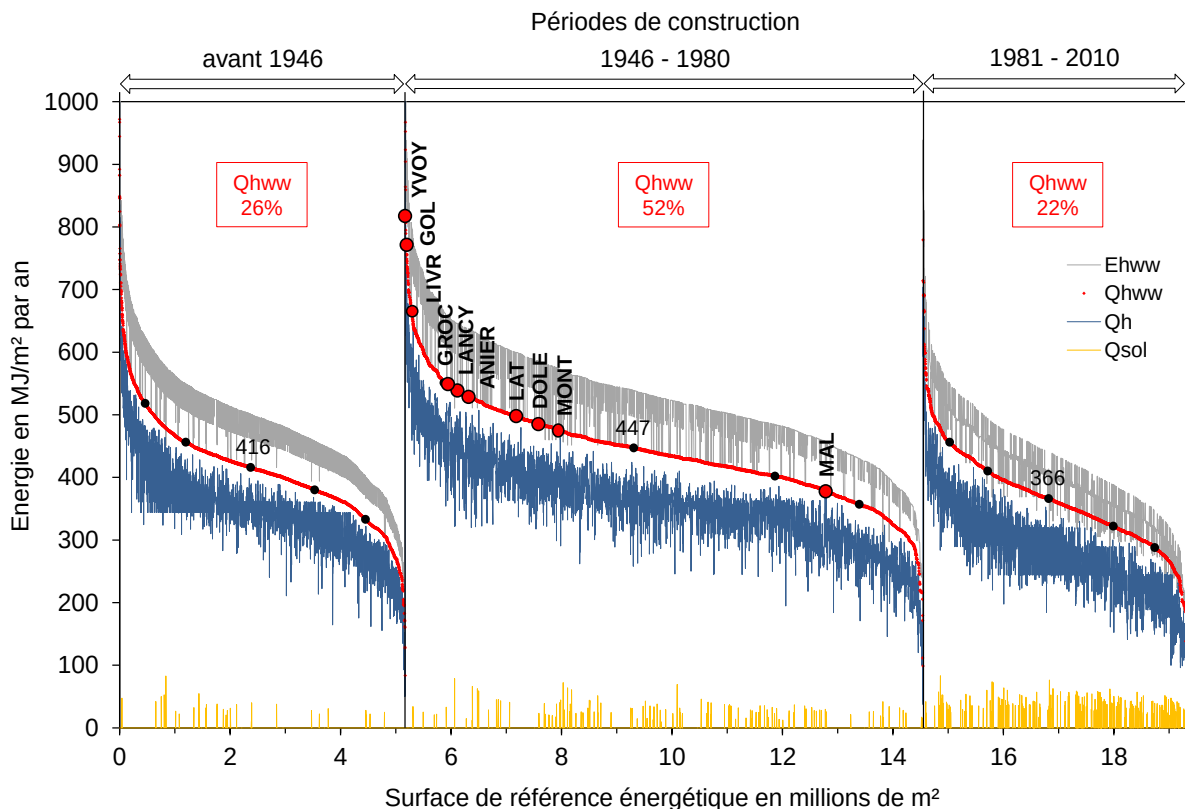
(3) Le coût global des opérations de rénovation exprimé en francs hors taxes par m² SRE englobe les coûts des travaux d'amélioration énergétique, de plus-values et d'entretien, honoraires inclus.

(4) Q_{hww} et Q_h représentent respectivement les besoins de chaleur pour le chauffage et l'ECS et les besoins en chauffage. Les besoins de chaleur sont normalisés à 2659 DJ/an et représentent la moyenne des besoins sur les 3 années qui précèdent et qui suivent l'année de rénovation pour autant qu'elle ne dépasse pas l'année 2010. Ils ont été déduits à partir de la consommation effective des bâtiments après estimation des fractions utiles de production et des besoins d'ECS en fonction du nombre d'habitants (cf. 2.5.6.2).

4.5.2.3 Demande thermique avant rénovation

La Figure 4.67 présente les besoins classés de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire Q_{hww} des bâtiments résidentiels collectifs à Genève, selon les trois grands périodes de construction, en 2010 (cf. 2.5.6.4, chapitre 2). Les cercles en rouge indiquent les besoins de chaleur Q_{hww} des bâtiments sélectionnés avant rénovation exprimés en $\text{MJ/m}^2\text{a}$. Ces valeurs sont normalisées à 2'659 DJ/an et sont disponibles dans le Tableau 4.28.

Figure 4.67. Besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire Q_{hww} des bâtiments sélectionnés avant rénovation, exprimés en $\text{MJ/m}^2\text{a}$. Ces valeurs, indiquées sur la figure par des cercles rouges, sont comparées à la distribution des besoins thermiques (chauffage et ECS) du parc résidentiel collectif genevois en 2010.



La demande thermique des bâtiments a été obtenue à partir de la consommation moyenne sur les trois années qui précèdent la réalisation des travaux, en considérant une fraction utile pour chaque installation de chauffage estimée en fonction de sa date de mise en service.

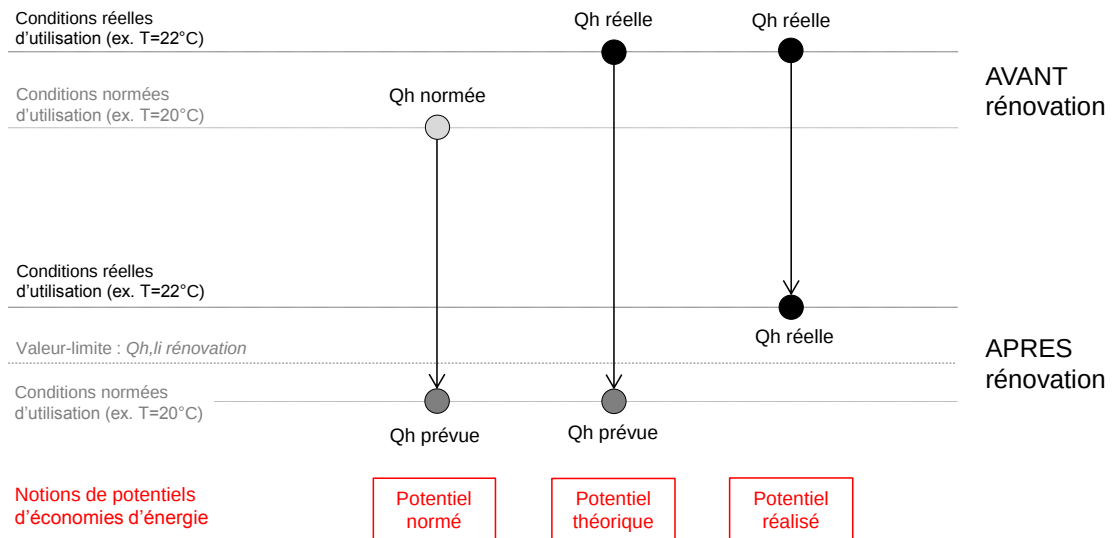
Au total, 9 opérations sur 10 ont une demande thermique qui dépasse avant rénovation le besoin médian en 2010 des bâtiments résidentiels collectifs construits entre 1946 et 1980 à Genève (soit $447 \text{ MJ/m}^2\text{a}$). On note aussi que 7 opérations ont des besoins thermiques supérieurs à $498 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ (3^e quartile), dont 3 dépassent le 9^e décile ($551 \text{ MJ/m}^2\text{a}$). La demande de chaleur avant rénovation du bâtiment Gros-chêne est de $544 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ et se situe entre le 3^e quartile et le 9^e décile de la distribution. Enfin, les bâtiments choisis sont relativement représentatifs des bâtiments qui devront être rénovés en priorité dans les prochaines années.

4.5.3 Performances énergétiques

4.5.3.1 Définitions des potentiels d'économie d'énergie

La notion de *potentiel d'économie d'énergie* est très souvent utilisée dans la littérature, mais avec des significations très différentes. Afin d'éviter toute confusion à ce sujet, nous proposons de retenir les notions définies ci-après et représentées sur la Figure 4.68.

Figure 4.68. Notions de potentiels d'économie de chauffage utilisés



- **Le potentiel d'économie normée** est défini comme la différence entre les besoins de chauffage avant et après travaux, calculés à l'aide d'un logiciel de simulation dans des conditions normées d'utilisation conformément à la norme SIA 380/1 (par exemple, avec une température des pièces de 20°C).

Les besoins prévus après rénovation (Q_h prévue) sont extraits des justificatifs thermiques présentés aux autorités, alors que les besoins normés avant travaux (Q_h normée) figurent rarement dans les dossiers d'autorisation. Pour évaluer les économies de chauffage prévues par les opérations de rénovation, nous allons par conséquent utiliser la notion de *potentiel d'économie théorique*.

- **Le potentiel d'économie théorique** est défini comme la différence entre le besoin réel de chauffage avant travaux et le besoin de chauffage prévu après travaux déclaré dans le justificatif thermique et calculé dans des conditions normées d'utilisation.

Les besoins réels (en énergie utile) ont été déduits à partir des relevés de consommations des bâtiments contenus dans la base de données de l'OCEN, en considérant des fractions utiles de production en fonction de la date de mise en service des installations et en estimant les besoins d'ECS en fonction du nombre d'habitants (cf. 2.5.6.2).

- ***Le potentiel d'économie réalisée*** est défini comme la différence entre les besoins réels de chauffage du bâtiment avant et après rénovation, estimés à partir de la base de données de l'OCEN. Ce potentiel correspond donc à la baisse réelle des besoins de chauffage.

Enfin, ***les économies d'énergie mobilisées*** correspondent au rapport entre les économies d'énergie réalisées et le potentiel d'économie théorique.

4.5.3.2 Performances prévues et réelles des opérations

La Figure 4.69 présente à la page suivante les besoins réels de chauffage des bâtiments avant et après rénovation, ainsi que les besoins prévus en conditions normées d'utilisation sur la base du justificatif thermique. Toutes les valeurs sont normalisées à 2'659 DJ/an. On rappelle ici que les valeurs réelles représentent la moyenne sur les 3 années qui précèdent et qui suivent l'année de rénovation pour autant qu'elles ne dépassent pas l'année 2010. Ces valeurs sont disponibles dans le Tableau 4.28 (cf. 4.5.2.2).

On peut observer tout d'abord que les besoins réels de chauffage des bâtiments GROC et LANCY rénovés selon Minergie sont inférieurs à ceux des rénovations standards SIA. Ceci met en évidence l'effet attracteur du label de haute performance énergétique Minergie, sans toutefois que les besoins prévus de chauffage soient atteints. Ce constat a également été soulevé dans la thèse de doctorat de J-M. Zraggen [46] sur les immeubles d'habitation locatifs neufs à Genève.

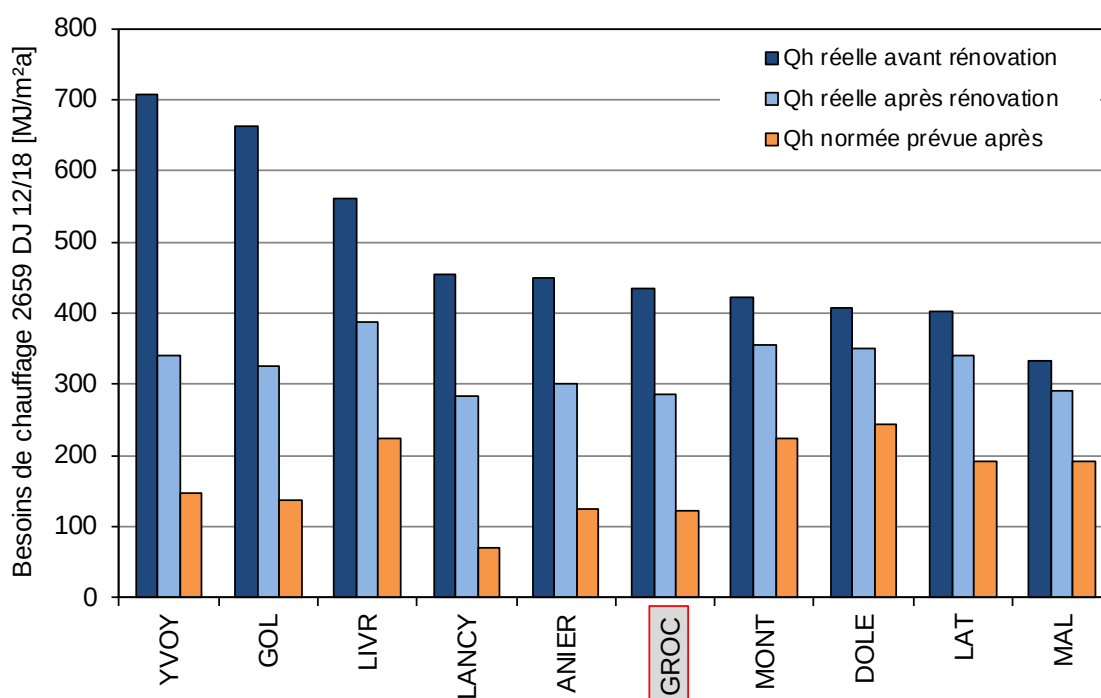
Après rénovation, les demandes réelles de chauffage se situent entre 283 MJ/m²a (LANCY) et 387 MJ/m²a (LIVR), avec une moyenne sur les bâtiments observés de 326 MJ/m²a. Les écarts entre les valeurs réelles et prévues dans le justificatif thermique varient entre 43% et 142%, à l'exception de la rénovation Minergie LANCY qui dépasse de 310% l'objectif fixé. La moyenne des dépassements est de 116% et baisse à 94% si l'on ne considère pas l'opération LANCY. L'opération GROC se situe donc dans la partie supérieure de la fourchette, avec un écart de 135% entre la performance prévue et réelle.

Les écarts relevés sur les bâtiments rénovés semblent être assez proches de ceux observés dans l'étude [46] réalisée sur des bâtiments résidentiels neufs à Genève. Cette étude montre que les consommations réelles de chaleur (chauffage et ECS) étaient situées entre 30% et 120% en dessus des valeurs prévues dans les justificatifs thermiques (la moyenne des dépassements étant égale à 70%).

Plusieurs raisons peuvent expliquer les écarts constatés. Tout d'abord, les conditions d'utilisation des bâtiments sont différentes entre le calcul normé et la réalité. Nous citons à titre d'exemple que la température moyenne mesurée dans les logements est en réalité de 22-23°C contre 20°C dans la norme.

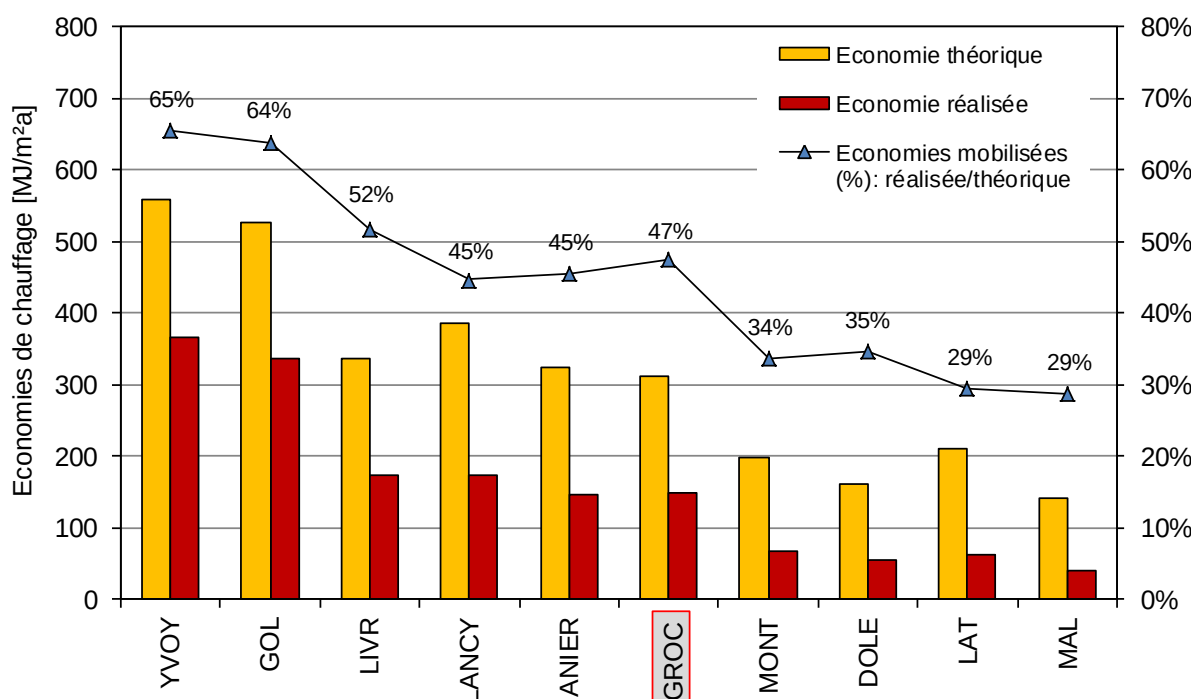
Ensuite, d'autres paramètres sont à considérer comme le comportement de l'occupant, l'influence de l'opérateur dans la simulation, la non-conformité des travaux réalisés avec ceux autorisés, la mauvaise qualité de l'exécution des travaux de rénovation et enfin le niveau de gestion et de suivi des installations techniques.

Figure 4.69. Demandes de chauffage avant et après rénovation exprimées en MJ/m²a



La Figure 4.70 présente les économies de chauffage théoriques et réalisées des opérations de rénovation (voir définitions au point 4.5.3.1). Le tracé sur le graphique indique en pourcentage les économies de chauffage mobilisées (axe secondaire) qui correspondent au rapport entre les économies d'énergie réalisées et les économies théoriques.

Figure 4.70. Economies de chauffage théoriques et réalisées des opérations de rénovation, exprimées en MJ/m²a. Le tracé indique en pourcentage les économies mobilisées (axe secondaire).



Les **économies théoriques** dépendent principalement des besoins réels de chauffage avant rénovation et des besoins de chauffage prévus en conditions normées d'utilisation. La rénovation des bâtiments conformément à la norme SIA 380/1 (justification par performances globales) exige que les besoins prévus de chauffage ne dépassent pas les valeurs limites de chauffage pour la rénovation $Q_{h,li}$. Dans notre cas, ces valeurs varient entre 172 et 198 MJ/m²a (SIA 380/1:2001-2007) et sont indiquées dans les fiches descriptives en Annexe A24.

Cependant, dans la pratique, il est étonnant de constater que la moitié des 10 opérations étudiées, bien qu'elles aient été acceptées sous conditions par les autorités compétentes, ne respectent pas les valeurs-limites pour la rénovation. Le dépassement varie entre 3 et 58 MJ/m²a, avec une moyenne située à 29 MJ/m²a. Le respect des limites fixées par la norme aurait permis de dégager au total, pour ces 5 opérations, des économies de chauffage théoriques supplémentaires de 748 MWh/a (en énergie utile).

En ce qui concerne les **économies de chauffage réalisées**, les rénovations standards YVOY et GOL arrivent en tête de classement avec des économies respectives de 366 et 336 MJ/m²a. Les opérations Minergie LANCY et GROC arrivent respectivement en quatrième et cinquième position avec une baisse des besoins de chauffage de 172 et 148 MJ/m²a. Il est ainsi possible que les économies de chauffage engendrées par une rénovation standard SIA soient plus importantes que celles d'une rénovation Minergie. Cela dépend de la situation de départ. A la fin du classement, on trouve les rénovations « partielles ou ponctuelles » DOLE, LAT et MAL avec des économies réalisées comprises entre 40 et 62 MJ/m²a.

Enfin, les parts mobilisées des économies théoriques de chauffage se situent entre 29% et 65%. La moyenne sur les bâtiments observés est de 44%. Ce pourcentage est de 65% et 64% pour les rénovations standards YVOY et GOL et seulement de 45% et 47% pour les opérations Minergie LANCY et GROC. Il ressort de ces observations que le pourcentage d'économies mobilisées par une rénovation Minergie n'est pas nécessairement plus élevé que celui d'une rénovation standard conforme à la norme SIA 380/1. La relation entre les économies de chauffage théoriques et réalisées sera abordée au point suivant.

4.5.3.3 Relation entre les économies de chauffage théoriques et réalisées

Pour les différentes raisons évoquées précédemment, on observe de manière générale un écart entre les économies de chauffage réalisées et théoriques ; toutefois on n'a pas trouvé dans la littérature passée en revue une relation entre ces deux notions. La Figure 4.71 montre qu'il existe, pour les 10 opérations de rénovation étudiées, une relation entre les économies de chauffage réalisées et théoriques. Cette relation, qui est de bonne qualité ($R^2=0.9897$), peut s'exprimer par une expression du type :

$$EC \text{ réalisée} = 0.0009 \cdot (EC \text{ théorique})^2 + 0.17 \cdot (EC \text{ théorique})$$

(Équation 4.4)

où : EC réalisée = Economie de chauffage réalisée ($\Delta Q_{h \text{ réelle}}$), en MJ/m²a
 = $Q_{h \text{ réelle avant rénovation}} - Q_{h \text{ réelle après rénovation}}$
 EC théorique = Economie de chauffage théorique comprise entre 100 et 600 MJ/m²a
 = $Q_{h \text{ réelle avant rénovation}} - Q_{h \text{ normée prévue après}}$

Cette relation est établie quelle que soit la nature des travaux réalisés et le type de rénovation considéré (rénovation partielle ou complète, conforme aux normes SIA ou visant le standard de haute performance énergétique Minergie).

Figure 4.71. Relation entre les économies de chauffage théoriques et réalisées, exprimées en MJ/m²a (voir définitions au point 4.5.3.1)

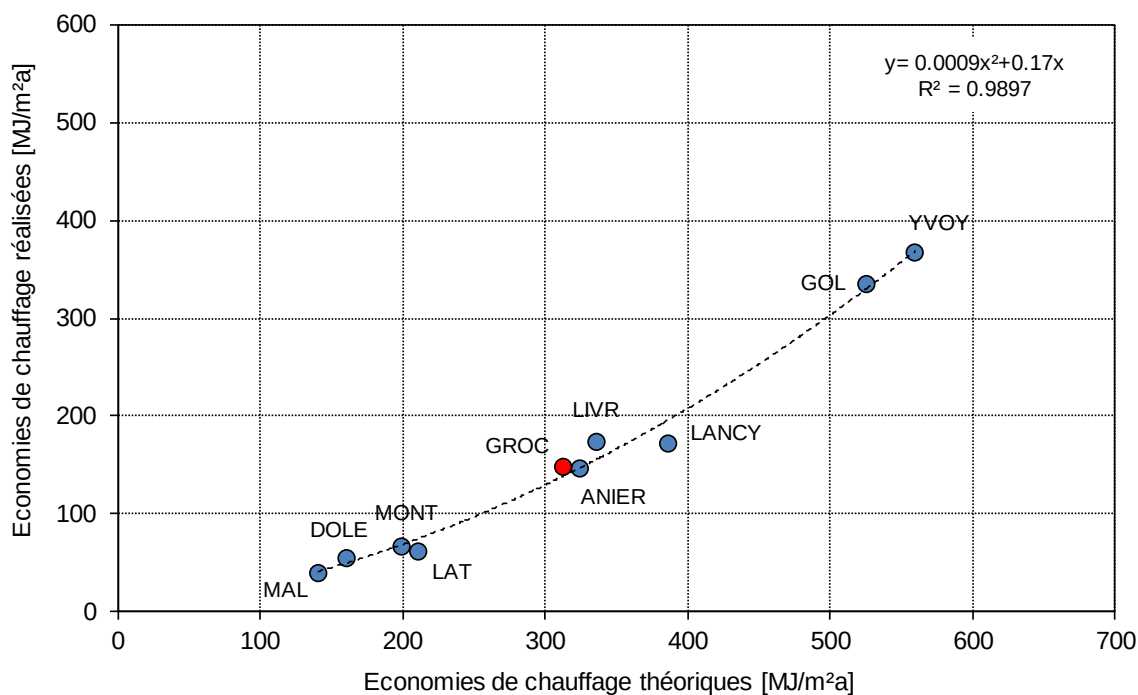
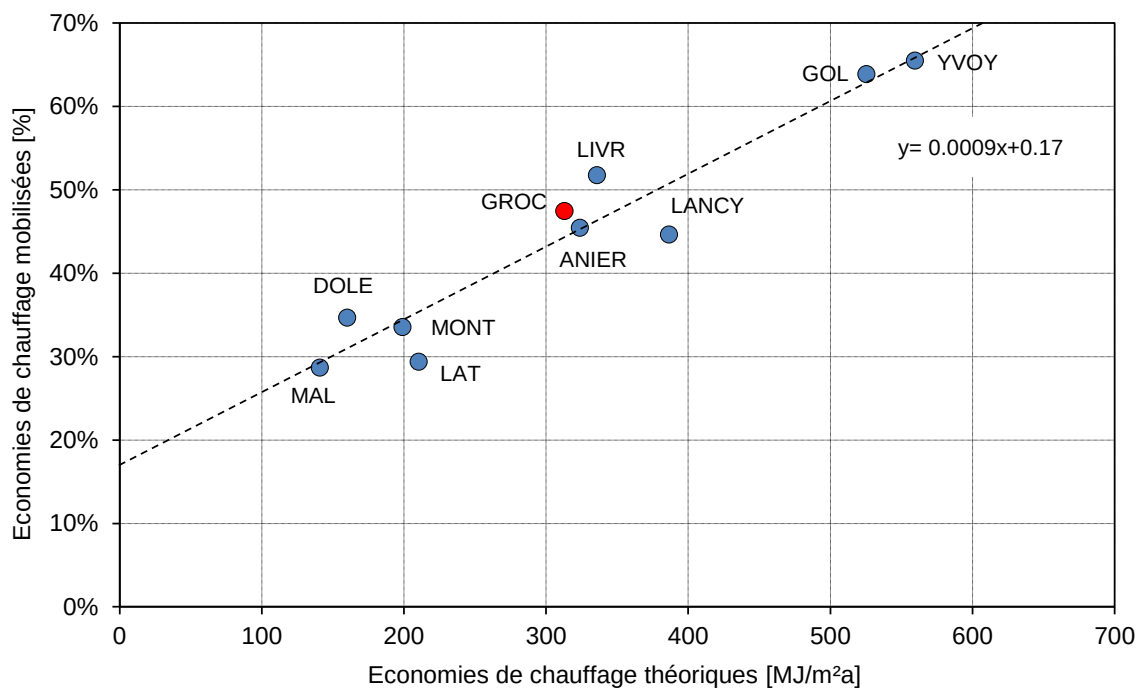


Figure 4.72. Relation entre les parts d'économies de chauffage mobilisées en % et les économies de chauffage théoriques exprimées en MJ/m²a (voir définitions au point 4.5.3.1).



La Figure 4.72 (page précédente) montre les parts d'économies de chauffage mobilisées en pourcentage (axe vertical) en fonction des économies de chauffage théoriques exprimées en MJ/m²a (axe horizontal). On observe la tendance suivante : plus le potentiel théorique d'économie de chauffage est important, plus la part pouvant être mobilisée des économies est importante.

Pour les opérations étudiées, le pourcentage d'économies mobilisées varie entre 29 et 65%, pour des économies théoriques de chauffage comprises entre 141 et 560 MJ/m²a. On remarque ainsi qu'en visant des économies théoriques de l'ordre de 350 MJ/m², on n'en réalise effectivement que 170 MJ/m²a, soit près de la moitié; alors qu'en visant des économies de 550 MJ/m², les économies réalisées s'élèvent à près de 365 MJ/m², soit une part mobilisée d'environ 65%. Cette part baisse à 35% en visant des économies théoriques de l'ordre de 200 MJ/m²a.

Bien qu'il soit difficile d'expliquer avec précision la relation entre les économies théoriques et les économies réalisées, on pourrait se baser sur cette observation assez robuste ($R^2=0.9897$) pour estimer le potentiel réaliste d'une rénovation à partir du potentiel théorique d'économie de chauffage (potentiel réaliste = f(potentiel théorique)).

Cette relation peut être vue comme une signature des pratiques en matière de rénovation thermique des bâtiments existants entre 2005 et 2010 dans le canton de Genève. Elle porte sur l'ensemble du processus de rénovation, depuis l'étape de conception (choix des solutions et usage des logiciels de simulation), jusqu'à l'usage des bâtiments par les occupants et les gestionnaires de l'énergie. Elle pourrait être également utilisée comme un facteur correctif moyen du comportement des usagers et des acteurs impliqués dans la rénovation, permettant de calculer les économies réelles de chauffage d'une opération de rénovation à partir des économies théoriques.

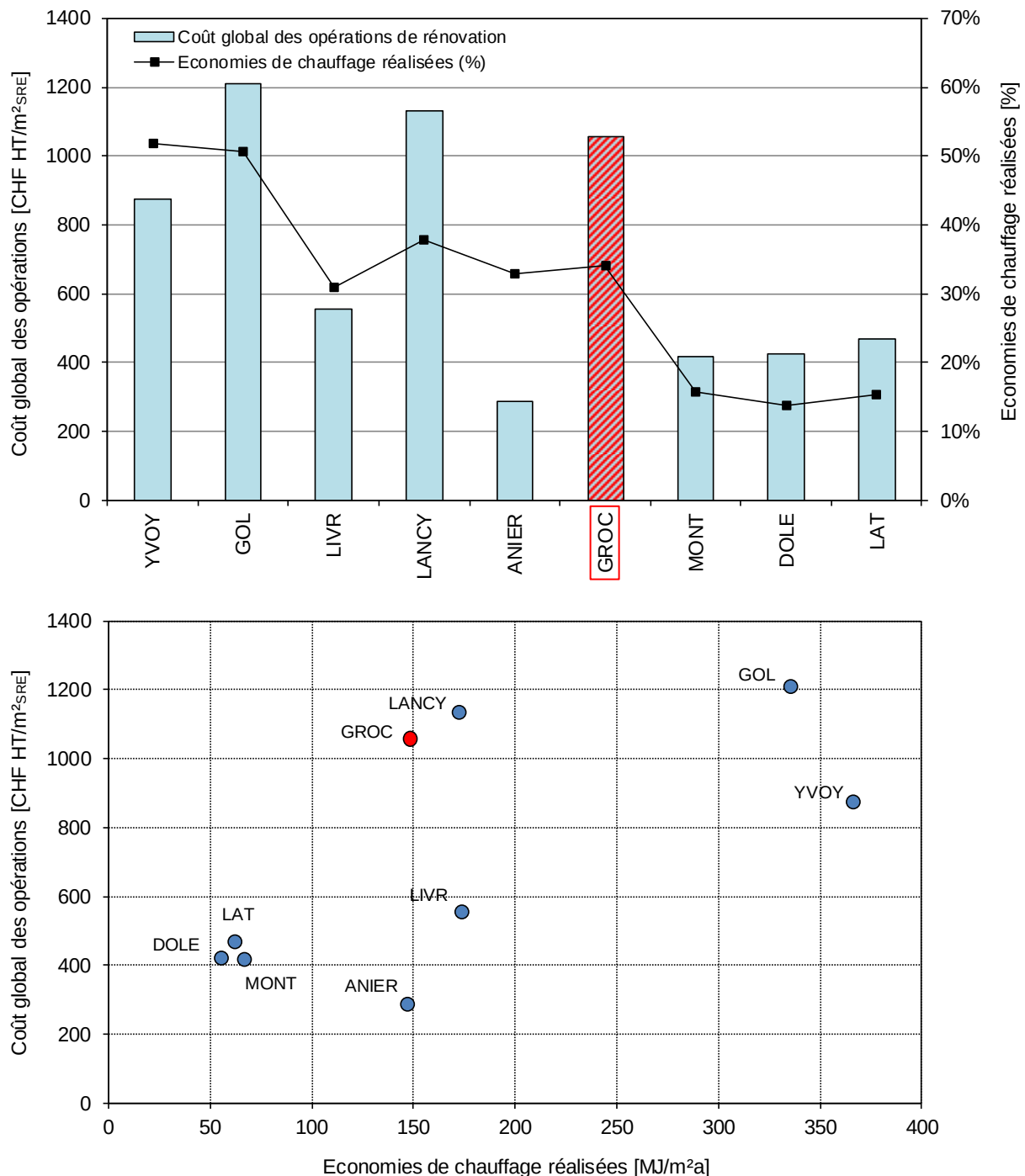
Enfin, ce travail mérite d'être repris et renforcé avec d'autres opérations de rénovation réalisées d'abord durant la même période à Genève, voire en Suisse. Il serait intéressant de reprendre ensuite ce travail avec des opérations de rénovation réalisées après l'entrée en vigueur de la nouvelle loi cantonale sur l'énergie (par exemple : période 2011-2015), afin de suivre l'évolution des pratiques à Genève.

4.5.4 Performances économiques

4.5.4.1 Coût global des opérations

Le graphique du haut de la Figure 4.73 présente le coût global (y compris travaux non énergétiques) des opérations de rénovation exprimé en francs hors taxes par mètre carré de plancher chauffé. Le tracé sur le graphique indique en pourcentage les économies de chauffage effectivement réalisées (axe secondaire), ce qui correspond à la baisse réelle de la demande de chauffage engendrée par les opérations. Le graphique du bas montre le coût global des opérations en fonction des économies de chauffage exprimées en MJ/m²a.

Figure 4.73. Coût global des opérations de rénovation et économies de chauffage réalisées



Il convient de préciser que le coût global des opérations englobe les coûts des travaux d'amélioration énergétique, d'entretien normal, de remises aux normes et d'augmentation de la valeur des bâtiments (honoraires inclus). Ces coûts ont été relevés des décomptes finaux des ouvrages qui se trouvaient dans les dossiers de demande d'autorisation. Il n'a pas été possible d'inclure l'opération (MAL) dans l'analyse car ni le coût des travaux, ni leur répercussion sur les loyers ne figurait dans le dossier consulté.

La ventilation des coûts entre investissement pour les économies d'énergie et autres est sujette à de vastes interprétations. En pratique, il est difficile de déterminer sur la base des données à disposition la part des investissements consacrés seulement aux économies d'énergie. Nous avons donc retenu pour cette analyse le coût global des opérations.

Les coûts des opérations ramenés au mètre carré de surface énergétique sont très disparates. Ils varient entre 288 et 1'210 CHF HT/m²_{SRE}. **La moyenne des coûts globaux des opérations visant au moins une rénovation complète ou quasi-complète de l'enveloppe (type C 3/3) est de 875 CHF HT/m²_{SRE}.** C'est le cas notamment de toutes les opérations à l'exception d'ANIER, DOLE et LAT. On rappelle que le type de rénovation et la nature des travaux réalisés sont indiqués sur les fiches descriptives à l'Annexe A24.

Les résultats montrent également qu'il n'existe pas de relation évidente entre le coût global des travaux et les économies réalisées de chauffage. On observe sur le graphique du bas de la Figure 4.73 que le coût des opérations LIVR, ANIER, LANCY et GROC varie entre 288 et 1'133 CHF HT/m²_{SRE}, pour des économies annuelles de chauffage relativement proches entre 150 et 175 MJ/m²_{SRE} (baisse de l'ordre de 30-40%). **Les coûts globaux des opérations LANCY et GROC, visant tous les deux le standard Minergie pour la rénovation, sont respectivement de 1'133 et 1'058 CHF HT/m²_{SRE}.** Ils se situent dans la partie haute de la fourchette des coûts, tout juste après l'opération GOL.

Si l'on compare la nature des travaux réalisés dans les trois opérations GOL, LANCY et GROC, on constate que ces bâtiments ont subi une rénovation complète de l'enveloppe et des installations techniques; mais il se trouve que des travaux supplémentaires d'entretien et de remises aux normes ont été réalisés à l'intérieur des appartements à GOL et à LANCY (travaux de peintures et de remplacement des installations sanitaires et électriques).

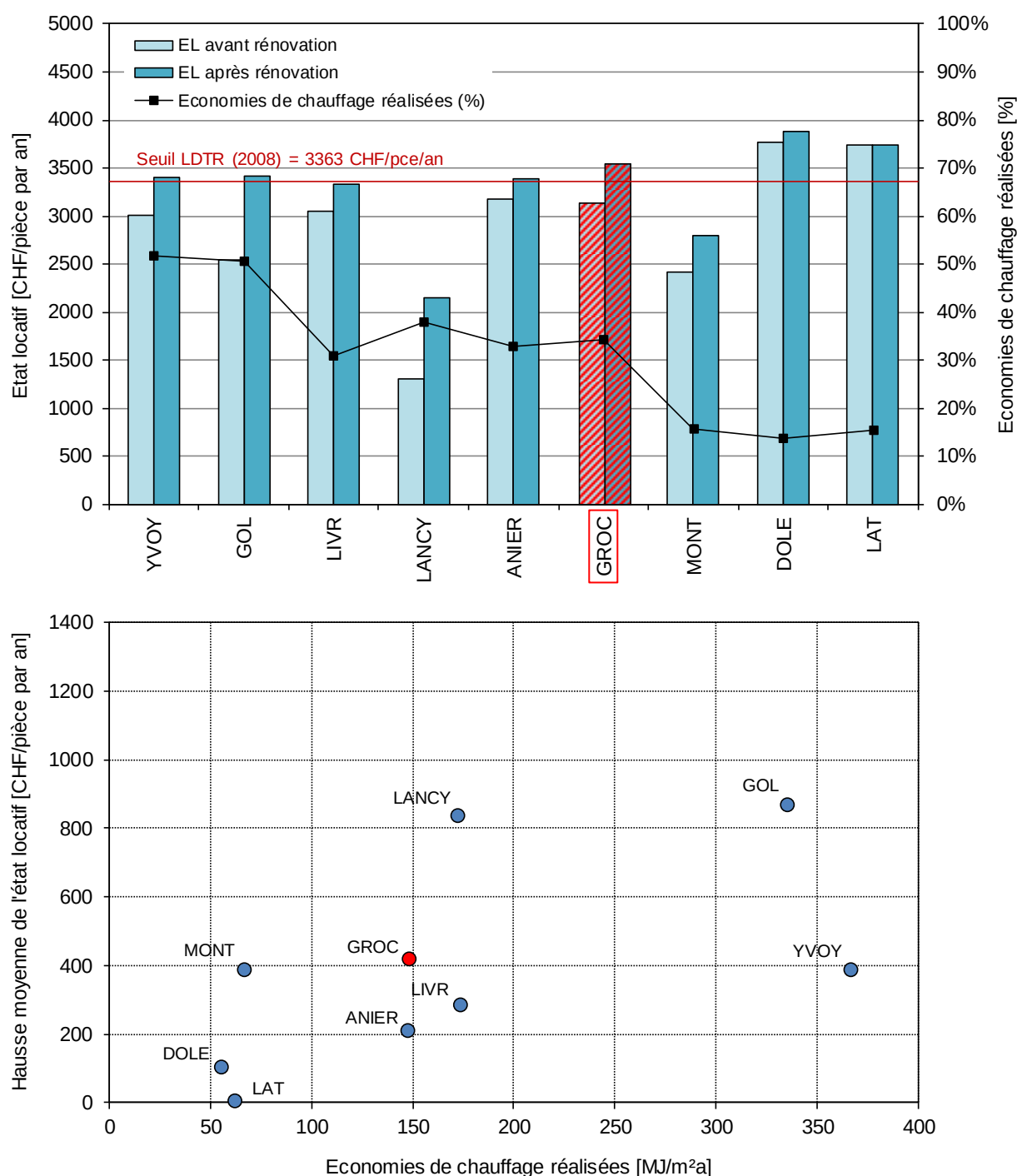
Une analyse plus complète sur un nombre plus important d'opérations sera effectuée dans le cadre du projet de recherche COMPARE-RENOVE [31] en vue d'affiner les conclusions tirées.

4.5.4.2 Incidence sur les loyers

Le graphique du haut de la Figure 4.74 présente l'état locatif net des bâtiments avant et après rénovation exprimé en francs par pièce et par an. Le tracé sur le graphique indique en pourcentage les économies de chauffage engendrées par les opérations de rénovation (axe secondaire). Le graphique du bas montre la hausse moyenne des états locatifs en CHF par pièce et par an en fonction des économies annuelles de chauffage réalisées en MJ/m²a.

Les données sur les états locatifs sont issues des notes techniques annexées au préavis du service juridique LDTR, qui constitue un prérequis obligatoire pour l'obtention de l'autorisation de rénover.

Figure 4.74. Augmentation des loyers après rénovation et économies de chauffage réalisées



Avant travaux, les états locatifs étaient compris entre 2'412 et 3'774 CHF/pce/an, si l'on ne considère pas les bâtiments de l'opération LANCY dont les logements sont subventionnés (cf. graphique du haut de la Figure 4.74). L'état locatif du bâtiment Gros-Chêne (GROC) avant rénovation s'élevait à 3'136 CHF par pièce et par an, ce qui est très proche de la moyenne observée sur cet échantillon (3'105 CHF/pce/an avant travaux). Ce dernier se situe légèrement en dessous du seuil LDTR⁴⁹ de 3'363 CHF/pce/an qui correspondait au loyer de référence à Genève. Depuis 2011, ce seuil est passé à 3'405 CHF par pièce et par an.

⁴⁹ Loi sur les démolitions, transformations et rénovations de maisons d'habitation (LDTR)

Il convient de noter que l'incidence du coût des opérations de rénovation sur les loyers était fondée sur l'ancienne LDTR (avant le 5.8.2010), qui ne permettait pas de reporter le coût des travaux sur les loyers lorsque ces derniers dépassaient déjà le plafond LDTR avant rénovation.

Paradoxalement, on remarque qu'un état locatif élevé avant travaux (pratique de rotation des locataires exercée dans le milieu immobilier en vue d'obtenir un rendement locatif élevé) recèle un potentiel faible de hausse de l'état locatif à cause du plafond LDTR, ce qui ne permet pas de financer des travaux de rénovation énergétique lourde, rendant très difficile la rentabilité des travaux.

C'est probablement la raison pour laquelle les opérations DOLE et LAT, dont les états locatifs moyens étaient déjà élevés avant travaux, n'ont porté que sur des actions isolées sur l'enveloppe. Leurs états locatifs n'ont augmenté respectivement que de 2.7% et de 0.1% après rénovation. Le « potentiel locatif », qui n'est autre que le potentiel d'augmentation des loyers ou la contribution des locataires au financement des travaux, est trop faible dans ce cas. Il est dès lors important de connaître le potentiel locatif des bâtiments à rénover afin de pouvoir proposer une stratégie viable de rénovation.

La hausse moyenne de l'état locatif induite par les opérations se définit comme le rapport entre l'augmentation totale appliquée sur les loyers et le nombre de pièces comprises dans les bâtiments rénovés. Les valeurs oscillent entre 4 et 870 CHF/pce/an selon les opérations et dépendent essentiellement du niveau des loyers avant travaux, du plafond admis et du coût des travaux à répercuter. La moyenne est de 334 CHF par pièce et par an (ou 390 CHF/pce/an en considérant l'opération LANCY).

La moyenne des états locatifs observés après travaux atteint 3'438 CHF/pce/an (sans considérer l'opération LANCY) et dépasse ainsi le seuil fixé par la LDTR. Pour la rénovation Minergie de Gros-Chêne, un déplafonnement du seuil LDTR a été admis permettant d'augmenter l'état locatif après travaux à 3'554 CHF/pce/an. Au cas où ces bâtiments devraient subir une deuxième rénovation dans les prochaines années, la rentabilité des travaux est rendue difficile à cause du faible potentiel d'augmentation des loyers.

Enfin, le graphique du bas de la Figure 4.74 ne permet pas d'établir une relation évidente entre la hausse moyenne appliquée sur les loyers et les économies de chauffage engendrées par ces opérations. On peut citer à titre d'exemple que pour une augmentation similaire des loyers, les économies de chauffage induites par l'opération YVOY sont 2.5 fois plus élevées que celles de l'opération GROC. Outre les raisons déjà évoquées plus haut (niveaux des loyers avant travaux, plafond LDTR, coût des travaux à répercuter), ceci peut s'expliquer par le fait que les travaux qui peuvent être reportés sur les loyers n'englobent pas seulement les travaux énergétiques, mais incluent également des travaux créant des plus-values non énergétiques.

4.5.5 Conclusions de l'analyse comparative

L'analyse comparative de la rénovation du bâtiment Gros-Chêne (GROC) avec neuf autres opérations de rénovation réalisées durant la même période à Genève a permis de ressortir les conclusions suivantes.

Les besoins réels de chauffage des bâtiments rénovés Minergie GROC et LANCY ont été inférieurs à ceux des rénovations standards conformes à la norme SIA 380/1 (justification par performance globale). Ceci met en évidence l'effet attracteur du label Minergie et son rôle prépondérant dans la politique énergétique des bâtiments.

Néanmoins, si l'on regarde les économies de chauffage réalisées et les pourcentages d'économies mobilisées (économies réalisées/théoriques), on remarque que les rénovations Minergie n'arrivent qu'en quatrième et cinquième position après les rénovations standards. Les économies mobilisées par les opérations Minergie ne constituent en fait que près de la moitié des économies théoriques de chauffage (47% pour GROC et 45% pour LANCY). Ces résultats sont très proches de la moyenne observée sur l'échantillon (44%).

On constate aussi que les besoins réels en chauffage des bâtiments rénovés sont systématiquement supérieurs à ceux prévus par calcul dans le justificatif thermique. Les dépassements varient entre 43% et 142%, à l'exception de la rénovation Minergie LANCY qui dépasse de 310% l'objectif fixé. L'opération GROC se situe dans la partie supérieure de la fourchette, avec un écart de 135% entre les performances prévue et réelle.

Il ressort de l'analyse des justificatifs thermiques que la moitié des opérations étudiées ne respectait pas les valeurs limites de chauffage $Q_{h,li}$ pour la rénovation (dépassements constatés entre 3 et 58 MJ/m²a). Le respect des valeurs limites fixées par la norme aura induit de plus grandes économies théoriques de chauffage.

L'analyse des opérations étudiées montre aussi qu'il existe une relation statistiquement assez robuste ($R^2=0.9897$) entre les économies de chauffage théoriques et réalisées. Elle peut s'exprimer par une expression du type :

$$EC \text{ réalisée} = 0.0009*(EC \text{ théorique})^2 + 0.17*(EC \text{ théorique})$$

(Équation 4.4)

où : EC réalisée = Economie de chauffage réalisée ($\Delta Q_{h \text{ réelle}}$), en MJ/m²a
= Q_h réelle avant rénovation – Q_h réelle après rénovation
EC théorique = Economie de chauffage théorique comprise entre 100 et 600 MJ/m²a
= Q_h réelle avant rénovation – Q_h normée prévue après

A condition d'être corroborée par des exemples supplémentaires, cette relation pourrait être utilisée pour estimer le potentiel réaliste d'une rénovation à partir du potentiel théorique d'économie de chauffage. Elle peut aussi être vue comme une signature des pratiques de rénovation à une période donnée dans le canton de Genève. Elle porte sur l'ensemble du processus de rénovation, depuis l'étape de conception (choix des solutions et usage des logiciels de simulation), jusqu'à l'usage des bâtiments par les occupants et les gestionnaires de l'énergie. On a pu également constater une relation linéaire croissante entre le potentiel théorique et l'économie mobilisée de chauffage.

Les coûts globaux (travaux d'entretien et à plus-values) des opérations de rénovation étudiées sont très disparates et varient entre 288 et 1'210 CHF HT/m²_{SRE}. Les deux rénovations Minergie (LANCY et GROC) se situent dans la fourchette haute des coûts observés, avec un coût global de l'ordre de 1'100 CHF HT/m²_{SRE}.

La moyenne des coûts des opérations visant au moins une rénovation complète ou quasi-complète de l'enveloppe (type C 3/3) est de 875 CHF HT/m²_{SRE}. A priori, il n'existe aucune relation évidente entre le coût global des rénovations et les économies réalisées de chauffage.

Enfin, l'état locatif net du bâtiment GROC avant rénovation est très proche de la moyenne observée sur l'échantillon considéré (3'136 contre 3'105 CHF/pce/an). Les opérations dont les loyers moyens étaient déjà élevés avant travaux n'ont porté que sur des actions isolées sur l'enveloppe. Il est dès lors important de connaître le potentiel locatif (ou potentiel d'augmentation des loyers) des bâtiments à rénover afin de pouvoir proposer des stratégies viables de rénovation. Par contre, aucune relation évidente n'a pu être établie entre la hausse moyenne appliquée sur les loyers et les économies de chauffage engendrées par ces opérations.

Chapitre 5 - Potentiels d'économie d'énergie de chauffage des immeubles d'habitation : enjeux et propositions

5.1 Introduction

La transformation du secteur résidentiel est indispensable pour atteindre à long terme les objectifs de la société à 2000 watts sans nucléaire. Cette transformation nécessite une action immédiate de tous les acteurs impliqués dans le processus de rénovation, de l'audit jusqu'à l'usage de l'énergie.

Ce chapitre évalue d'abord le potentiel théorique d'économie d'énergie de chauffage du secteur résidentiel collectif à Genève. Pour exploiter pleinement ce potentiel, il convient de lever un certain nombre de contraintes, qui sont notamment d'ordre technique, d'usage, de conservation du patrimoine, d'ordre économique et financier ou encore organisationnel et de gouvernance. A cet égard, nous faisons le point sur les principaux enjeux liés à ces aspects et proposons quelques recommandations spécifiques pour y faire face.

5.2 Evaluation du potentiel théorique d'économie d'énergie de chauffage en 2010

5.2.1 Potentiel théorique du secteur résidentiel collectif

Le potentiel théorique d'économie d'énergie de chauffage du secteur résidentiel collectif genevois est défini comme la différence entre les besoins réels de chauffage Q_h des immeubles d'habitation en 2010 et la valeur limite des besoins de chauffage $Q_{h,li}$ autorisée lors de travaux de rénovation. On note que ce potentiel est inférieur au potentiel théorique défini au point 4.5.3.1 et calculé en utilisant Q_h prévue (valeur prévue par les énergéticiens lors de la conception et qui est habituellement inférieure à la valeur limite $Q_{h,li}$ retenue ici).

La valeur limite dépend essentiellement, comme nous l'avons déjà vu au point 2.4.3.2 du chapitre 2, du facteur d'enveloppe A_{th}/A_E du bâtiment, de l'objectif visé (norme SIA ou standard Minergie-P) et de l'édition choisie (référence 2007 ou 2009) pour le calcul des besoins de chaleur.

Le Tableau 5.1 donne les potentiels calculés en fonction :

- des facteurs d'enveloppe moyens : 0.70 (valeur arrondie, issue du benchmark effectué sur un ensemble d'immeubles résidentiels d'après-guerre, cf. Tableau 2.6) et 1.30 (valeur préconisée par la norme SIA 380/1 pour la catégorie habitat collectif) ;
- des exigences énergétiques de la norme SIA 380/1, éditions 2007 et 2009, et du standard Minergie-P:2009 pour la rénovation (exigences primaires).

Tableau 5.1. Potentiels théoriques d'économie d'énergie de chauffage du secteur résidentiel collectif genevois calculés en utilisant deux facteurs d'enveloppe A_{th}/A_E et différents niveaux d'exigences énergétiques (potentiel défini comme la différence entre les besoins réels de chauffage $Q_{h,li}$ des immeubles d'habitation en 2010 et la valeur limite autorisée pour la rénovation $Q_{h,li}$)

Référence rénovation	Potentiels d'économie d'énergie de chauffage avec $A_{th}/A_E=0.70$			Potentiels d'économie d'énergie de chauffage avec $A_{th}/A_E=1.30$		
	SIA 380/1 $Q_{h,li}:2007$	SIA 380/1 $Q_{h,li}:2009$	Minergie-P EP ¹ : 2009	SIA 380/1 $Q_{h,li}:2007$	SIA 380/1 $Q_{h,li}:2009$	Minergie-P EP ¹ : 2009
Epoqconst.	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]
avant 1919	152	226	261	87	188	237
1919 - 1945	88	128	146	54	108	133
1946 - 1960	131	187	214	82	159	196
1961 - 1970	196	281	322	121	238	294
1971 - 1980	145	209	239	89	176	218
1981 - 1990	61	97	113	30	79	102
1991 - 2000	52	90	108	18	70	95
2001 - 2010	24	55	70	-	39	60
Total	849	1'273	1'472	482	1'057	1'334
avant 1946	240	354	407	141	296	370
1946-1980	471	677	774	292	573	707
1981-2010	137	241	291	46	188	257

¹ EP : Exigence primaire imposée à l'enveloppe du bâtiment pour le respect du standard Minergie-P: rénovation

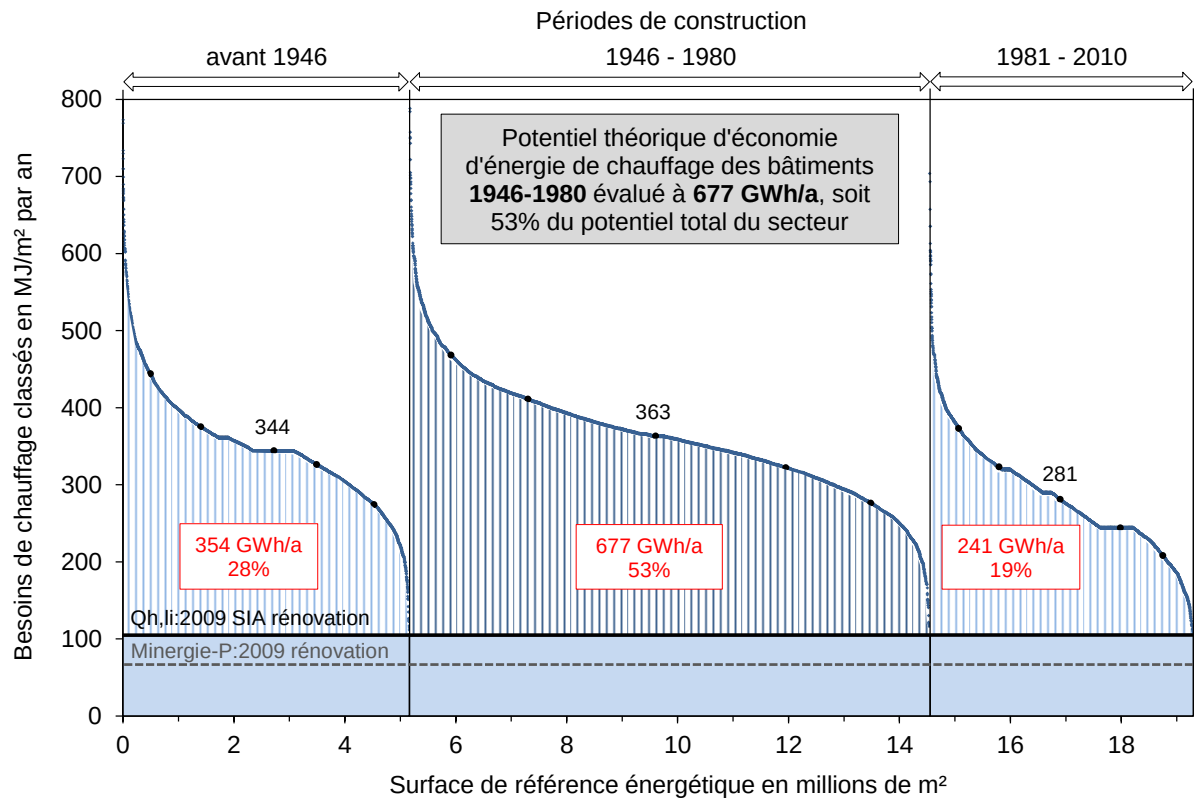
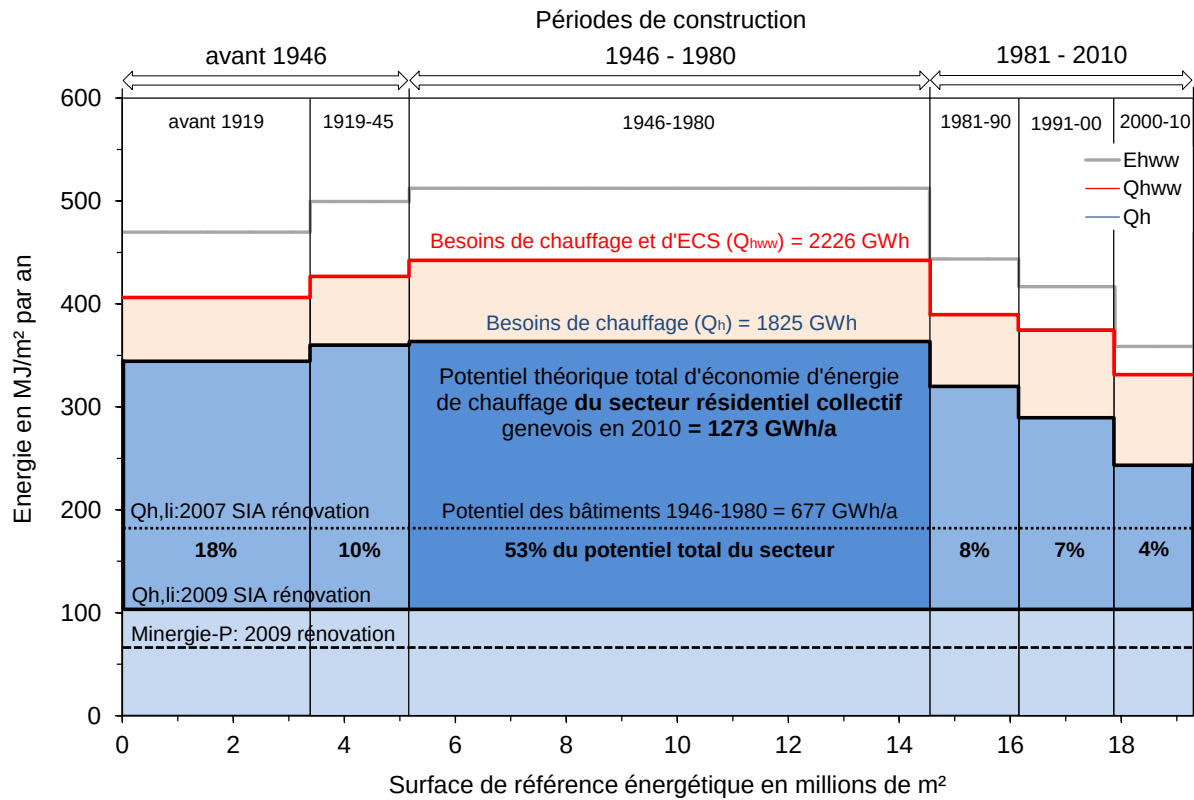
On remarque que les potentiels théoriques calculés peuvent varier fortement en fonction des hypothèses retenues. Le potentiel du secteur atteint par exemple 482 GWh/a en considérant un facteur d'enveloppe moyen de 1.30 et les exigences de la norme SIA 380/1:2007, alors qu'il est trois fois plus élevé (1472 GWh/a) si l'on considère un facteur de 0.70 et les exigences primaires de Minergie-P:2009 pour la rénovation.

Etant donné que l'étude se concentre sur les bâtiments d'après-guerre qui arrivent aujourd'hui en période de rénovation, nous avons choisi de déterminer le potentiel d'économie d'énergie en utilisant un facteur d'enveloppe moyen de 0.70 et les exigences énergétiques actuellement en vigueur de la norme SIA 380/1 (édition 2009). Dans ces conditions, les besoins de chauffage des immeubles résidentiels à rénover ne doivent pas dépasser à Genève la limite requise de 104 MJ/m²a. **Le potentiel théorique total du secteur en 2010 est estimé à 1273 GWh par an** et se répartit comme suit :

- plus de la moitié (53%, 677 GWh/a) se situe dans les bâtiments 1946-1980 ;
- 28% (354 GWh/a) dans les bâtiments anciens datant d'avant 1946 ;
- et le reste (19%, 241 GWh/a) dans les bâtiments construits après l'introduction des premières réglementations thermiques.

Les résultats sont représentés sur les deux graphiques de la Figure 5.1 ci-après.

Figure 5.1. Potentiels théoriques d'économie d'énergie de chauffage du secteur résidentiel collectif genevois en 2010, selon l'époque de construction des bâtiments (hypothèses : $A_{th}/A_E=0.70$, SIA 380/1:2009 pour la rénovation). Le graphique du haut présente les besoins moyens de chauffage en fonction de la SRE, tandis que le graphique du bas présente les besoins classés de chauffage.



Il convient de préciser que le potentiel « théorique » retenu dans cette partie représente un potentiel global d'économie d'énergie évalué en 2010. D'autres études [2, 81] proposent de déterminer ce potentiel à moyen terme (à l'horizon 2030, voire 2050), en considérant la différence entre les besoins d'énergie dans un scénario de référence (*base line ou business as usual energy efficiency level*) et les besoins dans un scénario fondé sur une politique énergétique orientée vers une amélioration accrue de l'efficacité énergétique dans les bâtiments.

Cette approche nécessite notamment de définir une ou plusieurs évolutions des surfaces énergétiques du parc de bâtiments (surfaces construites, démolies, transformées et rénovées selon l'époque de construction) et de leurs caractéristiques énergétiques (besoins annuels, etc.), en tenant compte de nombreux facteurs tels que l'évolution démographique, l'évolution du taux et de la qualité de rénovation énergétique du parc, l'évolution des pratiques, etc.

Il existe ensuite plusieurs notions de potentiels d'économie d'énergie qui peuvent varier selon le niveau d'efficacité énergétique requis et les aspects considérés (technique, économique et sociale). Jaffe et Stavins [82] proposent par exemple cinq potentiels différents et expliquent les raisons du déficit d'efficacité énergétique (« *energy efficiency gap* ») entre les niveaux et le scénario de référence. Par analogie, Jérôme Faessler [83] définit pour les ressources renouvelables trois types de gisements, à savoir les gisements bruts, accessibles et mobilisables. Cette démarche, longue et complexe, n'a pas été retenue ici, mais mériterait de faire l'objet d'une étude séparée.

5.2.2 Potentiel théorique des bâtiments d'après-guerre (1946-1980)

Le potentiel d'économie d'énergie de chauffage des bâtiments construits entre 1946 et 1980 est estimé à 677 GWh par an et représente plus de la moitié (53%) du potentiel total du secteur résidentiel collectif genevois (cf. Figure 5.1). Cependant, la mobilisation de ce potentiel ne peut se faire que sur une période relativement longue, en raison notamment de la taille importante du parc à rénover (5'240 allées, près de 100'000 logements et une SRE de 9.37 millions de m²) et des ressources financières et humaines limitées.

L'analyse de la dynamique des rénovations énergétiques dans le chapitre 3 a montré que le nombre annuel d'immeubles d'habitation construits entre 1946 et 1980 et soumis à autorisation de rénovation « énergie » a augmenté en moyenne d'un facteur 5.3 entre la période 2004-2010 et la période 2011-2012. Cette augmentation est due essentiellement à l'arrivée après 2010 de la vague de rénovation des grands ensembles résidentiels d'après-guerre. La rénovation énergétique de ces logements constitue donc un enjeu majeur de la politique énergétique au niveau cantonal, voire national, et une opportunité à saisir.

Pour exploiter pleinement le potentiel identifié (677 GWh/a), le besoin moyen⁵⁰ de chauffage de ces bâtiments (364 MJ/m² en 2010) doit diminuer d'un facteur 3.5 pour atteindre la valeur limite de 104 MJ/m²a (SIA rénovation:2009). La Figure 5.1 (graphique du bas) montre que les objectifs de réduction varient fortement d'un bâtiment à l'autre et dépendent bien entendu de la situation initiale. Par exemple, un bâtiment dont la demande de

⁵⁰ Le besoin médian de chauffage des bâtiments construits entre 1946 et 1980 est indiqué sur le graphique du bas de la Figure 5.1 ($Q_{h\text{moy}} = 363 \text{ MJ/m}^2\text{a}$). Cette valeur est très proche de la valeur moyenne de 364 MJ/m²a indiquée dans le texte.

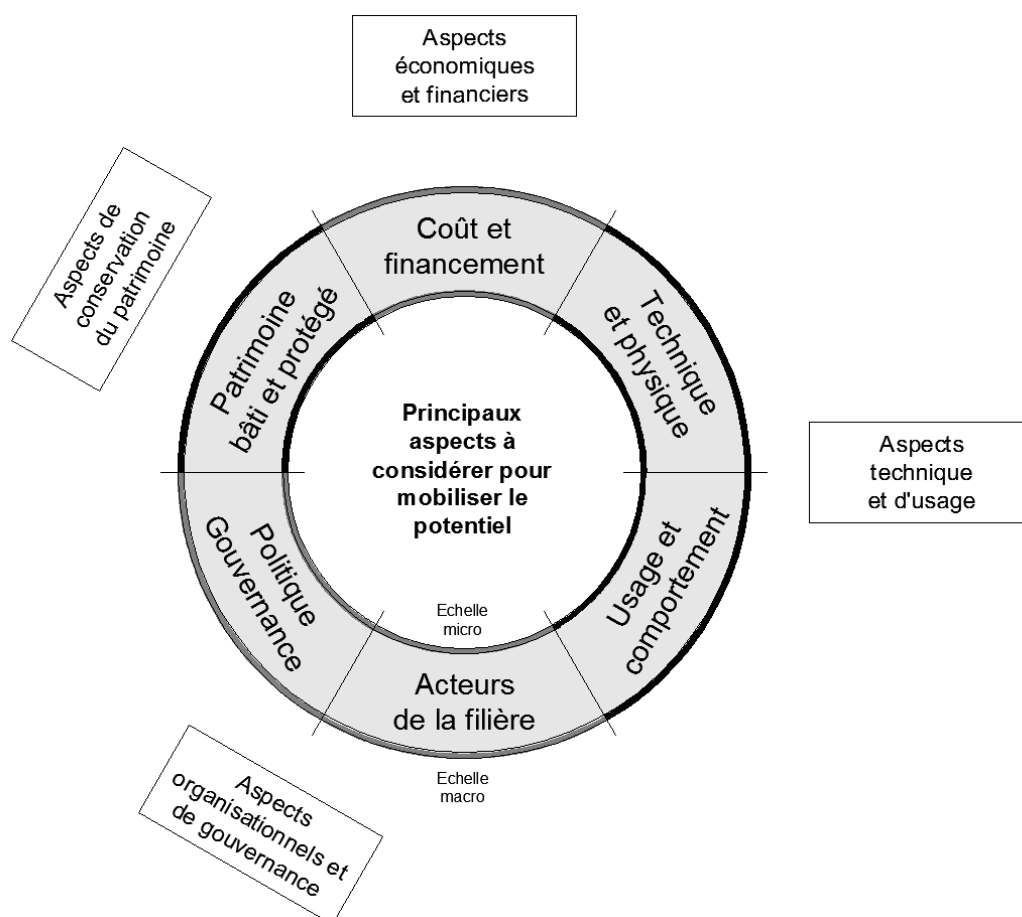
chauffage est de 468 MJ/m^2 (valeur correspondant au 90^e centile) nécessite de réduire ses besoins d'un facteur 4.5, alors que ce facteur n'atteint que 2.7 pour un bâtiment dont la demande de chauffage est de 276 MJ/m^2 (valeur correspondant au 10^e centile).

Si l'on voulait viser le standard Minergie-P:2009 pour la rénovation, le besoin moyen de chauffage devrait être divisé par 5.5 pour atteindre la valeur limite de $66 \text{ MJ/m}^2\text{a}$. Cette valeur est assez proche de la valeur cible à atteindre pour la société à 2000 watts.

La partie suivante aborde les grands enjeux et défis liés à la mobilisation du potentiel d'économie d'énergie de chauffage des bâtiments résidentiels collectifs, en particulier ceux construits entre 1946 et 1980 à Genève, et propose une série de pistes pour y faire face. La Figure 5.2 ci-dessous illustre les principaux aspects considérés dans ce chapitre, à savoir :

- les aspects techniques et d'usage (point 5.3.1) ;
- les aspects de conservation du patrimoine (point 5.3.2) ;
- les aspects économiques et financiers (point 5.3.3) ;
- les aspects organisationnels et de gouvernance (point 5.3.4).

Figure 5.2. Principaux aspects à considérer pour une meilleure mobilisation du potentiel d'économie d'énergie dans les bâtiments



5.3 Enjeux et propositions pour une meilleure mobilisation du potentiel

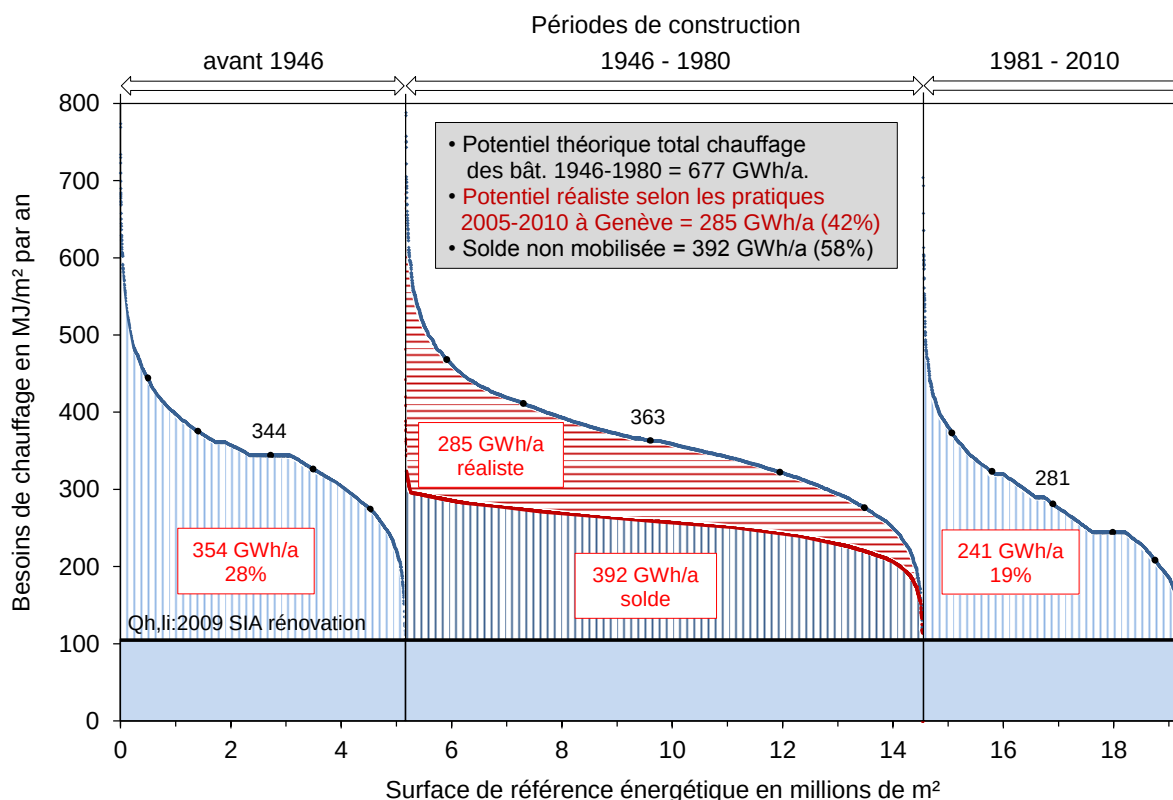
5.3.1 Aspects techniques et d'usage

a) Situation et enjeux

Pour différentes raisons évoquées dans le chapitre précédent, les bâtiments rénovés énergétiquement montrent souvent des écarts entre les performances attendues et les performances réelles. L'analyse comparative des performances de 10 opérations de rénovation (50 immeubles) a montré que plus les économies théoriques de chauffage sont importantes, plus la part mobilisée de ces économies est élevée (cf. 4.5.3.3, Équation 4.4). Cette relation peut être vue comme une signature des pratiques en matière de rénovation thermique des immeubles d'habitation durant la période 2005-2010 dans le canton de Genève. Elle porte sur l'ensemble du processus de rénovation, depuis l'étape de conception (choix des solutions et utilisation des logiciels de simulation), jusqu'à l'usage des bâtiments par les occupants et les exploitants (gestionnaires de l'énergie).

Si l'on généralise les pratiques observées durant la période 2005-2010 sur l'ensemble des bâtiments construits entre 1946 et 1980 et destinés à être rénovés au cours des prochaines années, on observe sur la Figure 5.3 que le potentiel réaliste d'économie d'énergie engendrée par les mesures d'assainissement n'atteindra même pas la moitié (42%) du potentiel théorique total évalué, soit 285 GWh/a au lieu de 677 GWh/a.

Figure 5.3. Potentiels théorique et réaliste d'économie d'énergie de chauffage des bâtiments résidentiels collectifs construits entre 1946 et 1980 à Genève. Le potentiel réaliste est évalué en utilisant l'équation 4.4 (se référer au point 4.5.3.3).



Cela veut dire qu'en levant tous les obstacles à la rénovation et en mettant à disposition toutes les ressources supplémentaires nécessaires pour exploiter le potentiel théorique des bâtiments d'après-guerre (677 GWh/a), près de 3/5 de ce potentiel restera non mobilisé si on n'améliore pas les pratiques actuelles de rénovation et d'utilisation des bâtiments. On constate également qu'à un potentiel théorique d'économie d'énergie faible correspond une économie mobilisée plus petite. Il faut donc s'attendre à ce que les économies d'énergie mobilisées lors de futures rénovations de bâtiments plus performants énergétiquement soient de plus en plus faibles, si les pratiques n'évoluent pas.

L'enjeu principal consiste donc non seulement à réduire les besoins d'énergie en chauffage des bâtiments pour satisfaire à des exigences énergétiques de plus en plus strictes, mais aussi à réduire l'écart entre performances énergétiques prévues par calcul et performances réelles.

Ces constats alarmants appellent plusieurs questions :

- Faut-il continuer à rendre les exigences énergétiques plus strictes ou faut-il mettre en œuvre un ensemble de moyens permettant d'améliorer les pratiques actuelles de rénovation et d'utilisation des bâtiments ?
- Comment améliorer la connaissance de ces pratiques afin de suivre leur évolution ?
- Quel est le poids du comportement de l'occupant dans la consommation énergétique des bâtiments ? Comment le caractériser et éventuellement le modifier ?

Nous tenterons de fournir quelques éléments de réponse à ces questions à travers les propositions ci-dessous.

b) Propositions

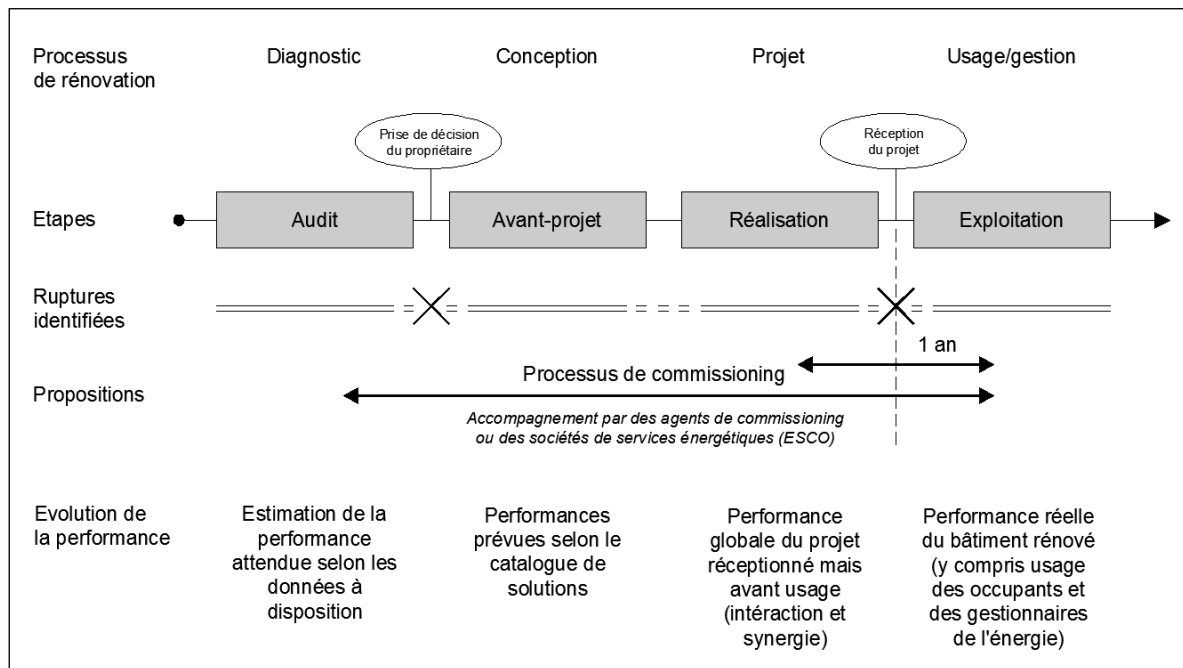
P-01 ► Réduire la dégradation de la performance énergétique et éviter les ruptures dans la chaîne des responsabilités tout au long du processus de rénovation, de l'audit jusqu'à l'usage

On constate de manière générale que la performance énergétique se dégrade tout au long du processus de rénovation, de l'audit jusqu'à la phase d'exploitation. En fait, les économies d'énergie annoncées dans les audits sont généralement supérieures à celles des avant-projets, qui sont aussi supérieures aux économies réelles mesurées après travaux. Sachant qu'il y aura toujours un écart entre les performances prévues et réelles, il est important de bien cerner ces écarts et de mieux connaître les usages liés à l'énergie dans les bâtiments résidentiels, afin de les considérer dans les prévisions de consommation et plus globalement dans les objectifs de la politique énergétique cantonale.

Les acteurs qui interviennent durant le processus de rénovation sont nombreux, mais aucun d'entre eux ne s'engage sur les performances énergétiques annoncées. **La responsabilité est aujourd'hui fragmentée et peu coordonnée**, entre les personnes qui réalisent les audits énergétiques, les ingénieurs et les architectes qui interviennent durant la phase d'avant-projet, les entreprises qui effectuent les travaux et les exploitants qui sont souvent mandatés après la réception du projet. Il faut encore ajouter que dans la majorité des cas, les travaux de rénovation sont réalisés en maintenant les occupants in situ. Ces derniers ont tendance à garder les mêmes pratiques bien que le fonctionnement de certains sous-systèmes n'est plus le même après rénovation.

Le schéma de la Figure 5.4 illustre les différentes étapes de la rénovation et met en évidence les deux principales ruptures identifiées dans la chaîne des responsabilités vis-à-vis de l'énergie.

Figure 5.4. Représentation schématique des différentes étapes de rénovation et des principales ruptures identifiées dans la chaîne des responsabilités



Nous avons remarqué que les principales ruptures surviennent souvent à deux moments : le premier entre la phase de l'audit et l'avant-projet, le deuxième entre la réalisation et l'exploitation. La deuxième rupture arrive à une étape charnière dans le processus de rénovation et peut avoir un impact significatif sur les performances énergétiques. En fait, la mise en service des installations et la réception des bâtiments se font souvent sans la présence des exploitants qui découvrent après coup les installations qu'ils vont devoir gérer.

Afin d'assurer que les travaux de performance énergétique conduisent effectivement aux résultats attendus, il est important de faire évoluer le processus actuellement linéaire vers une démarche intégrée et d'éviter les ruptures identifiées en ayant recours à un intégrateur qualifié (une société de services énergétiques ou un professionnel certifié) qui s'engage sur la performance énergétique et assure la mission de « commissioning ». Ce processus est bien connu aux Etats-Unis et au Canada et peut s'appliquer aussi bien à des bâtiments en rénovation que neufs. Sa définition selon les normes américaines de l'ASHRAE⁵¹ est la suivante : « *Commissioning Process is a quality-focused process for enhancing the delivery of a project. The process focuses upon verifying and documenting that all of the commissioned systems and assemblies are planned, designed, installed, tested, operated, and maintained to meet the Owner's Project Requirements* » [84].

Le « commissioning » consiste donc à accompagner le maître d'ouvrage et les acteurs concernés dans la mise en service des équipements. Il vise à contrôler les travaux effectués sur le chantier et à vérifier, tester et optimiser les équipements, préalablement à la mise en route et en conditions réelles d'utilisation durant la première année d'exploitation, afin de

⁵¹ ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

s'assurer de leur bon fonctionnement et leur utilisation correcte par les usagers : habitants et exploitants. La mission de l'accompagnateur consiste également à assurer la coordination avec l'exploitant durant la première année d'opération et à communiquer les premiers résultats aux différents acteurs (propriétaires, régies, occupants, etc.).

Il est recommandé que ce processus d'assurance de la qualité couvre toutes les étapes du processus de rénovation : l'audit, la conception, la réalisation des travaux et la mise en service, y compris la première année d'opération. Il devrait permettre de garantir la performance intrinsèque du bâtiment rénové. Si les performances attendues ne sont pas atteintes, l'accompagnateur pourra par exemple demander la mise en œuvre d'un Plan de Mesures et Vérifications selon le protocole IPMVP.

Le potentiel théorique d'économie d'énergie ne pourra pas être exploité uniquement par une amélioration des pratiques lors des étapes d'audit, d'avant-projet et de réalisation, mais nécessite aussi une mutation des pratiques des exploitants et des comportements des occupants durant la phase d'exploitation.

D'une part, l'exploitant devrait s'engager dans une démarche d'amélioration continue qui consiste à répéter les 4 phases Plan – Do – Check – Act (méthode PDCA) afin de maintenir, voire d'améliorer, le niveau de performance énergétique qui a tendance à se dégrader avec le temps (dégradation due au vieillissement des équipements). La première étape du cycle (Plan) consiste à préparer et planifier les actions à entreprendre, la seconde (Do) à mettre en œuvre et réaliser les actions, la troisième (Check) consiste à contrôler et vérifier que les performances obtenues correspondent bien à ce qui a été prévu et enfin la dernière étape (Act) a pour but d'ajuster les écarts et de rechercher des pistes d'amélioration.

D'autre part, le comportement des occupants est très varié et dépend de plusieurs facteurs historiques, culturels et sociodémographiques (âge, niveau d'éducation, de revenu, composition familiale, etc.). Selon le sociologue Gaëtan Briseperrière [85], *« la logique majoritaire qui commande les pratiques domestiques liées à l'énergie est la recherche du confort, à laquelle s'ajoute un souci de modération budgétaire »*.

Le poids du comportement dans la consommation énergétique des bâtiments dépend du fonctionnement des solutions d'efficacité énergétique et de leur usage par l'occupant. En ce qui concerne les solutions, le suivi énergétique du bâtiment Gros-Chêne a montré par exemple que les loggias froides n'étaient pas toujours utilisées de manière attendue (ouverture souvent des portes-fenêtres de la paroi intérieure durant l'hiver) malgré une sensibilisation spécialement réalisée auprès des occupants. Dans les mêmes conditions d'utilisation, le choix d'une loggia chaude aurait permis de limiter l'influence de l'occupant, l'enveloppe thermique du bâtiment se situant cette fois-ci à l'extérieur des loggias.

Des campagnes d'information et de sensibilisation sont ensuite importantes pour améliorer l'usage afin qu'il soit compatible avec la technique mise en place. Le défi consiste ici à piloter le changement, à pouvoir le pérenniser et à limiter l'effet rebond qui peut annuler une partie des bénéfices attendus en économie d'énergie. Selon le sociologue Briseperrière [85], *« le changement des pratiques demande de s'inscrire dans une dynamique collective dont les objectifs sont partagés à tous les niveaux (professionnels, pouvoirs publics, etc.) »*. En conclusion, l'imbrication des facteurs sociologiques et techniques rend difficile l'analyse de l'influence du comportement sur la performance énergétique. Il restera donc toujours un écart résiduel lié au comportement entre les économies d'énergie attendues et réelles.

P-02 ► Choisir les solutions techniques appropriées et encourager les approches intégrées et bien structurées

Sur le plan technique, les solutions visant à améliorer l'efficacité énergétique dans les bâtiments sont aujourd'hui bien connues et maîtrisées. L'expérience a montré que le suivi régulier des installations par le biais de contrat d'exploitation est nécessaire pour garantir leur bon fonctionnement, sans quoi les performances risquent de diminuer.

L'imbrication des solutions choisies et leur intégration dans le bâtiment constituent une étape importante dans le processus de rénovation, qui est souvent sous-estimée. Elle doit être réalisée par des professionnels qualifiés et doit s'inscrire dans une approche globale et cohérente de rénovation.

Tout dépend de la stratégie du propriétaire, les travaux peuvent être réalisés dans le cadre d'une rénovation complète visant à atteindre directement la cible ou d'une rénovation échelonnée dans le temps. **La rénovation complète** permet de mieux coordonner les différentes mesures et d'exploiter les synergies entre elles, ce qui permet de réduire le coût total de la rénovation, d'éviter les risques de dommages sur la construction et de bénéficier directement des économies d'énergie attendues.

Lors d'une **rénovation par étapes**, on remarque souvent que l'approche intégrée manque et le bon ordre de succession des interventions n'est pas toujours respecté. A titre d'exemple, si l'amélioration thermique de l'enveloppe du bâtiment n'est pas accompagnée par un nouveau réglage de la courbe de chauffe, nous avons remarqué à plusieurs reprises que les occupants utilisent l'ouverture des fenêtres comme un mode de réglage de la température dans les pièces, ce qui a pour effet de réduire fortement les gains espérés par la première action. De même, respecter le bon ordre chronologique des actions permet d'éviter les défauts à l'avenir et de devoir reprendre les mêmes actions. Il est ainsi fortement recommandé d'envisager une réflexion sur la ventilation des pièces lorsqu'on prévoit d'améliorer l'étanchéité de l'enveloppe. De même, on ne peut pas équiper la toiture de panneaux solaires thermiques puis poser après quelques années une isolation périphérique sur le toit.

Afin de garantir des rénovations de qualité, efficaces et cohérentes sur le plan technique, il est fortement recommandé :

- **d'établir un planning des travaux à entreprendre dans les prochaines 15-20 années, accompagné d'un concept énergétique qui permet au propriétaire d'avoir une bonne vue d'ensemble de la démarche à suivre.** On peut aussi imaginer avoir recours à un Carnet Energie du Bâtiment (CEB), équivalent au carnet de santé, réalisé par des professionnels qualifiés et comportant la stratégie du propriétaire et son engagement à respecter le planning, une liste des bouquets de travaux cohérents à réaliser, une estimation des coûts et de l'évolution de la performance énergétique du bâtiment suite à ces actions.

Ce document (en version papier ou électronique) serait obligatoire pour l'obtention de subventions publiques et doit être communiqué lors de la vente du bien. Il devrait inciter les propriétaires à mieux s'organiser pour rénover leur parc immobilier. Il permet également à l'Etat de prévoir l'évolution du taux de rénovation énergétique ainsi que le montant des subventions à octroyer et de développer des politiques mieux ciblées.

- **de promouvoir la réalisation de bouquets de travaux ou de paquets de mesures cohérents conduisant à une amélioration de la performance énergétique et des retours sur investissements acceptables.** Ces paquets prédéfinis devraient être conçus de manière à être réalisés par étapes tout en respectant le bon ordre et bien entendu les normes et les lois en vigueur. Ils devraient aussi permettre d'éviter le phénomène d'écroulement, qui consiste à réaliser au début les actions rentables et à être confronté par la suite à entreprendre les actions à retours sur investissements longs.

A titre d'exemple, Olivier Sidler propose dans le cadre d'une étude sur les enjeux liés à la rénovation thermique des bâtiments en France [86] dix bouquets de travaux appelés ensembles de Solutions Techniques de Référence (STR) pour répondre aux objectifs de performance recherchés. Avant toute généralisation, nous proposons de réaliser ces mesures dans le cadre d'un projet pilote de rénovation et d'évaluer leur performance énergétique et économique en conditions réelles d'utilisation.

P-03 ► Mieux évaluer et surveiller la performance réelle des rénovations énergétiques

Au niveau du bâtiment, le contrôle et la comptabilisation de l'énergie nécessitent des *systèmes de mesure* qui permettent de déterminer les conditions locales et les flux d'énergie dans un périmètre donné, des *systèmes de suivi et de contrôle* qui permettent de mieux suivre la performance des installations et de s'assurer de leur bon fonctionnement, et des *systèmes de décisions* qui permettent de régler et d'optimiser le fonctionnement des sous-systèmes. On s'oriente aujourd'hui vers l'utilisation de nouvelles technologies de l'information et de communication qui permettent le comptage intelligent et le contrôle à distance.

Au niveau de la gestion énergétique du parc immobilier, le suivi des performances réelles des rénovations nécessitent de collecter et de centraliser l'information sur la nature des travaux réalisés, les identifiants des bâtiments concernés, la consommation réelle avant et après travaux, etc. Ces données existent aujourd'hui auprès de plusieurs services (Office de l'énergie, Office de l'urbanisme, etc.) mais leur croisement peut s'avérer difficile dans certains cas. Le défi consiste ensuite à passer d'un outil de collecte de l'information (comme c'est le cas de l'outil Web Indice pour les indices de dépense de chaleur) à un outil de pilotage du parc de bâtiments. Pour y arriver, des indicateurs pertinents de suivi et de pilotage adaptés aux objectifs énergétiques attendus doivent être utilisés.

Au niveau de la réalisation, le contrôle aléatoire sur les chantiers va devoir s'intensifier pour vérifier la conformité des travaux réalisés avec ceux autorisés. Ce contrôle pourra être effectué par les experts engagés dans le processus de *commissioning* (se référer à P-01).

P-04 ► Améliorer les pratiques actuelles par le biais de la formation, l'information et les retours d'expérience

Des actions destinées à informer, sensibiliser et responsabiliser les occupants et les acteurs impliqués dans le processus de rénovation devraient permettre d'améliorer les pratiques actuelles et la qualité des rénovations. Les retours d'expérience ont aussi un rôle important qui permet non seulement de comprendre les raisons et l'amplitude des écarts entre l'objectif prévu et la réalité, mais aussi de stimuler les bonnes pratiques par un processus de « feedbacks » entre académiques et praticiens.

5.3.2 Aspects de conservation du patrimoine

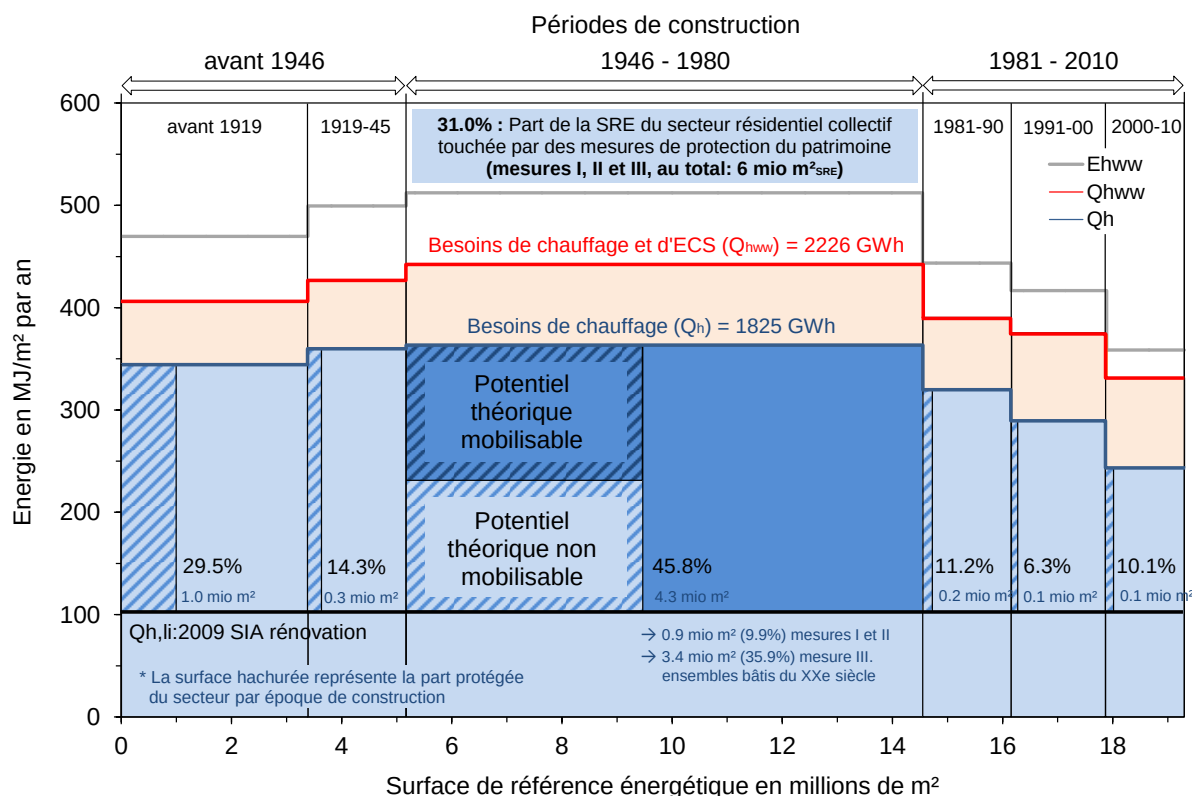
a) Situation et enjeux

Selon le recensement effectué dans la partie 2.6.1, la proportion de bâtiments résidentiels collectifs touchés par au moins une des mesures de protection du patrimoine bâti I à III (bâtiment, périmètre ou ensembles) à Genève s'élève à 36% (4'591 bâtiments). Leur surface énergétique est d'environ 6 millions de mètres carrés et représente 31% de la SRE totale du secteur résidentiel collectif genevois. Par ailleurs, il est possible d'améliorer la performance énergétique de ces bâtiments, sous réserve du respect de certaines conditions.

La Figure 5.5 montre que les bâtiments d'après-guerre (1946-1980), qui recèlent le plus grand potentiel d'économie d'énergie de chauffage, sont les plus touchés par les mesures de protection. Leur surface énergétique est estimée à près de 4.3 millions de m^2_{SRE} et se répartit comme suit :

- 3.4 millions de m^2 (36%) touchées par la mesure III (ensemble résidentiel) ;
- 0.9 millions de m^2 (10%) par les mesures de protection I et II (bâtiment et périmètre protégé, sans redondance).

Figure 5.5. Répartition par époque de construction des surfaces énergétiques touchées par les mesures de protection du patrimoine I à III (se référer au point 2.6.1.1) du secteur résidentiel collectif à Genève. La surface colorée représente une estimation du potentiel théorique mobilisable des bâtiments d'après-guerre. Les besoins de chauffage sont indiqués par tranche d'âge sans différencier entre les bâtiments protégés et autres.



Il convient de noter que le recensement, par le Service des monuments et des sites, des ensembles résidentiels de la seconde moitié du XX^e siècle dignes d'être conservés est loin d'être achevé et continue d'être réalisé au cas par cas. L'évaluation des bâtiments d'après-guerre dignes d'être protégés mérite d'être affinée et complétée par les objets qualifiés

intéressants et exceptionnels (mesure IV). Les besoins de chauffage de ces bâtiments ne sont pas connus à l'heure actuelle étant donné que nous ne disposons pas des identifiants correspondants. Le potentiel théorique d'économie d'énergie engendré par la rénovation thermique de ces bâtiments n'a donc pas pu être évalué. Cependant, si l'on veut mobiliser l'ensemble du potentiel théorique du secteur (677 GWh/a), le défi consiste à réduire les besoins de chauffage de ces bâtiments à la limite requise de 104 MJ/m²a.

En analysant les variantes proposées par l'étude du TSAM [28] sur l'amélioration thermique de l'enveloppe de la Cité-satellite du Lignon, qui est touchée à la fois par les mesures de protection III (ensemble résidentiel) et II.1a (plan de site), il ressort que seulement la moitié du potentiel théorique d'économie d'énergie de chauffage est mobilisable lorsqu'on veut rénover selon une variante en accord avec les valeurs patrimoniales. On note aussi qu'aucune des variantes d'amélioration proposées dans l'étude citée ne permet d'atteindre la valeur limite pour le chauffage de la norme SIA 380/1:2009 pour la rénovation.

En tenant compte des pratiques actuelles des services de protection du patrimoine et de l'énergie, la généralisation de ce résultat sur l'ensemble des bâtiments d'après-guerre au bénéfice de mesures légales de protection aura un impact significatif sur le potentiel mobilisable d'économie de chauffage du secteur. L'enjeu réside non seulement dans le potentiel d'économie d'énergie non mobilisable mais aussi dans le surcoût à payer, surtout que ces bâtiments arrivent simultanément en période de rénovation.

b) Propositions

P-05 ► Accélérer le recensement des ensembles résidentiels et des objets qualifiés intéressants et exceptionnels dignes d'être protégés sur le canton de Genève

Actuellement, les décisions du SMS sont prises au cas par cas, lors du dépôt du dossier d'autorisation pour des travaux de rénovation. Cependant, pour mieux se préparer à la vague de rénovation des bâtiments d'après-guerre qui arrivent, il est nécessaire de connaître les objets et les ensembles qui sont sous le regard du Service des monuments et des sites et qui méritent d'être conservés. On s'attend par exemple à identifier parmi les nombreux ouvrages réalisés par les frères Honegger dans les années cinquante et soixante à Genève (près de 9'000 logements), les bâtiments ou les ensembles les plus représentatifs à conserver.

P-06 ► Renforcer la coordination et l'harmonisation des politiques en matière de rénovation énergétique et de conservation du patrimoine bâti, entre l'Office cantonal de l'énergie et le Service des monuments et des sites

Il s'agit de renforcer la coordination entre ces deux services et d'harmoniser au mieux la politique cantonale de l'énergie et la politique de conservation du patrimoine bâti. Des rencontres ont été organisées durant ces dernières années pour essayer de converger les positions dans le respect des missions de chaque service. Dans ce cadre, nous proposons que les deux services continuent de collaborer afin :

- d'évaluer le potentiel d'économie d'énergie non mobilisable lié à la protection de ces bâtiments et le surcoût à payer par rapport à une rénovation standard ;
- de proposer des mesures d'accompagnement aux propriétaires ;
- et enfin d'étudier à quelle échelle faut-il compenser le potentiel non mobilisable de ces bâtiments (à l'échelle du bâtiment, du quartier, de la commune ou du canton) ?

5.3.3 Aspects économiques et financiers

a) Situation et enjeux

La mobilisation du potentiel d'économie d'énergie des immeubles d'habitation d'après-guerre pose des difficultés qui ne sont pas nécessairement d'ordre technique, mais plutôt d'ordres économiques, financiers et organisationnels. Nous aborderons ici brièvement les aspects de coûts et de rentabilité qui sont identifiés comme le principal obstacle au déploiement à grande échelle des opérations de rénovation. Les aspects organisationnels seront traités au point suivant 5.3.4.

L'analyse comparative effectuée au point 4.5.4 du chapitre précédent a montré que la moyenne des coûts globaux (travaux d'entretien et à plus-values) des 34 immeubles (6 opérations totalisant une SRE de 60'000 m²) ayant subi une rénovation complète ou quasi-complète de l'enveloppe selon les normes SIA:2001-2007 est de 875 CHF HT/m²_{SRE}. Si l'on applique ce coût à l'ensemble des immeubles d'habitation construits à Genève entre 1946 et 1980 et destinés à être rénovés au cours des prochaines années, on s'aperçoit que le coût global de rénovation s'élève à environ 8 milliards CHF HT. Cette évaluation ne tient pas compte des contraintes liées à la protection du patrimoine bâti.

En considérant le coût moyen des deux rénovations Minergie⁵² (LANCY et GROC) qui étaient de l'ordre de 1'100 CHF HT/m²_{SRE}, ce coût dépasse légèrement les 10 milliards CHF HT. Ce résultat reflète mieux le coût actuel de rénovation, étant donné que les exigences thermiques en vigueur de la norme SIA (édition 2009) sont aujourd'hui assez proches des exigences Minergie d'avant 2009. La rénovation de ces bâtiments conformément aux exigences de la société à 2000 watts nécessitera encore plus de ressources financières.

Sur cette base, le coût global (travaux d'entretien et à plus-values) de la rénovation des 5'240 bâtiments résidentiels collectifs d'après-guerre (1946-1980) est estimée à environ 10 milliards CHF HT, soit 285 à 300 millions CHF HT chaque année d'ici 2050.

Si l'on considère la même répartition des coûts de la rénovation du bâtiment Gros-Chêne (soit 65% énergie / 35% non énergie), le coût des travaux à plus-value énergétique s'élèvera à environ 6.5 milliards CHF, le reste concernera des travaux d'entretien et à plus-value non énergétique. Ces travaux devraient bénéficier d'environ 1 milliard de CHF de subventions directes octroyées par l'Etat qui vont permettre de réduire le coût énergétique à 5.5 milliards.

Une estimation des investissements nécessaire pour rénover l'ensemble du parc immobilier existant dans le canton de Genève a été réalisée par Noé 21 [33]. Cette étude révèle que le coût global de la variante avec l'exigence énergétique accrue s'élève à 55.5 milliards et se répartit comme suit : 35.7 milliards pour le surcoût énergétique, 4.5 milliards pour le surcoût lié à la protection du patrimoine bâti et 15.3 milliards pour les coûts des travaux non énergétiques. On note que la part de l'investissement dédié à l'amélioration énergétique dans cette étude (64%) est très proche de celle de la rénovation Gros-Chêne (65%).

En ce qui concerne la rentabilité des travaux, celle-ci dépend de plusieurs facteurs internes et externes :

- a) Facteurs externes : prix de l'énergie, montant de la taxe carbone, taux hypothécaire, subventions octroyées, prix des matières premières utilisées dans les travaux, etc.

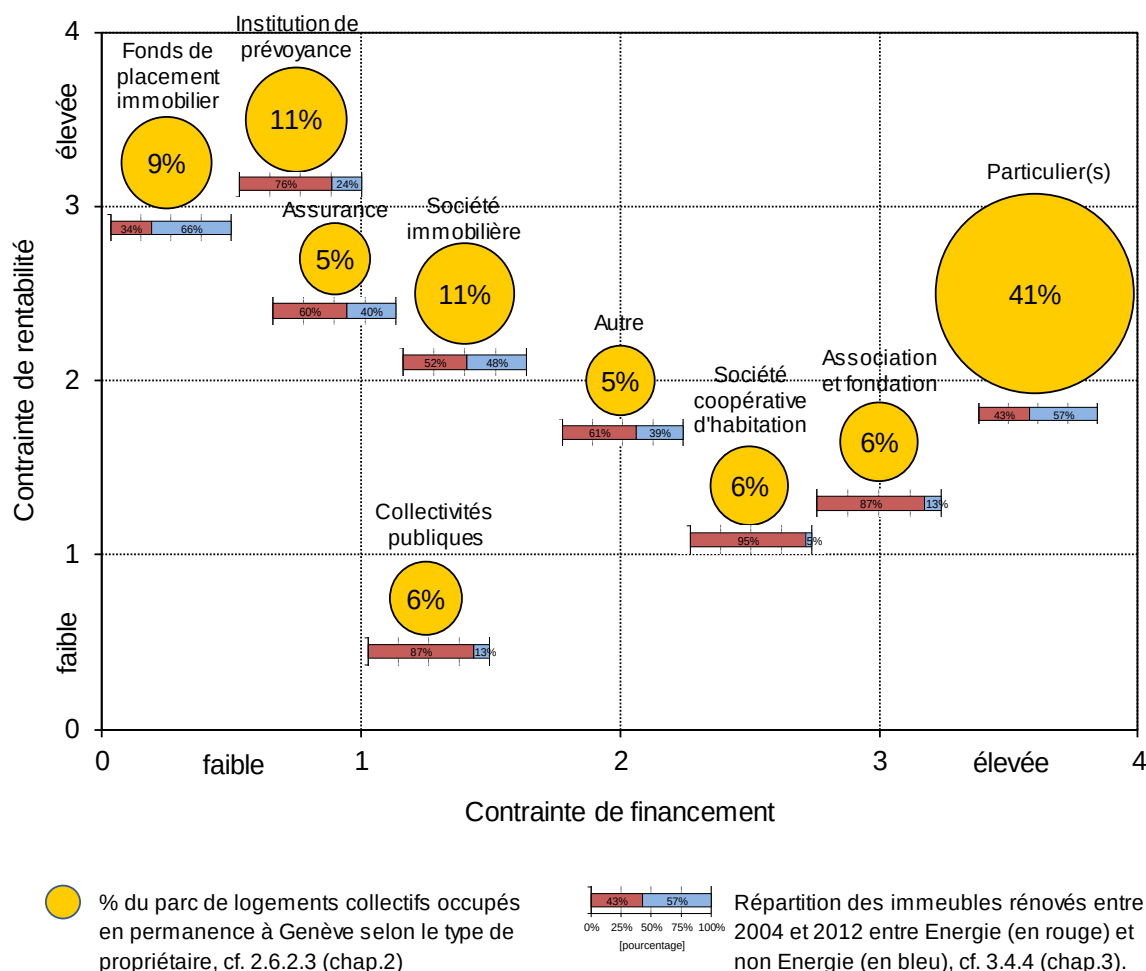
⁵² Rénovations selon le standard Minergie (édition avant 2009).

- b) Facteurs internes : potentiel locatif, coût et type de travaux réalisés (entretien, à plus-values non énergétique et énergétique), économies d'énergie engendrées par la rénovation, taux d'actualisation fixé par le propriétaire, etc.

Au prix actuel de l'énergie, on remarque que les économies d'énergie ne permettent pas de financer entièrement les travaux d'amélioration énergétique. L'expérience Gros-Chêne a montré que les coûts de l'énergie économisée ou substituée par les trois solutions d'efficacité énergétique (l'assainissement de l'enveloppe, l'installation solaire thermique et l'installation de ventilation contrôlée) étaient supérieurs au prix actuel de l'énergie. Néanmoins, ces travaux ont bel et bien été réalisés. On peut donc en déduire que la rentabilité ne représente pas le seul critère pour le choix des investissements en efficacité énergétique. D'autres critères d'ordre qualitatif ont probablement été considérés, tels que la nécessité d'intervenir, les bénéfices non-énergétiques, le risque et le caractère stratégique propre à l'investissement.

Il est aussi important de garder à l'esprit que les contraintes économiques et financières ne sont pas les mêmes pour tous les propriétaires. La Figure 5.6 propose une classification des propriétaires des bâtiments résidentiels collectifs genevois selon le degré de contrainte d'accès au capital et de contrainte de rentabilité lors de travaux de rénovation énergétique.

Figure 5.6. Proposition de classification des propriétaires d'immeubles d'habitation à Genève, selon le degré de difficulté d'accès au financement et la contrainte de rentabilité (contrainte élevée lorsque le taux de rentabilité interne (TRI) est supérieur à 4%, faible lorsque le TRI est inférieur à 2%)



L'évaluation s'est effectuée sur la base d'informations obtenues lors de discussions avec un certain nombre de propriétaires. Les résultats sont exprimés sur une échelle de notes qui varie de 1 (contrainte faible) à 4 (contrainte élevée). Cette classification se veut un point de départ pour mener une réflexion sur les enjeux de coûts et de rentabilité des travaux de rénovation énergétique.

Nous avons considéré que la contrainte de rentabilité est élevée si le taux de rentabilité interne (TRI) attendu est supérieur à 4%. Elle est faible pour un taux inférieur à 2%. La contrainte d'accès au financement dépend du mode de financement (financement par emprunt, par fonds propres, etc.). La dimension des cercles représente la taille du parc de logements collectifs détenus par catégorie de propriétaire à Genève (cf. 2.6.2.3, chapitre 2). En dessous des cercles, figure la répartition des immeubles rénovés entre 2004 et 2012 selon la nature des travaux Energie et non Energie (cf. 3.4.4, chapitre 3).

On peut relever sur la Figure 5.6 les constats suivants :

- Environ 36% du parc de logements collectifs est détenu par des propriétaires qui n'ont pas à priori une contrainte d'accès au financement, mais sont soumis à des contraintes de rentabilité plutôt élevées (taux de rentabilité interne supérieur à 4%). C'est le cas notamment de la plupart des institutions de prévoyance, des fonds de placement immobilier, des sociétés immobilières et des assurances qui utilisent leurs fonds propres pour financer les rénovations énergétiques.
- Au sein de ce groupe de propriétaires, on remarque que les pratiques en termes de rénovation sont différentes malgré des conditions cadres assez proches. Par exemple, la part des bâtiments rénovés énergétiquement par rapport à l'ensemble des bâtiments rénovés (énergie et non énergie) est beaucoup plus élevée chez les institutions de prévoyance que chez les fonds de placement immobilier (76% contre 34%). Une analyse plus fine des opérations réalisées et des montages financiers devrait permettre de mieux comprendre le processus de décision des propriétaires lorsqu'il s'agit d'investissement en efficacité énergétique.
- Les particuliers, qui détiennent à eux seuls 41% du parc de logements collectifs, possèdent un faible taux de rénovation énergétique (43%). A cet égard, il est nécessaire de mettre en place pour cette catégorie de propriétaire des dispositifs spécifiques qui leur permettent de faciliter l'accès au crédit, ainsi que des mesures d'accompagnement et d'aide à la planification.
- Les sociétés coopératives d'habitation, les associations et les fondations, qui possèdent environ 12% du parc de logements collectifs, suivent une stratégie à long terme dans la gestion de leur parc immobilier. Elles se trouvent avec les collectivités publiques en tête de classement en ce qui concerne le pourcentage d'immeubles rénovés énergétiquement, et cela malgré des montages financiers pas toujours faciles.
- Enfin, les collectivités publiques, qui détiennent environ 6% du parc de logements collectifs, votent les budgets d'investissement mais ne sont pas nécessairement soumises à des contraintes de rentabilité financière élevées. C'est le cas, par exemple, du Conseil Municipal de la Ville de Genève qui a récemment accepté l'ouverture d'un crédit total de 90 millions de francs pour la rénovation complète de l'ensemble résidentiel des Minoteries construit durant les années soixante (coût global de la rénovation = 3'300 CHF/m²_{SRE}).

La mobilisation du potentiel d'économie d'énergie nécessite donc de mettre en place des mesures d'aide financière spécifiques aux différents segments du parc résidentiel collectif. On remarque également que les outils actuels de financement ne sont pas suffisants pour accélérer la dynamique des rénovations énergétiques. L'enjeu consiste donc à adapter les outils actuels à l'évolution des besoins de la filière et à mobiliser des ressources financières additionnelles provenant aussi du secteur privé ; ce qui nécessite de sécuriser la capacité de remboursement des investissements.

L'investissement dans des travaux de rénovation énergétique est souvent considéré par les propriétaires comme un placement risqué, notamment en raison du montant important de l'actif immobilisé, de l'irréversibilité de la décision de rénovation et du faible retour sur investissement. Une des raisons pour laquelle l'amélioration de la performance énergétique n'est pas une priorité pour les propriétaires, est le fait qu'elle n'entre pas en considération lors de l'évaluation de la valeur du bâtiment. Parmi les facteurs ayant une forte influence figure par exemple le rendement locatif. Cependant, le choix des investissements en efficacité énergétique est une notion hautement subjective qui ne dépend pas uniquement de la rentabilité des actions d'amélioration de la performance énergétique, mais aussi de la motivation économique et socio-culturelle du propriétaire. Ces investissements importants ne rentrent pas en compétition avec les actions d'optimisation et sont dans la plupart des cas réalisés en urgence.

Enfin, plusieurs leviers restent à déployer pour améliorer la rentabilité des travaux en efficacité énergétique. Parmi ceux-ci, citons par exemple la réduction du coût initial des travaux, le développement de nouveaux outils de financement et la prise en compte des bénéfices connexes des rénovations dans les calculs de rentabilité. Ces propositions présentées ci-après sont des pistes de réflexion qui mériteraient d'être développées et discutées dans le cadre d'un groupe de travail au niveau cantonal.

b) Propositions

P-07 ► Réduire le coût initial élevé des travaux d'assainissement énergétique tout en maintenant les niveaux de performances attendus

Bien qu'il n'existe pas à l'heure actuelle des statistiques ou d'informations empiriques sur les coûts au m² des travaux d'assainissement énergétique des bâtiments résidentiels collectifs à Genève ou en Suisse, on pense qu'il est important de réduire ces coûts pour un même niveau de performance. Cette réduction devrait permettre de faciliter l'accès des propriétaires au financement, d'augmenter la viabilité des modèles de tiers financement, de limiter l'impact financier sur les loyers et de diminuer les subventions publiques. Pour y arriver, on peut utiliser plusieurs leviers d'actions, comme :

- Agir sur l'effet de taille pour réduire les coûts au m² (rénovation de quartiers entiers, d'îlots ou d'ensembles résidentiels au lieu de rénovation par allée). Ceci nécessite une coordination entre les différents propriétaires afin de synchroniser les travaux de rénovation, mais peut mobiliser des économies d'énergie plus intéressantes dans le cadre d'une réflexion plus large sur le périmètre (développement de réseaux de chaleur renouvelable, valorisation des rejets thermiques, production simultanée de chaud et de froid, etc.).

- Recourir à des éléments préfabriqués pour améliorer la performance énergétique des enveloppes, dans une perspective de généralisation à des bâtiments de même typologie. Le recours à cette technique a l'avantage de réduire le coût, la durée des travaux et les désagréments pour les occupants, surtout que la plupart des travaux de rénovation sont réalisés aujourd'hui en site occupé. Dans ce cadre, les études menées par Zimmermann [29] ont montré la viabilité de cette solution tant au niveau technique que de mise en œuvre. Des recherches supplémentaires devraient être menées dans le cadre de l'appel à projet « EE1- 2014 » du programme Horizon 2020 de l'Union Européenne [30] visant le développement de modules en série à des coûts abordables, facilement intégrables et esthétiquement convaincant.
- Industrialiser les paquets de travaux prédéfinis et créer des réseaux d'entreprises spécialisées et de fournisseurs pour mutualiser et diminuer les coûts.
- Planifier au plus tôt les travaux d'assainissement à réaliser pour pouvoir négocier les conditions et optimiser le coût des travaux (se référer à la proposition P-02).

Enfin, l'augmentation des aides financières directes et indirectes octroyées contribue également à réduire le coût final des travaux de rénovation énergétique. A cet égard, on propose de réorienter les subventions octroyées en fonction de l'ambition de la rénovation et les résultats réels atteints, comme c'est le cas en Allemagne avec la banque publique (KfW).

P-08 ► Améliorer les outils de financement de l'efficacité énergétique et les adapter aux besoins de la filière

Plusieurs instruments et mesures ont été mis en place depuis 2010 pour inciter les propriétaires à rénover énergétiquement leurs bâtiments. Citons par exemple :

Au niveau national :

- Le programme national d'assainissement des bâtiments prévu pour 10 ans et financé par une partie des recettes de la taxe sur le CO₂ prélevée sur les combustibles et par les contributions cantonales (www.leprogrammebatiments.ch). Au total, une enveloppe de près de 300 millions de francs par an est destinée à la rénovation du parc immobilier suisse (travaux d'isolation et recours aux énergies renouvelables). Si l'on consacre cette enveloppe au secteur résidentiel suisse composé d'environ 1.6 millions de bâtiments, avec un objectif de rénover 2%/an, l'aide financière apportée par ce programme paraît très insuffisante (subvention moyenne de l'ordre 10'000 CHF octroyée pour chaque bâtiment rénové durant les dix premières années).

Au niveau cantonal :

- le Bonus conjoncturel à la rénovation des immeubles soumis à la LDTR, versé après l'exécution des travaux et dont le montant « ne peut pas dépasser 15% du coût des travaux de rénovation donnant droit à la rémunération du capital investi »⁵³.
- le Bonus conjoncturel à l'énergie, avec une enveloppe de 10 millions de CHF/an consacrée aux rénovations fondées sur la LDTR, destiné à couvrir la partie du coût des travaux énergétiques qui ne pourront pas être répercutés sur les loyers.
- les aides financières pour les mesures d'amélioration énergétique des bâtiments (<http://ge.ch/energie/chequebatimentenergie>).

⁵³ <http://ge.ch/amenagement/autorisations-construire>

Des incitations fiscales à la rénovation énergétique ont également été introduites, comme :

- Une exemption de l'impôt immobilier complémentaire⁵⁴ durant une période de 20 ans, pour les rénovations énergétiques qui respectent les standards de haute et très haute performance énergétique.
- Une déduction fiscale des investissements énergétiques à 100% (précédemment à 50% durant les cinq ans qui suivaient l'acquisition de l'immeuble), et qui vient s'ajouter à la déduction de l'impôt sur le revenu des coûts d'entretien des immeubles.

Enfin, la modification de la loi cantonale sur l'énergie et de la LDTR a permis en 2010 de rectifier le problème du « split incentives » entre le propriétaire qui investissait dans les travaux d'économie d'énergie et le locataire qui bénéficiait de la baisse des charges. Les nouvelles mesures permettent désormais de reporter sur les loyers les coûts des travaux d'amélioration énergétique en appliquant une hausse correspondant aux économies d'énergie prévues (baisse prévisible des charges) à laquelle il est possible d'ajouter 10 CHF/pièce/mois si l'augmentation ne suffit pas pour amortir les travaux (pour plus d'infos, se référer au point 4.4.5 du chapitre 4).

Toutefois, l'actualisation⁵⁵ de l'état locatif en utilisant le taux hypothécaire de référence qui est actuellement très bas (2% au premier trimestre 2014 alors qu'il était 3.5% fin 2008 et 6.5% en juillet 1993) peut réduire significativement la contribution du locataire et risque de freiner certaines rénovations. Cette actualisation affecte en particulier les anciens baux qui présentent un potentiel locatif très intéressant, mais qui ont droit à une diminution de loyer sur la base du taux actuel de référence. Ce problème mérite d'être analysé de manière plus approfondie dans le cadre d'une étude séparée.

Ainsi, le financement des travaux de rénovation énergétique est réparti aujourd'hui entre trois acteurs : locataire, propriétaire et Etat. Malgré les efforts réalisés depuis 2010, on estime néanmoins que les outils mis en place ne sont pas suffisants pour surmonter la vague de rénovation des immeubles d'habitation d'après-guerre. L'enjeu principal consiste désormais à développer de nouveaux outils de financement, en complément aux outils existants, qui permettent de mobiliser des ressources financières additionnelles provenant de nouveaux investisseurs.

Les études [87, 88, 89] récemment menées pour explorer de nouvelles pistes de financement proposent principalement trois concepts :

- des prêts à taux bonifiés via une banque publique d'investissement ;
- des circuits de financement spécialisés pour l'efficacité énergétique ;
- des mécanismes de tiers financement.

En ce qui concerne le troisième concept, le tiers financement est défini par Ortega et Reinmann [87] comme « *un modèle économique qui consiste à proposer une offre intégrée, incluant le financement des travaux, la gestion technique et opérationnelle du projet, y compris postérieurement aux travaux* ». Cette notion est plus large que la notion du tiers investissement qui « *consiste à allouer des capitaux à des projets de rénovation énergétique, en contrepartie de créances garanties sur le montant des économies d'énergies futures réalisées dans le bâtiment* ». Ces deux notions permettent de lever les barrières d'accès au capital.

⁵⁴ Impôt annuel qui correspond à 0,1 % de la valeur d'un immeuble résidentiel.

⁵⁵ L'actualisation des loyers est obligatoire pour les propriétaires qui déposent une demande d'autorisation de construire pour des travaux de rénovation fondés sur la LDTR.

Le tiers financeur est généralement une société de services énergétiques (ESCO) qui doit assumer à la fois le risque technique (garantie des économies d'énergie) et le risque financier lié à la solvabilité du propriétaire par le biais d'un contrat de performance énergétique. Le tiers investisseur ne se préoccupe que du risque financier. C'est le cas par exemple d'une banque ou d'un fond de placement immobilier qui finance une partie des travaux de rénovation énergétique à un particulier et se fait rembourser au cours d'une période définie contractuellement par la hausse de loyers (valeur sûre dans un marché tendu).

Nous pensons que le tiers financement est un modèle intéressant pour les copropriétés car il permet de surmonter les nombreux obstacles tels que l'accès au financement, une prise de décision difficile à cause de la multitude d'acteurs, etc.). Nous préconisons aussi, lorsque la situation le permet, d'utiliser le potentiel de densification (surélévation ou aménagement des combles) comme une ressource permettant de financer une partie des travaux de rénovation énergétique.

Le Tableau 5.2 donne un aperçu des principaux instruments utilisés en Europe pour surmonter les obstacles au financement de la rénovation énergétique des bâtiments. Ce tableau est repris et adapté de l'étude du BPIE [89] sur le financement de l'efficacité énergétique dans les bâtiments existants. L'étude citée fournit plus d'informations concernant les exemples indiqués dans le tableau.

Tableau 5.2. Principaux instruments européens pour le financement de l'efficacité énergétique dans les bâtiments existants (source : adapté du rapport du BPIE [89])

Policies instruments and measures for building retrofitting	Building categories			Examples
	Public	Private	Tertiary	
Funding programmes (for best-practice exchange initiatives and research)	X	X	X	- European Investment Bank (EIB) in collaboration with the European Commission, program ELENA (European Local Energy Assistance).
Structural funds	X	X	-	- Estonia: Revolving fund scheme for energy refurbishment in housing (improving the accessibility of loan capital through KredEx. - Lithuania: JESSICA Holding Fund.
Grants, subsidies and fiscal measures	X	X	X	- Italy: Fiscal incentives for energy savings in the household sector. - Denmark: Grant for energy saving measures in pensioners' dwellings.
Preferential loans	-	X	X	- Germany: The CO ₂ Building Rehabilitation, programme KfW (promotional bank) and German government. - UK: Home Energy Pay As You Save (PAYS) pilots.
Market based instruments	X	X	X	- France: White Certificate scheme (CEE). - Czech Republic: Green Investment Scheme.
Energy service company (ESCO)	X	-	-	- Germany: Berlin Energy Saving Partnerships managed by Berlin Energy Agency (BEA). - Austria: Integrated Energy Contracting.
Public-private partnership	X	X	X	- European Commission: The Energy-efficient Buildings (EeB).

Au niveau cantonal, plusieurs questions restent toutefois ouvertes à savoir :

- Quels sont les outils et les instruments les plus adaptés au contexte genevois pour favoriser les rénovations énergétiques et contourner les obstacles au financement ?
- Comment mettre en place les mécanismes viables et à quelle échelle ? Qui seront les acteurs impliqués et quels seront leurs rôles et leurs responsabilités ? Quels sont les conditions cadres nécessaires pour l'établissement de ces mécanismes ?
- Quel est l'efficacité de ces systèmes en termes de coûts d'établissement et de fonctionnement ? Comment les combiner avec les outils existants et réduire autant que possible l'effet d'aubaine ?

L'expérience européenne montre aussi que les nouveaux mécanismes financiers sont nécessaires mais pas suffisants pour mobiliser le potentiel d'économie d'énergie. Il faut que ces outils soient adaptés aux besoins réels de la filière, à la structure du parc et aux conditions cadres locales. Selon un rapport de la Cour des comptes européenne [90], les Fonds de cohésion (FC) et Fonds européen de développement régional (FEDER) dédiés à l'efficacité énergétique des bâtiments durant la période 2007-2013 auraient été mal gérés dans trois pays européens, en République Tchèque, en Italie et en Lituanie, « du fait d'absence d'évaluation des besoins et d'analyse du potentiel d'économie d'énergie au regard des investissements »⁵⁶. L'établissement d'un état des lieux comme celui réalisé dans le chapitre 2 de ce travail devrait aider à choisir les instruments et les stratégies adéquates pour répondre aux besoins de la filière de la rénovation.

P-09 ► Identifier, évaluer et internaliser les gains externes (ou bénéfices connexes) des rénovations énergétiques

La rénovation énergétique des bâtiments engendre non seulement des économies d'énergie, mais également des bénéfices connexes ou des gains externes qui sont connus, mais souvent difficilement chiffrables. Ces co-bénéfices contribuent à l'augmentation de la valeur globale du parc immobilier genevois, à la sécurité énergétique, à la réduction des émissions de CO₂, à l'amélioration du confort des occupants, à un environnement urbain de meilleure qualité, à la création de nouveaux emplois et au développement de nouvelles filières locales nécessaires pour atteindre les objectifs énergétiques fixés à moyen et long terme.

Ces gains qui peuvent s'avérer important pour les pouvoirs publics, les occupants et les propriétaires sont actuellement extérieurs au marché. Certaines études comme [87, 91, 92] considèrent ces gains comme une « valeur verte » qui vient s'ajouter à la valeur immobilière initiale. Les études qui proposent de chiffrer cette valeur pour le secteur résidentiel sont encore très rares. Une étude menée récemment par l'ADEME [92] a pu montrer, sur la base d'un benchmark dans une dizaine de pays, qu'il existe bien pour les logements avec des performances énergétiques et environnementales élevées une valeur verte de 2 à 7% par rapport au prix du marché. Cette valeur est néanmoins plus importante pour les maisons individuelles et dans les zones de faible tension sur le marché, ce qui n'est pas le cas à Genève (taux de vacance des logements à Genève : 0.33% en 2012). A cet égard, des recherches doivent être menées pour évaluer ces coûts externes à Genève et identifier les instruments les plus efficaces pour pouvoir les internaliser (taxes, subventions, etc.).

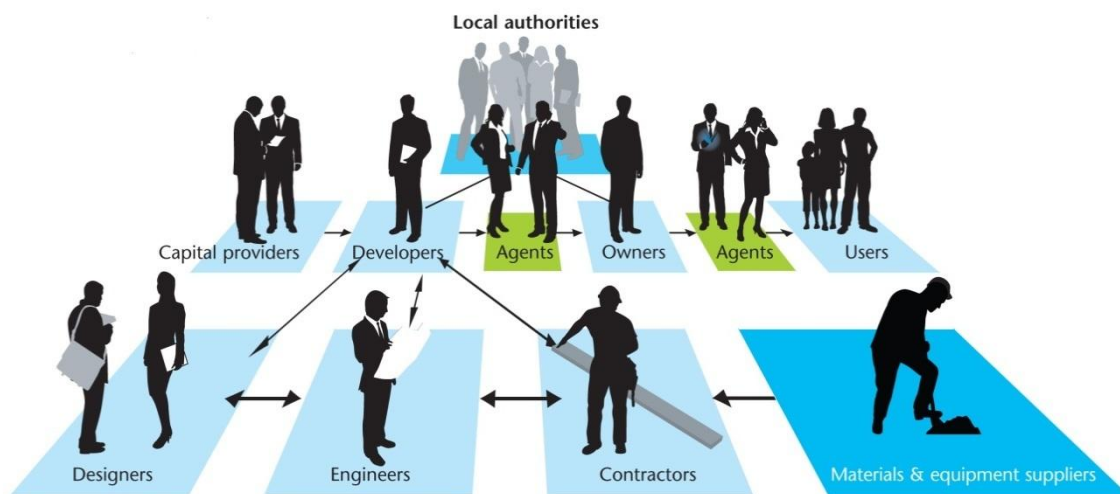
⁵⁶ « En effet, les programmes opérationnels audités n'avaient pas été assortis d'évaluations des besoins adéquates pour recenser les secteurs dans lesquels il était possible de faire des économies d'énergie et décrire les différentes méthodes possibles pour réaliser ces économies de manière rentable » [90].

5.3.4 Aspects organisationnels et de gouvernance

a) Situation et enjeux

La filière de la rénovation énergétique des bâtiments est constituée de plusieurs acteurs provenant de milieux très différents, avec des intérêts parfois divergents (par exemple, dilemme propriétaire/locataire, etc.) et des visions qui peuvent être à court, moyen ou long terme (cf. Figure 5.7 ci-dessous). Parmi les nombreux acteurs impliqués : les architectes, les ingénieurs, les maîtres d'œuvre, les industriels, les fournisseurs de matériaux, d'équipements et d'énergie, les promoteurs, les banques, les propriétaires, les régies, les locataires, les pouvoirs publics, etc. on ne trouve néanmoins aucun responsable de la performance énergétique des opérations de rénovation.

Figure 5.7. Complexité des interactions entre les différents acteurs de la filière de la rénovation énergétique (source : WBCSD [93])



Cette filière, qui représente un des moteurs du développement économique et social du canton, continue de souffrir du manque de personnels qualifiés et de profils intégrateurs, d'une forte fragmentation de l'offre et d'une grande inertie dans le changement des pratiques. On déplore également une coopération insuffisante entre les différents services de l'Etat impliqués directement ou indirectement dans la rénovation du parc immobilier.

Comme nous l'avons déjà évoqué au chapitre 3, une meilleure coordination entre l'Office de l'urbanisme et l'Office de l'énergie (situation avant 2014) aurait permis de réaliser un dumping des rénovations énergétiques à travers la loi sur les surélévations d'immeubles (L10088). En fait, c'est plus de 300 immeubles d'habitation qui ont bénéficié de cette loi sans aucune amélioration énergétique de la partie existante.

Au niveau de la demande, les leviers réglementaires et financiers sont actuellement les plus utilisés pour stimuler le marché de la rénovation énergétique.

Le renforcement des réglementations thermiques et l'entrée en vigueur de la nouvelle loi cantonale sur l'énergie en août 2010 qui marque le passage d'une politique d'incitation à une politique d'obligation dans la rénovation (bien que l'obligation ne touche actuellement que très peu de bâtiments) devraient permettre d'augmenter le taux et la qualité des rénovations.

Quant aux aides financières, ils restent insuffisantes à l'heure actuelle et sont octroyées par élément de construction ou par équipement, sans considérer le niveau d'ambition du projet (rénovation ponctuelle ou rénovation globale), ni le niveau de performance énergétique réelle atteint après travaux. On note également que le contrôle aléatoire de la conformité des travaux réalisés avec ceux subventionnés n'est pas effectué régulièrement et mérite d'être renforcé.

Les principaux enjeux organisationnels et de gouvernance consistent donc :

- à mieux structurer l'offre actuelle, en adaptant la filière professionnelle, en développant des plateformes spécialisées, en organisant un réseau d'intégrateurs qualifiés, etc.
- et à stimuler la demande en matière de rénovation énergétique, avec une politique différenciée et des aides financières supplémentaires conditionnées aux résultats, afin d'accélérer le rythme et d'augmenter la qualité des rénovations énergétiques des bâtiments existants.

Enfin, une gouvernance efficace nécessite l'engagement de tous les acteurs ainsi que le suivi, le contrôle et le pilotage de la performance énergétique du parc immobilier en utilisant des indicateurs pertinents.

b) Propositions

Trois pistes d'actions sont proposées ci-après visant une meilleure mobilisation du potentiel d'économie d'énergie dans le secteur résidentiel. Ces propositions mériteraient toutefois d'être analysées et affinées dans le cadre d'études postérieures et discutées avec les acteurs concernés.

P-10 ► Adapter la filière professionnelle et favoriser l'émergence d'une offre mieux structurée, coordonnée et plus performante

Il s'agit notamment de renforcer la formation professionnelle des différents acteurs de la filière pour répondre aux exigences en matière d'efficacité énergétique. La multiplication des retours d'expérience sur des opérations de rénovation devrait aussi accélérer le processus d'apprentissage à travers les feedbacks entre professionnels et chercheurs et aider à mettre en place une base de connaissance des bonnes pratiques.

Il convient également de mieux structurer et coordonner l'offre actuelle en favorisant par exemple l'introduction sur le marché de professionnels intégrateurs qualifiés ou des entreprises de services énergétiques (ESCO) qui seraient chargés :

- d'accompagner les propriétaires et les acteurs impliqués dans le processus de « commissioning », de l'audit jusqu'à la première année d'opération.
- de renforcer la coordination entre les différents acteurs du projet et de favoriser les démarches innovantes collaboratives (innovation organisationnelle).
- de contrôler/garantir la performance énergétique des opérations de rénovation.

Dans le but de mieux qualifier la filière, le Service de l'énergie du canton de Vaud (SEVEN) propose par exemple une certification aux professionnels afin de mieux établir et de contrôler les justificatifs de performance énergétique qui sont joints aux dossiers de requête en autorisation. A Genève, l'Office cantonal de l'énergie (OCEN) a développé un nouveau

réseau de concessionnaires professionnellement qualifiés en charge de calculer les indices de dépense de chaleur des bâtiments. Ceci devrait permettre d'améliorer la qualité des données énergétiques qui lui sont transmises.

Nous proposons également de favoriser le développement de groupes d'experts qualifiés capables de proposer et de réaliser des bouquets de travaux, garantissant la cohérence technique, la qualité de service et la performance énergétique.

Enfin, il appartient aux pouvoirs publics de donner l'exemple en améliorant la coopération et la coordination entre les différents services concernés par la rénovation du parc immobilier. Le regroupement depuis 2014 de l'Office cantonal de l'énergie, de l'Office de l'urbanisme et de l'Office du patrimoine et des sites au sein d'un même département est un bon début. Cela devrait être complété par un renforcement des liens horizontaux entre les différents services et la création d'une plateforme d'échange d'expériences, d'informations et encore de personnes qualifiées prêtes à collaborer dans le cadre de projets transversaux.

Nous proposons, comme exemple de projet intégrateur, la création d'une base de données interactive qui rassemble les données existantes en lien avec la rénovation thermique des bâtiments, dans le but de fournir une base solide pour la prise de décision, la planification et l'harmonisation des politiques publiques.

P-11 ► Stimuler la demande en matière d'efficacité énergétique dans les bâtiments (politique différenciée, simplification des procédures, etc.)

Afin d'exploiter le plus grand potentiel d'économie d'énergie possible, il convient **de mettre en place une politique différenciée** d'amélioration de l'efficacité énergétique basée sur le niveau de performance énergétique des bâtiments.

Des stratégies combinées « push » et « pull » seront par exemple déployées à chacune des trois grandes catégories suivantes :

- Catégorie 1 : $Q_h > 450 \text{ MJ/m}^2\text{a} \Rightarrow$ Rénovation complète ou échelonnée conformément au Carnet Energie du Bâtiment (se référer à P-02) et visant la cible. Cette catégorie recèle le potentiel d'économie d'énergie le plus rentable.
- Catégorie 2 : $250 > Q_h > 450 \text{ MJ/m}^2\text{a} \Rightarrow$ Rénovation par bouquets de travaux prédéfinis et intéressant économiquement. Cette catégorie recèle le plus grand potentiel d'économie d'énergie.
- Catégorie 3 : $Q_h < 250 \text{ MJ/m}^2\text{a} \Rightarrow$ Mesures d'optimisation et d'amélioration par opportunité. Cette catégorie regroupe les bâtiments les plus performants.

Pour accélérer le rythme des rénovations, sans toutefois affecter la qualité, on propose **de simplifier les procédures administratives** à condition de recourir à un professionnel qualifié qui s'engage sur la performance énergétique et assure le processus du « commissioning ».

Enfin, il convient d'adapter les dispositifs financiers pour répondre aux objectifs fixés. Les aides financières en faveur de l'efficacité énergétique dans les bâtiments devraient être augmentées et une partie orientée vers les paquets de mesures énergétiques. On propose également que des aides financières soient octroyées à des rénovations qui respectent après travaux la consommation réelle prévue dans les justificatifs thermiques. Ce qui nécessite que

le calcul des besoins de chauffage par les bureaux d'ingénieurs soit effectué non seulement en conditions normées d'utilisation, mais également en conditions réelles en tenant compte des aspects techniques et comportementaux (cf. 5.3.1).

P-12 ► Contrôler, suivre et piloter la performance énergétique du parc immobilier genevois avec les bons indicateurs

La dernière proposition consiste à **contrôler l'application de la réglementation thermique à tous les niveaux** depuis la conception du projet jusqu'à la phase d'exploitation. Durant le processus de rénovation, l'expert responsable du « commissioning » pourra par exemple contrôler et confirmer la conformité des travaux réalisés avec ceux autorisés. L'OCEN se réserve toutefois le droit de réaliser des contrôles aléatoires.

Il est également important **de suivre de près la performance énergétique des bâtiments et de se doter d'indicateurs simples et pertinents pour piloter le parc immobilier genevois** vers les objectifs fixés. A cet égard, nous avons discuté dans le deuxième chapitre des limites de l'indice de dépense de chaleur IDC et avons proposé quelques pistes d'amélioration (cf. 2.5.3.4). Nous avons également remarqué au troisième chapitre que le taux de rénovation énergétique mérite d'être mieux défini et qu'un suivi continu par l'administration de la dynamique des rénovations énergétiques dans le canton nécessite de qualifier les données existantes au sein des services de l'Etat et de les regrouper dans une base de données interactive. Le pilotage du parc immobilier pourra ainsi se faire à partir d'un guichet unique.

Enfin, nous préconisons **la création d'un Observatoire Cantonal de la Rénovation Énergétique (OCRE)** rattaché au Département de l'aménagement, du logement et de l'énergie (DALE) et composé des représentants de l'ensemble des acteurs de la filière. Cette plateforme neutre sera chargée de suivre l'évolution des pratiques de rénovation et de proposer à l'équipe de pilotage des recommandations visant à lever les obstacles à la mobilisation du potentiel d'économie d'énergie.

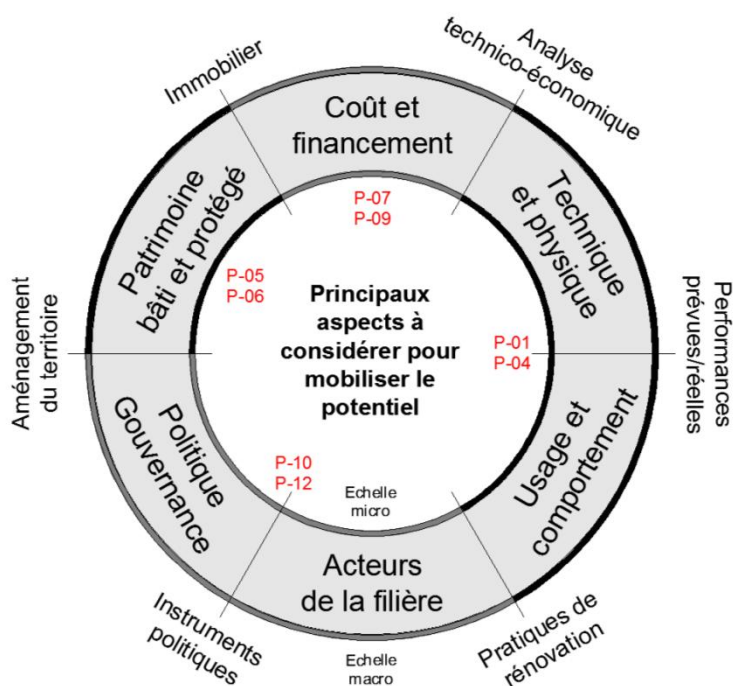
5.4 Synthèse, limites et perspectives

5.4.1 Synthèse des propositions

La Figure 5.8 fournit un schéma de synthèse des pistes d'action proposées dans ce chapitre pour mobiliser le potentiel d'économie d'énergie dans le secteur résidentiel collectif genevois. Ces propositions constituent des pistes de réflexion qui mériteraient d'être développées et approfondies dans le cadre d'études postérieures. Elles couvrent notamment les aspects suivants :

- les aspects techniques et d'usage ;
- les aspects de conservation du patrimoine ;
- les aspects économiques et financiers ;
- les aspects organisationnels et de gouvernance.

Figure 5.8. Pistes d'action pour mobiliser le potentiel d'économie d'énergie dans les bâtiments



Technique et usage	P-01 ►	Réduire la dégradation de la performance énergétique et éviter les ruptures dans la chaîne des responsabilités tout au long du processus de rénovation, de l'audit jusqu'à l'usage.
	P-02 ►	Choisir les solutions techniques appropriées et encourager les approches intégrées et bien structurées.
	P-03 ►	Mieux évaluer et surveiller la performance réelle des rénovations énergétiques.
	P-04 ►	Améliorer les pratiques actuelles par le biais de la formation, l'information et les retours d'expérience.
Conservation du patrimoine bâti	P-05 ►	Accélérer le recensement des ensembles résidentiels et des objets qualifiés intéressants et exceptionnels dignes d'être protégés sur le canton de Genève.
	P-06 ►	Renforcer la coordination et l'harmonisation des politiques en matière de rénovation énergétique et de conservation du patrimoine bâti, entre l'Office cantonal de l'énergie et le Service des monuments et des sites.
Economique et financier	P-07 ►	Réduire le coût initial élevé des travaux d'assainissement énergétique tout en maintenant les niveaux de performances attendus.
	P-08 ►	Améliorer les outils de financement de l'efficacité énergétique et les adapter aux besoins de la filière.
	P-09 ►	Identifier, évaluer et internaliser les gains externes (ou bénéfices connexes) des rénovations énergétiques.
Organisationnel et de gouvernance	P-10 ►	Adapter la filière professionnelle et favoriser l'émergence d'une offre mieux structurée, coordonnée et plus performante.
	P-11 ►	Stimuler la demande en matière d'efficacité énergétique dans les bâtiments (politique différenciée, simplification des procédures, etc.).
	P-12 ►	Contrôler, suivre et piloter la performance énergétique du parc immobilier genevois avec les bons indicateurs.

5.4.2 Limites et perspectives

Le champ d'étude couvert par ce travail interdisciplinaire consacré à la rénovation énergétique des bâtiments destinés à l'habitat collectif à Genève est relativement large. Dès lors, ce travail présente un certain nombre de limites, mais offre plusieurs perspectives pour la suite.

Approche interdisciplinaire pour approfondir les pistes d'action proposées

En vue de mobiliser davantage le potentiel d'économie d'énergie dans le secteur résidentiel collectif genevois, il conviendrait tout d'abord de reprendre, de discuter et de développer les 12 pistes d'action proposées dans le présent chapitre, dans le cadre de groupes de travail interdisciplinaires au niveau cantonal. Ensuite, comme cela a été déjà relevé dans ce travail, certains points mériteraient d'être traités de manière plus approfondis, comme par exemple les aspects liés à la conservation du patrimoine bâti à Genève, les aspects économiques et financiers, en menant par exemple des analyses coûts-bénéfices qui intégreraient les bénéfices non énergétiques liés à la rénovation des bâtiments. Enfin, il serait opportun de redéfinir et de clarifier certains indicateurs énergétiques (IDC, taux de rénovation énergétique, etc.), qui sont nécessaires pour piloter le parc immobilier genevois vers les objectifs énergétiques fixés.

Extension temporelle de l'étude

L'état des lieux réalisé dans le chapitre 2 s'est concentré en particulier sur le secteur résidentiel collectif genevois et représente une photographie du parc existant en 2010. Une première perspective à ce travail serait d'utiliser la méthode appliquée et les données existantes pour analyser l'évolution de la demande thermique de ces bâtiments sur la période précédente 1995-2010. Sur la base de cette évolution, il serait intéressant de poursuivre ce travail en établissant des scénarios d'évolution de la demande thermique du secteur à moyen et long terme. Cette approche nécessite notamment de définir une ou plusieurs évolutions des surfaces énergétiques du parc de bâtiments, du taux et de la qualité des rénovations énergétiques, etc. En complément, il serait bénéfique de coupler l'évolution de la demande de chaleur des bâtiments avec les disponibilités des ressources énergétiques locales et renouvelables sur le territoire.

Extension spatiale de l'étude

En ce qui concerne l'échelle géographique, il serait utile de reprendre ce travail à l'échelle suisse, en se basant sur les données existantes dans le canton de Genève. Dans ce cadre, les modèles établis dans le chapitre 2 pourront servir par exemple à déterminer la SRE des immeubles d'habitation suisse à partir de variables recensées dans le Registre fédéral des bâtiments et des logements (RegBL). Il est prévu que ce travail soit repris dans le cadre du groupe de travail pour le Pôle de compétence en recherche énergétique (SCCER) dans le champ d'action « Efficacité énergétique » auquel participe le groupe énergie/Forel de l'Université de Genève.

Approche globale : thermique et électrique

Le retour d'expérience effectué sur le bâtiment rénové Minergie dans le chapitre 4 a montré que la rénovation énergétique a permis de réduire la demande nette de chauffage du bâtiment d'environ 150 MJ/m²a (-35%), mais a par contre induit une consommation électrique supplémentaire de près de 10 MJ/m²a, imputée à la ventilation double-flux, à la pompe à

chaleur intégrée et au circulateur solaire. Le déploiement en masse de telles solutions d'efficacité énergétique nécessite d'avoir une approche globale qui ne se limite pas à l'énergie thermique, mais qui inclue également l'aspect électrique dans les scénarios d'économie d'énergie.

Vision globale de la chaîne énergétique

Le chapitre 5 de ce travail s'est concentré en particulier sur l'évaluation du potentiel d'économie d'énergie de chauffage (en énergie utile) des bâtiments destinés à l'habitat collectif dans le canton de Genève. Si l'on considère l'ensemble de la chaîne énergétique (de l'énergie primaire à l'énergie utile), les économies réalisées au niveau de la demande devraient induire des économies sur toute la chaîne de transformation énergétique, qui n'ont pas été comptabilisées dans ce travail. Par conséquent, les économies d'énergie engendrées par les rénovations énergétiques seraient plus importantes que celles identifiées dans ce chapitre. Dans une approche plus globale, il conviendrait de considérer l'ensemble du bilan énergétique dans l'évaluation des gisements d'économie d'énergie.

Impact des rénovations sur le développement des réseaux thermiques

Les réseaux thermiques sont aujourd'hui développés dans les zones à forte densité de chaleur, sur lesquelles sont implantées la plupart des grands ensembles résidentiels d'après-guerre comme par exemple la cité Nouvelle d'Onex, la cité du Lignon, la cité de Meyrin et la cité des Avanchets. Ces réseaux devraient permettre de valoriser les rejets thermiques sur le territoire et d'augmenter la part des ressources énergétiques renouvelables dans le système énergétique genevois. Cependant, la densité thermique de ces zones a tendance à fortement baisser dans les prochaines décennies, en raison notamment de :

- l'augmentation du rythme et de la qualité des rénovations énergétiques de ces bâtiments qui arrivent simultanément en période de rénovation ;
- une meilleure usage et gestion de l'énergie.

Se pose alors la question de savoir quels seront les impacts de l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les bâtiments sur la viabilité économique des réseaux thermiques existants et sur le développement de nouveaux réseaux sur le territoire genevois ? A ce sujet, plusieurs questions restent ouvertes à savoir :

- Comment adapter les niveaux de température de retour de distribution de chauffage (côté secondaire) lors de rénovations de bâtiments raccordés à des réseaux de chaleur, tout en profitant du surdimensionnement des radiateurs existants ?
- Comment réussir le découplage entre la chaleur pour le chauffage et celle destinée à la production de l'ECS, en vue de baisser le niveau de température des réseaux ?
- Quels indicateurs faut-il utiliser pour représenter le coût de la chaleur dans les bâtiments à basse consommation : $\text{CHF/m}^2_{\text{SRE}}$ plutôt que centimes de CHF/kWh ?

Chapitre 6 - Conclusions générales

La réalisation des objectifs fixés par la nouvelle stratégie énergétique suisse à l'horizon 2050 implique d'améliorer les connaissances sur l'efficacité énergétique du parc immobilier, qui restent aujourd'hui insuffisantes au niveau local. Cette thèse a traité de manière interdisciplinaire la problématique de la rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs genevois et a permis de tirer un certain nombre de conclusions que nous espérons utile pour la collectivité.

Caractéristiques du secteur résidentiel collectif genevois en 2010

L'état des lieux établi dans la première partie de cette étude sur les caractéristiques du secteur résidentiel collectif genevois a permis de relever les principaux points suivants :

- a. Le secteur étudié, bien qu'il ne comporte que 27% des bâtiments du canton, représente en 2010 presque la moitié de la surface énergétique totale du parc immobilier genevois (19.3 sur un total de 41 millions de m^2_{SRE}).
- b. Sur le plan énergétique et environnemental, les bâtiments destinés à l'habitat collectif consomment près de la moitié (43% ; 2'569 GWh PCI) de la consommation thermique du canton et sont responsables d'environ 45% des émissions totales du parc immobilier genevois en 2010 (émissions du secteur estimées à 595 kilotonnes de CO_2). Ce secteur est caractérisé par une très forte dépendance (97%) aux énergies fossiles importées et par une croissance rapide de l'énergie produite par les capteurs solaires thermiques qui ont atteint 6 GWh en 2010. On a constaté aussi que la substitution du mazout par le gaz dans le secteur résidentiel collectif est en retard par rapport à la situation cantonale (moitié gaz, moitié mazout en 2010). Les besoins totaux de chaleur (chauffage et ECS) de ce secteur ont été estimés à 2'226 GWh en 2010, dont près des trois quarts seraient dédiés au chauffage des locaux.
- c. L'analyse des données par tranches d'âge montre que près de la moitié de la surface totale énergétique du secteur appartient à des bâtiments construits entre 1946 et 1980. En 2010, ces bâtiments sont responsables d'un peu plus de la moitié de la consommation finale du secteur et des émissions de CO_2 associées. De par leur taille et leur niveau de consommation ($\text{IDC}_{\text{moyen}} = 513 \text{ MJ/m}^2$ en 2010), ces bâtiments occupent une place clé dans l'atteinte des objectifs d'économie d'énergie fixés à l'horizon 2050, surtout qu'ils arrivent aujourd'hui en période de rénovation. Leur besoin moyen de chaleur (chauffage et ECS) est estimé à 442 MJ/m^2 en 2010 et dépasse ainsi celui du secteur ($415 \text{ MJ/m}^2\text{a}$), qui est étonnamment presque égal à celui des bâtiments d'avant 1946 ($413 \text{ MJ/m}^2\text{a}$) et ne dépasse que de seulement 12% le besoin moyen des bâtiments construits après 1980 ($366 \text{ MJ/m}^2\text{a}$).
- d. En ce qui concerne la conservation du patrimoine bâti à Genève, le recensement effectué dans cette étude révèle qu'environ un tiers (36%) des bâtiments destinés à l'habitat collectif sont touchés par au moins une des mesures de protection du patrimoine I à III (bâtiments, sites ou ensembles bâtis protégés). Leur surface

énergétique est estimée à 6 millions de m^2_{SRE} et représente 31% de la SRE totale du secteur. Notons qu'une part significative de ces surfaces est comprise dans des ensembles résidentiels dignes d'être protégés, construits après-guerre. L'expérience montre que l'amélioration énergétique de ces bâtiments est possible sous réserve du respect de certaines conditions qui dépendent du niveau de conservation du patrimoine, mais engendre des surcoûts significatifs susceptibles de freiner les travaux de rénovation. Il ressort aussi de l'étude réalisée sur l'amélioration thermique de la Cité du Lignon, édifiée durant les années soixante et protégée par un plan de site depuis 2009, que seulement la moitié du potentiel total d'économie d'énergie de chauffage est mobilisable lorsqu'on veut rénover selon une variante en accord avec les valeurs patrimoniales.

- e. D'un point de vue plus global, la comparaison des statuts d'occupation et de la structure de la propriété des logements collectifs entre le canton de Genève et sept autres cantons-villes en Suisse montre que le secteur résidentiel collectif genevois se caractérise par :
- la plus forte proportion de logements occupés par des locataires (86%) ;
 - le plus faible taux de logements appartenant à des particuliers (41%) ;
 - le plus fort taux de logements collectifs détenus par les sociétés immobilières et les fonds de placement immobilier (20%).

Cette première étape nous semble indispensable pour mieux comprendre les enjeux liés à la rénovation thermique de ces bâtiments, et d'ainsi pouvoir proposer dans ce qui suit des pistes d'action pour mobiliser l'important potentiel d'économie d'énergie. Accroître l'efficacité énergétique du parc de logements collectifs existants nécessite d'augmenter à la fois le taux (quantité) et la qualité (performance énergétique) des rénovations.

Dynamique des rénovations à Genève (2004-2012)

La dynamique des rénovations énergétiques des immeubles d'habitation dans le canton de Genève a été analysée à partir des requêtes d'autorisation entrant à l'Office cantonal de l'énergie (OCEN) entre 2004 et 2012. Cette méthode a été retenue du fait que les données actuelles à disposition (dans le fichier FCBL) ne permettent pas de distinguer entre les travaux à plus-values énergétique et non énergétique.

Les résultats de cette analyse montrent une augmentation significative depuis 2010 des rénovations énergétiques d'immeubles d'habitation : augmentation du nombre et de la proportion énergie par rapport au total des rénovations énergie et non énergie. Le taux annuel moyen de rénovation énergétique des immeubles de logements collectifs genevois a quadruplé entre les périodes 2004-2010 et 2011-2012, notamment en raison de l'arrivée de la vague de rénovations des ensembles résidentiels d'après-guerre et du durcissement de la réglementation sur l'énergie. Néanmoins, le taux varie selon la nature et le type de travaux considérés. Si on considère les immeubles d'habitation, dont les travaux d'amélioration énergétique sont prévus sur au moins un élément de l'enveloppe et/ou le système de production de chaleur, le taux de rénovation énergétique passe de 0.39%/an (moyenne 2004-2010) à 1.62%/an (moyenne 2011-2012), s'approchant ainsi de l'objectif de 2%/an fixé par le canton de Genève pour toutes les catégories de bâtiments. En ne tenant compte que des immeubles dont au moins deux éléments de l'enveloppe sont prévus d'être assainis énergétiquement, avec ou sans la rénovation du système de production de chaleur, les taux

deviennent 0.26%/an (moyenne 2004-2010) et 1.08%/an (moyenne 2011-2012). Des pratiques différentes de rénovation selon le type de propriétaire ont pu être identifiées.

Un suivi régulier par l'administration de la dynamique des rénovations énergétiques dans le canton nécessite d'abord de mieux définir cet indicateur, ensuite de qualifier et de regrouper dans une base de données interactive les données existantes, en lien avec les travaux de rénovation énergétique, au sein des services de l'Etat.

Performances réelles et pratiques de rénovation

La seconde partie de l'étude s'intéresse à la performance réelle (énergétique et économique) des opérations de rénovation, en particulier celles concernant les immeubles d'habitation édifiés durant la période 1946-1980, dans une perspective d'amélioration et de diffusion des bonnes pratiques. L'étude se base sur un retour d'expérience d'un immeuble locatif construit en 1963 à Onex (GE) et rénové en 2008 selon le standard Minergie, et sur un benchmark d'un ensemble de 50 immeubles (10 opérations) rénovés à Genève entre 2006 et 2009.

Le bilan du retour d'expérience sur la rénovation Minergie du bâtiment 40-42 avenue du Gros-Chêne à Onex est globalement positif, et la possibilité de mener un suivi énergétique complet a permis de tirer de multiples enseignements.

D'un point de vue énergétique, cette rénovation a permis de réduire de 35% la demande nette en chauffage du bâtiment grâce à l'amélioration thermique de l'enveloppe et à la récupération de chaleur sur l'air extrait. Sa demande nette de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire est passée de 515 MJ/m²a à 370 MJ/m²a, dont environ 100 MJ/m²a sont consacrés à l'ECS. Si on compare ses besoins avec les besoins classés de chaleur (chauffage et ECS) en 2010 des bâtiments résidentiels collectifs construits durant la période 1946-1980 à Genève, on remarque que cette opération a permis de faire passer le bâtiment des 11% les moins performants au 25% les plus performants. La rénovation a aussi fait baisser l'indice de dépense de chaleur (IDC) du bâtiment de près de 300 MJ/m²a à 392 MJ/m²a (diminution de 41%, dont 11% suite au seul passage du mazout à la chaleur CADIOM).

L'amélioration de l'efficacité thermique du bâtiment a par contre induit des consommations électriques supplémentaires de près de 10 MJ/m²a, qui ont été compensées par les économies engendrées par l'assainissement de l'éclairage des parties communes estimées à 12 MJ/m²a (diminution d'environ 80% de la consommation électrique de ce poste). En revanche, nous avons constaté une augmentation de la consommation électrique des ménages de 10 MJ/m²a (+11%) suite à la rénovation, probablement à cause de la fermeture des balcons en loggias. Le déploiement en masse de telles solutions d'efficacité énergétique nécessite d'avoir une approche globale qui ne se limite pas à l'énergie thermique, mais qui inclue également l'énergie électrique dans les scénarios d'économie d'énergie.

Les économies d'énergie engendrées par cette rénovation peuvent paraître faibles à priori, mais s'expliquent notamment par le fait que la performance de l'enveloppe thermique s'appuie en grande partie sur celle des loggias froides, qui dépend fortement de l'utilisation faite par les occupants. Sur la base des comportements observés, des variantes à cette solution ont été proposées et discutées. Il est à noter que la sensibilité de la performance réelle des rénovations énergétiques au comportement des occupants est particulièrement

élevée dans les logements collectifs. Enfin, le suivi continu de l'installation solaire et de la ventilation mécanique contrôlée par des professionnels qualifiés leur a permis d'obtenir une bonne performance énergétique. Il convient de continuer le suivi des installations techniques pour pérenniser, voire améliorer les performances atteintes.

L'analyse énergétique a montré aussi que la demande de chauffage mesurée du bâtiment rénové est 2.3 fois plus élevée que l'objectif calculé en conditions normées d'utilisation (dépassement de 135%). Les principaux facteurs à l'origine de cet écart sont les effets liés aux conditions différentes d'utilisation et l'influence de l'opérateur dans la simulation de la demande prévue. Malgré ce dépassement, le bâtiment rénové respecte les exigences du label Minergie en rénovation à cause des facteurs de pondération adoptés dans le calcul Minergie. Par rapport aux 9 autres opérations de rénovation étudiées, ce dépassement se situe dans la partie supérieure de la fourchette qui est comprise entre 43% et 142% (sans considérer le cas d'une opération dont le dépassement a atteint 310%). L'analyse a montré qu'il existe, pour ces 10 opérations, une relation statistiquement assez robuste entre les économies d'énergie théoriques et réalisées. On constate aussi que plus le potentiel théorique prévu d'économie de chauffage est important, plus la part effectivement réalisée de ce potentiel est importante.

D'un point de vue économique, le coût global de la rénovation a été de l'ordre de 1'000 CHF HT/m²_{SRE}, dont 65% dédiés aux travaux d'amélioration énergétique. Le coût du kWh économisé par cette rénovation (30 centimes après les subventions) peut paraître élevé par rapport aux coûts actuels de l'énergie. Cependant, ce résultat ne prend pas en compte les nombreux gains externes (ou co-bénéfices) amenés par la rénovation. Malgré toutes les mesures mises en place récemment aux niveaux cantonal et fédéral pour inciter les propriétaires à s'engager dans des rénovations énergétiques, on remarque que la rentabilité des rénovations énergétiques est rendue difficile par le faible coût actuel de l'énergie.

Sur la base de l'analyse comparative effectuée, nous estimons que le coût global (travaux énergétiques et non énergétiques) à consacrer pour rénover au standard Minergie tous les immeubles d'habitation d'après-guerre à Genève serait de l'ordre de 10 milliards de CHF HT, soit près de 300 millions CHF par an d'ici à 2050 (sans considérer le surcoût lié à la conservation du patrimoine). La part liée à l'amélioration énergétique est estimée à près de 200 millions CHF par an si on considère la même répartition des coûts de la rénovation du bâtiment Gros-Chêne. Ce montant représente néanmoins le budget annuel consacré par le Programme Bâtiments de la Confédération pour l'assainissement de l'enveloppe des bâtiments et le recours aux énergies renouvelables dans toute la Suisse. La rénovation des bâtiments d'après-guerre nécessitera par conséquent un effort financier supplémentaire de la part des propriétaires, des locataires et de l'Etat.

Potentiels d'économie d'énergie : enjeux et mobilisation

Dans la dernière partie de l'étude, le potentiel théorique d'économie d'énergie pour le chauffage des bâtiments résidentiels collectifs construits entre 1946 et 1980 à Genève a été estimé à 677 GWh/a et représente plus de la moitié (53%) du potentiel total du secteur en 2010. Pour exploiter pleinement ce potentiel, le besoin moyen de chauffage de ces bâtiments doit être réduit au moins d'un facteur 3.5. La mobilisation de ce potentiel pose des difficultés qui ne sont pas nécessairement d'ordre technique, mais plutôt d'ordres économique et financier, d'usage et de conservation du patrimoine ou encore organisationnel et de gouvernance.

Si on lève tous les obstacles à la rénovation et on généralise les pratiques observées durant la période 2005-2010 sur l'ensemble des bâtiments d'après-guerre destinés à être rénovés au cours des prochaines années, on constate que le potentiel réaliste d'économie d'énergie engendrée par les mesures d'assainissement n'atteint même pas la moitié (42%) du potentiel théorique total évalué, soit 285 GWh/a au lieu de 677 GWh/a.

Il est donc indispensable pour atteindre les objectifs fixés par la Confédération, en particulier ceux visant à réduire de moitié la consommation de chauffage à l'horizon 2050, de réduire les écarts constatés entre les économies d'énergie prévues et réelles. Cela nécessite d'éviter les ruptures identifiées dans la chaîne des responsabilités tout au long du processus de rénovation et d'améliorer les pratiques de l'ensemble des acteurs de la filière de la rénovation, depuis l'audit jusqu'à l'usage des bâtiments par les occupants et les gestionnaires de l'énergie. L'atteinte de ces objectifs requiert également une stratégie globale et cohérente de rénovation des bâtiments à l'échelle du canton et des moyens supplémentaires pour assurer le suivi et le pilotage de la performance énergétique du parc immobilier. Cette étude propose enfin une série de 12 recommandations concrètes, listées ci-dessous, visant à mobiliser plus efficacement le potentiel d'économie d'énergie identifié.

Technique et usage	
P-01 ►	Réduire la dégradation de la performance énergétique et éviter les ruptures dans la chaîne des responsabilités tout au long du processus de rénovation, de l'audit jusqu'à l'usage.
P-02 ►	Choisir les solutions techniques appropriées et encourager les approches intégrées et bien structurées.
P-03 ►	Mieux évaluer et surveiller la performance réelle des rénovations énergétiques.
P-04 ►	Améliorer les pratiques actuelles par le biais de la formation, l'information et les retours d'expérience.
Conservation du patrimoine bâti	
P-05 ►	Accélérer le recensement des ensembles résidentiels et des objets qualifiés intéressants et exceptionnels dignes d'être protégés sur le canton de Genève.
P-06 ►	Renforcer la coordination et l'harmonisation des politiques en matière de rénovation énergétique et de conservation du patrimoine bâti, entre l'Office cantonal de l'énergie et le Service des monuments et des sites.
Economique et financier	
P-07 ►	Réduire le coût initial élevé des travaux d'assainissement énergétique tout en maintenant les niveaux de performances attendus.
P-08 ►	Améliorer les outils de financement de l'efficacité énergétique et les adapter aux besoins de la filière.
P-09 ►	Identifier, évaluer et internaliser les gains externes (ou bénéfices connexes) des rénovations énergétiques.
Organisationnel et de gouvernance	
P-10 ►	Adapter la filière professionnelle et favoriser l'émergence d'une offre mieux structurée, coordonnée et plus performante.
P-11 ►	Stimuler la demande en matière d'efficacité énergétique dans les bâtiments (politique différenciée, simplification des procédures, etc.).
P-12 ►	Contrôler, suivre et piloter la performance énergétique du parc immobilier genevois avec les bons indicateurs.

Liste des Figures

Chapitre 1.

- Figure 1.1. Evolution de la consommation d'énergie finale et d'électricité en Suisse de 1950 à 2010 et projections sur la période 2011-2050 pour les scénarios : Poursuite de la politique énergétique actuelle (WWB), Mesures politiques du Conseil fédéral (POM) et Nouvelle politique énergétique (NEP), en PJ (3.6 PJ = 1 TWh)..... 2

Chapitre 2.

- Figure 2.1. Structure du parc immobilier genevois..... 11
- Figure 2.2. Structure du parc immobilier genevois par catégories selon le nombre de bâtiments (à gauche) et la surface de référence énergétique SRE (à droite) en 2010..... 12
- Figure 2.3. Méthodologie pour déterminer la surface énergétique (SRE) totale des immeubles résidentiels à 3 logements et plus à Genève en 2010 18
- Figure 2.4. Modèles de régression linéaire retenus pour la détermination des surfaces de référence énergétiques (SRE) manquantes..... 21
- Figure 2.5. Présentation des modèles de régression A et B pour la catégorie « Hab-pur » 22
- Figure 2.6. Présentation des modèles de régression C et D pour la catégorie « Hab-mixte »..... 23
- Figure 2.7. Bâtiments, logements, pièces et surfaces chauffées destinées à l'habitat collectif selon l'époque de construction, à fin 2010..... 26
- Figure 2.8. Proportion de logements construits entre 1960 et 2011 à Genève, par commune 28
- Figure 2.9. Surfaces énergétiques (SRE) des bâtiments résidentiels collectifs construites à Genève entre 1946 et 1980, par commune 28
- Figure 2.10. Principales typologies de façades rencontrées à la Cité-Nouvelle d'Onex..... 31
- Figure 2.11. Influence du facteur d'enveloppe A_{th}/A_E sur les exigences des besoins de chauffage pour la rénovation des immeubles résidentiels à Genève 34
- Figure 2.12. Diagramme simplifié des flux d'énergie dans un bâtiment type à Genève 39
- Figure 2.13. Bilan des flux d'énergie thermique en GWh PCI des 10'168 bâtiments résidentiels collectifs genevois dont les données énergétiques sont disponibles. Ces bâtiments représentent 89% de la surface totale énergétique de ce secteur en 2010 44
- Figure 2.14. Structure de la consommation thermique connue des 10'168 bâtiments résidentiels collectifs selon l'époque de construction et l'agent énergétique utilisé à Genève en 2010 (En haut, l'énergie nette fournie ; en bas, la chaleur solaire produite sur site). 46
- Figure 2.15. Répartition des indices moyens de dépense de chaleur IDC exprimés en MJ/m²a selon l'époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010 (N=10'168 observations sur un total de 12'602 bâtiments)..... 51
- Figure 2.16. Répartition en percentiles des indices de dépense de chaleur IDC exprimés en MJ/m²a selon l'époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010. (La médiane est indiquée sur le graphique). 53
- Figure 2.17. Surface de référence énergétique SRE en milliers de m² (axe principal) et nombre de bâtiments concernés (axe secondaire) selon les classes d'IDC en 2010. Au total, 10'168 bâtiments résidentiels collectifs genevois couvrant une SRE de 17'225 milliers de m² (soit 89% de la SRE totale du secteur) 55

Figure 2.18. Surface de référence énergétique SRE en milliers de m ² selon les classes d'IDC et l'époque de construction des bâtiments, en 2010. Au total, 10'168 bâtiments résidentiels collectifs genevois couvrant une SRE totale de 17'225 milliers de m ² (soit 89% de la SRE totale du secteur).....	55
Figure 2.19. Surface de référence énergétique SRE en milliers de m ² (colonne de gauche) et nombre de bâtiments concernés (colonne de droite) selon les classes d'IDC et l'époque de construction en 2010. Au total, 10'168 bâtiments résidentiels collectifs couvrant une SRE de 17'225 milliers de m ²	56
Figure 2.20. Influence des systèmes de production de chaleur et des agents énergétiques choisis sur l'indice de dépense de chaleur.....	59
Figure 2.21. Répartition de la consommation nette totale (E _{hww}) du secteur résidentiel collectif (N=12'602 bâtiments, 2'569 GWh) selon l'âge des bâtiments à Genève, en 2010....	63
Figure 2.22. Bilan des flux d'énergie thermique en GWh PCI du secteur résidentiel collectif à Genève en 2010. Au total, 12'602 bâtiments résidentiels collectifs totalisant une surface de référence énergétique de 19.3 millions de m ² en 2010 (voir texte).....	66
Figure 2.23. Répartition des émissions de CO ₂ du secteur résidentiel collectif (N=12'602 bâtiments) selon l'époque de construction à Genève en 2010	69
Figure 2.24. Emissions moyennes en kgCO ₂ /m ² _{SRE} (axe principale) et émissions totales en KtCO ₂ (axe secondaire), selon l'époque de construction des 12'602 bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010	70
Figure 2.25. Besoins annuels moyens d'eau chaude sanitaire (ECS) de 13 complexes de bâtiments résidentiels collectifs composés de 65 allées à Genève, exprimés en fonction du nombre d'habitants et de la surface énergétique SRE (en haut) et en fonction du nombre de pièces (en bas).....	74
Figure 2.26. Productivités solaires théoriques et mesurées à Genève en fonction de la surface spécifique en m ² /personne.....	76
Figure 2.27. Besoins classés de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (Q _{hww}) en MJ/m ² des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010. Au total, 12'602 bâtiments (entièrement d'habitation et mixte) totalisant une surface énergétique de 19.3 millions de m ² . Les points indiquent par ordre décroissant le 9ème décile, le 3ème quartile, la médiane, le 1er quartile et le 1er décile.	78
Figure 2.28. Besoins classés de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (Q _{hww}) en MJ/m ² des bâtiments résidentiels collectifs à Genève, selon les trois grandes périodes de construction, en 2010. Les points indiquent par ordre décroissant le 9ème décile, le 3ème quartile, la médiane, le 1er quartile et le 1er décile.	80
Figure 2.29. Besoins classés de chaleur pour le chauffage et l'ECS (Q _{hww}) en MJ/m ² des bâtiments résidentiels collectifs, selon l'époque de construction à Genève en 2010. Les points indiquent par ordre décroissant le 9ème décile, le 3ème quartile, la médiane, le 1er quartile et le 1er décile.	81
Figure 2.30. Besoins moyens de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire en MJ/m ² des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010. L'énergie produite sur site et fournie au secteur est également représentée. Le secteur regroupe 12'602 bâtiments (entièrement d'habitation et mixte) totalisant une surface énergétique SRE de 19.3 millions de m ²).	83
Figure 2.31. Besoins moyens de chaleur pour le chauffage en MJ/m ² selon l'époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010 (valeur moyenne indiquée sur le graphique)	84
Figure 2.32. Distribution des besoins de chaleur pour le chauffage en MJ/m ² selon l'époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010 (valeur médiane indiquée sur le graphique).....	84

Figure 2.33. Répartition par époque de construction des surfaces énergétiques touchées et non touchées par les mesures de protection du patrimoine I à III (se référer au point 2.6.1.1) du secteur résidentiel collectif à Genève.....	93
Figure 2.34. Vue d'ensemble de la Cité satellite du Lignon construite dans les années soixante en périphérie de la Ville de Genève et protégée depuis 2009 par un plan de site. Les allées n°20 à 24 sont représentées à droite de la figure.	95
Figure 2.35. Synthèse des différentes variantes proposées pour l'amélioration thermique de l'enveloppe de l'immeuble n°22 (SRE = 2'919 m ²) de la Cité satellite du Lignon à Genève	97
Figure 2.36. Répartition par époque de construction des surfaces énergétiques touchées par les mesures de protection du patrimoine I à III (se référer au point 2.6.1.1) du secteur résidentiel collectif à Genève. Les besoins de chauffage sont indiqués pour chaque tranche d'âge sans différencier entre les bâtiments protégés et autres.	100
Figure 2.37. Statut d'occupation des logements collectifs ⁽¹⁾ occupés ⁽²⁾ dans huit cantons-villes (dont Genève) et pour l'ensemble de la Suisse, en 2000	102
Figure 2.38. Type de propriétaire des logements collectifs ⁽¹⁾ occupés ⁽²⁾ dans huit cantons-villes (dont Genève) et pour l'ensemble de la Suisse, en 2000	103
Figure 2.39. Statut d'occupation et type de propriétaire des logements collectifs ⁽¹⁾ occupés en permanence ⁽²⁾ à Genève, en 2000 (N= 155'000 logements).....	104
Figure 2.40. Surfaces énergétiques en 2010 des bâtiments résidentiels collectifs à Genève selon l'époque de construction et de rénovation ⁽¹⁾ depuis 1981. Les taux de surfaces rénovées et non rénovées entre 1981 et 2010 sont indiqués sur la figure..	106

Chapitre 3.

Figure 3.1. Schéma récapitulatif de la démarche utilisée pour sélectionner les 538 requêtes d'autorisation concernant les travaux de rénovation, d'entretien et de transformation de bâtiments résidentiels collectifs à Genève.....	115
Figure 3.2. Evolution des requêtes d'autorisation de rénovation (à gauche) et des immeubles d'habitations concernés (à droite) selon la nature des travaux (énergie/non énergie) et l'année de dépôt des requêtes (2004 à 2012), dans le canton de Genève.....	120
Figure 3.3. Evolution du nombre d'immeubles d'habitation concernés par les requêtes d'autorisation « énergie » selon l'époque de construction des bâtiments et l'année de dépôt des requêtes (2004 à 2012), dans le canton de Genève	122
Figure 3.4. Evolution du nombre d'immeubles d'habitation concernés par les requêtes d'autorisation « énergie » selon le type de travaux envisagés (par sous-catégories) et l'année de dépôt des requêtes (2004 à 2012) dans le canton de Genève.....	124
Figure 3.5. Evolution du taux de rénovation énergétique des immeubles d'habitation concernés par les requêtes d'autorisation "énergie" déposées entre 2004 et 2012 à Genève	125
Figure 3.6. Requêtes d'autorisation (en haut) et immeubles d'habitation concernés (en bas) selon le type de propriétaires et la nature des travaux envisagés (énergie/non énergie) à Genève entre mars 2004 et mai 2012	127
Figure 3.7. Immeubles d'habitation concernés par les requêtes d'autorisation « Energie » selon le type de propriétaires et le type de travaux envisagés (mars 2004 - mai 2012)	129

Chapitre 4.

Figure 4.1. Plans de situation de la Cité-Nouvelle d'Onex et du bâtiment 40-42.....	136
Figure 4.2. Plans de situation de l'ensemble locatif.....	137
Figure 4.3. Coupe type et façade principale du bâtiment avant rénovation	138
Figure 4.4. Plan rez-de-chaussée du bâtiment 40-42 (rénové) et du 36-38 (non rénové)	140

Figure 4.5. Plan étage type du bâtiment 40-42 (rénové) et du 36-38 (non renové)	140
Figure 4.6. Plan étage type du bâtiment 40-42 (rénové).....	140
Figure 4.7. Plan masse du 40-42 (rénové avec capteurs solaires) et du 36-38 (non renové)	141
Figure 4.8. Façades sud-ouest du bâtiment 40-42 (rénové) et du 36-38 (non renové)	141
Figure 4.9. Façades nord-est du bâtiment 36-38 (non renové) et du 40-42 (rénové).....	141
Figure 4.10. Photos du bâtiment 40-42 (rénové) et du 36-38 (non renové).....	142
Figure 4.11. Vue panoramique des barres d'habitation de la Cité-Nouvelle d'Onex	142
Figure 4.12. Façades sud-ouest avant rénovation (à gauche) et après rénovation (à droite)	143
Figure 4.13. Coupe type après rénovation	144
Figure 4.14. Schéma des installations de production de chaleur réalisé par.....	145
Figure 4.15. Schéma de principe du système de ventilation (monobloc de ventilation à gauche et distribution en passant par les loggias à droite)	146
Figure 4.16. Vue des principales installations techniques	147
Figure 4.17. Signature énergétique mazout des bâtiments 36-42 (idem 40-42) avant rénovation (période 2003-2007).....	152
Figure 4.18. Consommations d'énergie électrique et thermique (normalisée par rapport à 2'507 DJ _{12/18}) ramenées à un mètre carré de plancher chauffé (SRE) et exprimées en MJ par m ² et par an (MJ/m ² a).....	155
Figure 4.19. Coût de l'énergie d'exploitation ramené à un mètre carré de plancher chauffé (SRE) et exprimé en franc suisse hors taxe par mètre carré et par an (CHF/m ² a). .	155
Figure 4.20. Émissions associées à l'énergie d'exploitation, ramenées à un mètre carré de plancher chauffé (SRE) et exprimées en kilogramme de CO ₂ équivalent par m ² et par an (kg CO ₂ éq/m ² a).	155
Figure 4.21. Diagramme de flux pour le bâtiment 40-42 (moyenne 2008-2010).....	160
Figure 4.22. Diagramme de flux pour le bâtiment 36-38 (moyenne 2008-2010), référence 2	160
Figure 4.23. Puissances thermiques journalières du bâtiment 40-42 du 1 ^{er} octobre 2009 au 30 septembre 2010. Les valeurs sont exprimées en W/m ² (SRE=5'357 m ²)	162
Figure 4.24. Evolution de l'IDC du bâtiment 36-42 et distribution des IDC à Onex en 2010	163
Figure 4.25. Evolution de la demande nette de chaleur des bâtiments avant et après rénovation	164
Figure 4.26. Besoins classés de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire Q _{hww} en MJ/m ² des bâtiments résidentiels collectifs à Genève, selon les trois grandes périodes de construction, en 2010 (cf. point 2.5.6.4). Les points indiquent par ordre décroissant le 9 ^e décile, le 3 ^e quartile, la médiane, le 1 ^{er} quartile et le 1 ^{er} décile. Les carrés représentent la demande thermique nette des bâtiments avant et après rénovation.....	166
Figure 4.27. Signature énergétique de chauffage des bâtiments 40-42 (rénové) et 36-38 (non renové ; référence 2) sur les deux années de suivi 2008-2009 (à gauche) et 2009-2010 (à droite).....	167
Figure 4.28. Puissances horaires classées délivrées par CADIOM aux bâtiments 40-42 renové et 36-38 non renové pour l'année 2009-2010.....	168
Figure 4.29. Consommation annuelle d'électricité des ménages du bâtiment 40-42 (rénové avec fermeture des balcons en loggias) et du 36-38 (non renové) avant et après rénovation. Les consommations normalisées sur 365 jours sont exprimées en fonction de la SRE totale de chacun des bâtiments (5'357 m ²).	169
Figure 4.30. Consommation annuelle d'électricité des parties communes du bâtiment 40-42 avant et après rénovation. Les consommations sont exprimées en fonction de la SRE du bâtiment (5'357 m ²).	170

Figure 4.31. Demande nette de chauffage du bâtiment 40-42 normalisée à 2'507 DJ _{12/18} et exprimée en MJ/m ² par an (SRE=5'357 m ²). A gauche, les valeurs en conditions normées d'utilisation et à droite, les valeurs en conditions réelles d'utilisation	172
Figure 4.32. Coefficients de performance horaire de la ventilation double-flux et de la PAC sur air vicié en fonction de la température extérieure (octobre 2009 à mai 2010) ..	177
Figure 4.33. Performances des systèmes techniques mesurées entre le 1er octobre 2009 et le 30 septembre 2010 : dynamique annuelle à gauche en W/m ² (SRE=5'357 m ²) et graphique input-output à droite en kWh. Haut : ventilation à double-flux. Milieu : pompe à chaleur. Bas : solaire thermique.	178
Figure 4.34. A gauche, les balcons vitrés du bâtiment 40-42 après rénovation. A droite, les balcons du 36-38 équivalents au 40-42 avant rénovation.....	183
Figure 4.35. Monitoring des loggias	185
Figure 4.36. Système de mesure	185
Figure 4.37. Température mensuelle des vérandas sud-ouest en fonction de la température extérieure ($T_{vs}=0.62T_{ext}+11$).....	187
Figure 4.38. Température mensuelle des vérandas nord-est en fonction de la température extérieure ($T_{vn}=0.6T_{ext}+11.6$)	187
Figure 4.39. Température médiane mensuelle des vérandas sud-ouest (T_{vs}), des pièces adjacentes (T_{pce}) et de l'air extérieur (T_{ext}) mesurée avec un pas de 10 min (juillet 2009-juin 2010).....	188
Figure 4.40. Evolution des températures mensuelles 10p, 50p, et 90p des vérandas sud-ouest, mesurées avec un pas de 10 min de juillet 2009 à juin 2010. Chaque valeur est la moyenne sur deux vérandas. Les points rouges représentent la médiane des températures extérieures $T_{ext}(50p)$, $\Delta T=10$ min.....	188
Figure 4.41. Influence du comportement des usagers sur la performance thermique des loggias	190
Figure 4.42. Photo illustrant différentes gestions des loggias sud-ouest le 23/02/2010 à 10h.....	191
Figure 4.43. Graphique de gauche : Gestion observée des loggias sud-ouest du bâtiment 40-42 dans des conditions réelles d'utilisation sur deux journées de novembre 2013. Droite : Evolution avec un pas de temps horaire du taux de loggias fermées (SIT-1) entre 8h et 17h.....	193
Figure 4.44. Photos de la façade sud-ouest du bâtiment 40-42, dans l'infrarouge (à gauche) et dans le spectre visible (à droite), prises le 10/2/2012 à 10h ($T_{ext}=-8^{\circ}\text{C}$). La photo en bas à gauche montre un exemple d'une loggia chauffée (SIT-3).	194
Figure 4.45. Influence de l'occupant sur la performance des loggias nord-est durant les nuits d'hiver du 3 au 9 janvier 2010 : Cas d'une loggia chauffée.....	195
Figure 4.46. Influence de l'occupant sur la performance des loggias sud-ouest durant les journées d'hiver du 3 au 9 janvier 2010	196
Figure 4.47. Graphique de gauche : Facteur de voilage moyen par colonne des loggias sud-ouest du bâtiment 40-42 observé dans des conditions réelles d'utilisation sur deux journées de novembre 2013. Droite : Evolution moyenne du facteur de voilage entre 8h et 17h (pas de temps horaire).....	197
Figure 4.48. Effet du facteur de voilage sur les gains solaires et la demande de chauffage (résultats générés à partir de simulations Enercad)	197
Figure 4.49. Coût des travaux de rénovation du bâtiment 40-42 exprimé en CHF hors taxes par mètre carré de surface énergétique	207
Figure 4.50. Récapitulation du coût des travaux de rénovation par groupes et sous-groupes	209
Figure 4.51. Solutions d'efficacité énergétiques intégrées au bâtiment 40-42	210
Figure 4.52. Coût du kWh économisé ou substitué par les solutions d'efficacité énergétique	213

Figure 4.53. Coût du négakWh (hors subventions, avec et sans intérêts) en fonction de l'énergie économisée ou substituée sur toute la durée d'amortissement par l'enveloppe rénoverée, le solaire thermique et la ventilation contrôlée. La durée d'amortissement retenue est de 40 ans pour l'enveloppe et de 20 ans pour les systèmes techniques	213
Figure 4.54. Coût de la tonne de CO ₂ évitée par les solutions d'efficacité énergétique	214
Figure 4.55. Coût de la tonne de CO ₂ évitée (hors subventions) en fonction des émissions évitées sur toute la durée d'amortissement. La durée d'amortissement est de 40 ans pour l'enveloppe et de 20 ans pour les systèmes techniques	214
Figure 4.56. Relation entre charges énergétiques et indices de dépenses de chaleur	221
Figure 4.57. Classification des coûts des travaux de rénovation selon les modalités de l'ancienne LDTR (avant le 5.8.2010) et la nouvelle LDTR (après le 5.8.2010)	223
Figure 4.58. Report réel du coût des travaux sur les loyers, fondé sur l'ancienne LDTR, selon les états locatifs communiqués (Scénario de référence)	227
Figure 4.59. Report théorique sur les loyers avec un plafond LDTR de 3'363 CHF/pce/an, fondé sur l'ancienne LDTR (Scénario 1)	227
Figure 4.60. Report théorique sur les loyers avec un déplafonnement admis à 3'650 CHF/pce/an, fondé sur l'ancienne LDTR (Scénario 2)	227
Figure 4.61. Report théorique sur les loyers avec un plafond LDTR de 3'363 CHF/pce/an, fondé sur la nouvelle LDTR (Scénario 3)	228
Figure 4.62. Hausse totale des loyers, avant la baisse des charges énergétiques, fondée sur la nouvelle LDTR avec un plafond LDTR de 3'363 CHF/pce/an (Scénario 3)	228
Figure 4.63. Hausse nette des loyers, après la baisse des charges énergétiques, fondée sur la nouvelle LDTR avec un plafond LDTR de 3'363 CHF/pce/an (Scénario 3)	228
Figure 4.64. Répartition annuelle des coûts des travaux de rénovation à plus-value entre propriétaire, locataires et Etat (uniquement subventions) pour le scénario de référence	230
Figure 4.65. Répartition des loyers avant et après travaux (bât 40-42)	232
Figure 4.66. Répartition des loyers du bâtiment 40-42 après travaux selon l'ancienne LDTR (scénario de référence) et la nouvelle LDTR (scénario 3). La diagonale représente les loyers nets avant travaux	233
Figure 4.67. Besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire Q_{hww} des bâtiments sélectionnés avant rénovation, exprimés en MJ/m ² a. Ces valeurs, indiquées sur la figure par des cercles rouges, sont comparées à la distribution des besoins thermiques (chauffage et ECS) du parc résidentiel collectif genevois en 2010	239
Figure 4.68. Notions de potentiels d'économie de chauffage utilisés	240
Figure 4.69. Demandes de chauffage avant et après rénovation exprimées en MJ/m ² a	242
Figure 4.70. Economies de chauffage théoriques et réalisées des opérations de rénovation, exprimées en MJ/m ² a. Le tracé indique en pourcentage les économies mobilisées (axe secondaire)	242
Figure 4.71. Relation entre les économies de chauffage théoriques et réalisées, exprimées en MJ/m ² a (voir définitions au point 4.5.3.1)	244
Figure 4.72. Relation entre les parts d'économies de chauffage mobilisées en % et les économies de chauffage théoriques exprimées en MJ/m ² a (voir définitions au point 4.5.3.1)	244
Figure 4.73. Coût global des opérations de rénovation et économies de chauffage réalisées	246
Figure 4.74. Augmentation des loyers après rénovation et économies de chauffage réalisées	248

Chapitre 5.

Figure 5.1. Potentiels théoriques d'économie d'énergie de chauffage du secteur résidentiel collectif genevois en 2010, selon l'époque de construction des bâtiments. Le graphique du haut présente les besoins moyens de chauffage en fonction de la SRE, tandis que le graphique du bas présente les besoins classés de chauffage.....	255
Figure 5.2. Principaux aspects à considérer pour une meilleure mobilisation du potentiel d'économie d'énergie dans les bâtiments	257
Figure 5.3. Potentiels théoriques et réalistes d'économie d'énergie de chauffage des bâtiments résidentiels collectifs construits entre 1946 et 1980 à Genève. Le potentiel réaliste est évalué en utilisant l'équation 4.4	258
Figure 5.4. Représentation schématique des différentes étapes de rénovation et des principales ruptures identifiées dans la chaîne des responsabilités	260
Figure 5.5. Répartition par époque de construction des surfaces énergétiques touchées par les mesures de protection du patrimoine I à III du secteur résidentiel collectif à Genève. La surface colorée représente une estimation du potentiel théorique mobilisable des bâtiments d'après-guerre. Les besoins de chauffage sont indiqués par tranche d'âge sans différencier entre les bâtiments protégés et autres.....	264
Figure 5.6. Proposition de classification des propriétaires d'immeubles d'habitation à Genève, selon le degré de difficulté d'accès au financement et la contrainte de rentabilité (contrainte élevée lorsque le taux de rentabilité interne (TRI) est supérieur à 4%, faible lorsque le TRI est inférieur à 2%).	267
Figure 5.7. Complexité des interactions entre les différents acteurs de la filière de la rénovation énergétique	274
Figure 5.8. Pistes d'action pour mobiliser le potentiel d'économie d'énergie dans les bâtiments	278

Liste des Tableaux

Chapitre 2.

Tableau 2.1. Segmentation du parc immobilier genevois par catégories en 2010	12
Tableau 2.2. Structure du parc des bâtiments à usage d'habitation à Genève et en Suisse.....	14
Tableau 2.3. Caractéristiques du secteur résidentiel collectif	14
Tableau 2.4. Tableau récapitulatif des surfaces énergétiques (SRE) du parc immobilier genevois en 2010 selon la catégorie de bâtiments.....	16
Tableau 2.5. Bâtiments, logements, pièces et surfaces chauffées destinées à l'habitat collectif selon l'époque de construction, en 2010	25
Tableau 2.6. Caractéristiques physiques d'un échantillon composé d'une vingtaine de bâtiments résidentiels construits à Genève entre 1946 et 1975	32
Tableau 2.7. Données énergétiques disponibles des bâtiments et leurs surfaces respectives, selon l'époque de construction	36
Tableau 2.8. Définitions proposées pour la comptabilisation de l'énergie dans le bâtiment	40
Tableau 2.9. Rendements annuels moyens estimés des systèmes existants de production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (secteur résidentiel collectif à Genève).....	41
Tableau 2.10. Tableau récapitulatif des principales obligations légales selon l'ancienne directive et la nouvelle directive pour le calcul de l'IDC à Genève	50
Tableau 2.11. Surface de référence énergétique SRE en milliers de m ² et nombre de bâtiments dépassant les seuils fixés par la loi selon l'époque de construction des bâtiments, en 2010.....	57
Tableau 2.12. Propositions d'amélioration de l'indice de dépense de chaleur	60
Tableau 2.13. Consommation nette totale (E_{hww}) du secteur résidentiel collectif (12'602 bâtiments), de la part connue (10'168 bâtiments) et de la part extrapolée (2'434 bâtiments) selon l'époque de construction des bâtiments à Genève, en 2010	63
Tableau 2.14. Répartition de la consommation finale du secteur résidentiel collectif (12'602 bâtiments totalisant une SRE estimée à 19.3 millions de m ²) selon l'agent énergétique utilisé et l'époque de construction des bâtiments à Genève, en 2010	64
Tableau 2.15. Récapitulatif des résultats obtenus avec les deux méthodes	72
Tableau 2.16. Récapitulatif des besoins de chaleur et des énergies produites et fournies au secteur résidentiel collectif à Genève en 2010. Pour la définition des nomenclatures, se référer à 2.5.1.5.....	78
Tableau 2.17. Besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (Q_{hww}) en MJ/m ² selon l'époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs à Genève en 2010	80
Tableau 2.18. Valeurs moyennes des besoins de chaleur et des énergies produites et fournies au secteur résidentiel collectif genevois, selon l'époque de construction, en 2010. Pour la définition des nomenclatures, se référer au point 2.5.1.4.	83
Tableau 2.19. Tableau récapitulatif des bâtiments touchés par des mesures de protection du patrimoine à Genève.	91

Tableau 2.20. Répartition par époque de construction des bâtiments résidentiels collectifs genevois touchés par les mesures I à III de protection du patrimoine. Les taux de protection des bâtiments, des logements et des surfaces énergétiques du secteur sont présentés par époque de construction dans la partie inférieure du tableau.	92
Tableau 2.21. Comparaison des besoins moyens de chauffage (Q_{hmoy}) en 2010 des bâtiments touchés par les mesures de protection I et II avec ceux du secteur résidentiel collectif genevois.	94
Tableau 2.22. Récapitulatif des économies d'énergie de chauffage des différentes variantes estimées en conditions réelles d'utilisation pour l'immeuble n°22 et pour l'ensemble de la Cité du Lignon. Les coûts concernent les travaux sur l'enveloppe et sont exprimés en CHF TTC/m ² _{SRE}	97
Tableau 2.23. Comparaison des besoins moyens de chauffage des bâtiments rénovés ⁽¹⁾ entre 1981 et 2010 avec ceux de l'ensemble du secteur par tranches d'âge de construction.....	106
Tableau 2.24. Synthèse des principaux indicateurs du secteur résidentiel collectif genevois en 2010 (pour les acronymes, voir texte)	108

Chapitre 3.

Tableau 3.1. Part de rénovations énergétiques réalisées au niveau des différents éléments de l'enveloppe et taux annuel de rénovation énergétique entre 1996 et 2010.	112
Tableau 3.2. Tableau récapitulatif des résultats (au total, 538 requêtes d'autorisations sélectionnées totalisant 990 immeubles d'habitation, déposés entre le 1 ^{er} mars 2004 et fin mai 2012).	115
Tableau 3.3. Extrait de la liste des requêtes d'autorisation.....	116
Tableau 3.4. Catégories, sous-catégories et types de travaux soumis à autorisation	118
Tableau 3.5. Répartition des autorisations de rénovation et des immeubles d'habitation concernés, selon la nature des travaux envisagés énergie et non énergie (mars 2004-mai 2012)	119
Tableau 3.6. Comparaison des résultats entre les deux périodes 2004-2010 et 2011-2012.....	122
Tableau 3.7. Evolution du nombre d'immeubles d'habitation concernés par les requêtes d'autorisation « énergie » entre la période 2004*-2010 et la période 2011-2012*, selon le type de travaux envisagés (par catégories et sous-catégories).....	124

Chapitre 4.

Tableau 4.1. Caractéristiques générales du bâtiment 40-42.....	139
Tableau 4.2. Caractéristiques des principales installations techniques du bâtiment 40-42.....	146
Tableau 4.3. Récapitulatif des caractéristiques énergétiques des bâtiments 40-42 et 36-38	148
Tableau 4.4. Consommation de mazout normalisée sur 365 jours (période du 1 ^{er} juin au 31 mai) de 2003 à 2007	151
Tableau 4.5. Consommation thermique normalisée du bâtiment 40-42 avant rénovation.....	153
Tableau 4.6. Consommation annuelle d'électricité en MJ/m ² _{SRE} des communs d'immeuble et des ménages du bâtiment 40-42 (période de référence 2003-2007).....	154
Tableau 4.7. Tableau récapitulatif de la performance du bâtiment 40-42 avant rénovation (2003-2007) et enjeux associés	158
Tableau 4.8. Demande thermique nette des bâtiments 36-38 et 40-42 (2008-2010).....	159
Tableau 4.9. Gains sur la demande nette de chaleur du bâtiment 40-42 liés à la rénovation	165
Tableau 4.10. Demande thermique nette avant et après rénovation (2'659 DJ/an).....	165
Tableau 4.11. Consommation électrique globale du bâtiment 40-42 avant et après rénovation..	168

Tableau 4.12. Demande nette de chauffage du bâtiment 40-42, normalisée à 2'507 DJ _{12/18} (SRE=5'357 m ²)	171
Tableau 4.13. Indice pondéré Minergie du bâtiment 40-42 selon le justificatif et le suivi énergétique	173
Tableau 4.14. Coefficients de transmission thermique des principaux composants de l'enveloppe.....	182
Tableau 4.15. Récapitulatif des caractéristiques thermiques de la paroi intérieure et extérieure des loggias d'un étage (surface des parois = 113.5 m ²)	184
Tableau 4.16. Températures maximales (T _{vs,max}) et minimales (T _{vs,min}) des vérandas sud-ouest du bâtiment 42. Chaque valeur est la moyenne sur deux vérandas, mesurée avec un pas de 10 min, de juillet 2009 à juin 2010	189
Tableau 4.17. Variantes possibles à la solution technique choisie.....	198
Tableau 4.18. Performances thermiques des loggias chaude et froide.....	200
Tableau 4.19. Analyse technico-économique des solutions d'efficacité énergétique	215
Tableau 4.20. Pertes d'énergie évitées par l'enveloppe rénover (scénarios haut et bas)	216
Tableau 4.21. Coûts du kWh économisé et de la tonne de CO ₂ évitée pour les 3 scénarios.....	217
Tableau 4.22. Baisse des charges énergétiques du bâtiment 40-42 suite à la rénovation	220
Tableau 4.23. Baisse des charges énergétiques pour les 4 situations.....	222
Tableau 4.24. Incidence potentielle des travaux de rénovation sur les loyers (ancienne LDTR avant le 5.8.2010)	225
Tableau 4.25. Incidence potentielle des travaux de rénovation sur les loyers (nouvelle LDTR après le 5.8.2010)	225
Tableau 4.26. Répartition du coût des travaux à plus-values entre propriétaire, locataires et Etat (subventions uniquement) pour le scénario de référence et pour les 3 scénarios choisis.....	231
Tableau 4.27. Récapitulatif des différentes étapes pour la sélection des opérations de rénovation	236
Tableau 4.28. Caractéristiques générales des opérations de rénovation sélectionnées. Pour plus de détails, se référer aux fiches descriptives à l'Annexe A24	238

Chapitre 5.

Tableau 5.1. Potentiels théoriques d'économie d'énergie de chauffage du secteur résidentiel collectif genevois calculés en utilisant deux facteurs d'enveloppe A _{th} /A _E et différents niveaux d'exigences énergétiques (potentiel défini comme la différence entre les besoins réels de chauffage Q _h des immeubles d'habitation en 2010 et la valeur limite autorisée pour la rénovation Q _{h,li}).....	254
Tableau 5.2. Principaux instruments européens pour le financement de l'efficacité énergétique dans les bâtiments existants	272

Bibliographie

- [1] OFEN, «Rapport explicatif concernant la stratégie énergétique 2050 (projet soumis à la consultation)», Office fédéral de l'énergie, Berne, 2012.
- [2] PROGNOSE AG, «Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050», Mandat pour l'Office fédéral de l'énergie, Basel, 2012.
- [3] OFEN, «Statistique globale suisse de l'énergie 2010», Office fédéral de l'énergie, Berne, 2011.
- [4] OFEN, «Stratégie énergétique 2050: premier paquet de mesures», Office fédéral de l'énergie, Berne, 2012.
- [5] MINERGIE, «Rapport d'activité 2013», Association Minergie (www.minergie.ch), Berne, 2014.
- [6] BPIE, «Europe's buildings under the microscope», Buildings Performance Institute Europe, 2011.
- [7] L. Itard, F. Meijer, E. Vriens et H. Hoiting, «Building Renovation and Modernisation in Europe: State of the art review», OTB Research Institute for Housing, Urban and Mobility Studies, Delft University of Technology, Delft, 2008.
- [8] OCSTAT, «Système statistique du parc immobilier et statistique de la construction», Office cantonal de la statistique, Genève, 2012.
- [9] J. Tschopp, «Economies d'énergie et conservation du patrimoine, deux intérêts publics divergents ?», Mémoire n°70, présenté à l'Université de Genève sous la direction de B. Lachal et J. Khoury, Genève, 2012.
- [10] OPS, «Comptabilité - évaluation du patrimoine bâti du canton de Genève», Office cantonal du patrimoine et des sites, Genève, 2012.
- [11] OCSTAT, «Bâtiments selon le type, par commune, en 2010», Office cantonal de la statistique, Genève, 2011.
- [12] OCSTAT, «Catalogue des caractères, Fichier général des bâtiments (FGB) et Fichier de référence des logements (FRL)», Office cantonal de la statistique, Genève, 2009.
- [13] OFS, «Construction et logement 2010», Office fédéral de la statistique, Neuchâtel, 2011.
- [14] OCSTAT, «Surface des locaux non résidentiels selon l'affectation, par secteur statistique et par commune, en 2010», Office cantonal de la statistique, Genève, 2011.
- [15] OCSTAT, «Bilan des livraisons d'énergie aux consommateurs finals, depuis 1987», Office cantonal de la statistique, Genève, 2011.
- [16] COLLECTIF, Amélioration thermique des bâtiments collectifs, Paris: Editions parisiennes, 2011.
- [17] F. Meijer, L. Itard et M. Sunnikka-Blank, «Comparing European residential building stocks: performance, renovation and policy opportunities», *Building Research & Information*, pp. 37 (5-6), 533-551, 2009.

- [18] OCSTAT, «La construction dans le canton de Genève, 50 ans d'observation statistique», Office cantonal de la statistique, Genève, 2013.
- [19] B. Marchand, «Typologie des logements collectifs à Genève, Proposition de classement selon des contextes différenciés», Lausanne, 1992.
- [20] R. Fischer et P. Schwehr, «Typenbasierte Evaluation – Chancen für die ganzheitliche Wohnbaurerneuerung», Zurich, 2008.
- [21] S. Peter et R. Fischer, «Building Typology and Morphology of Swiss Multi-Family Homes 1919-1990», Competence Centre for Typology and Foresight Planning in Architecture (CCTP), Lucerne, 2010.
- [22] TABULA Project Team, «Typology Approach for Building Stock Energy Assessment (website: www.building-typology.eu)», Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2012.
- [23] RAGE, «Analyse détaillée du parc résidentiel existant», Etude réalisée dans le cadre du programme Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012, France, 2012.
- [24] APUR, «Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1945 et 1974», Atelier parisien d'urbanisme, Paris, 2011.
- [25] PIBAT, «Vieillesse des éléments de construction et coût d'entretien», Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne, Suisse, 1995.
- [26] W. Weber, B. Lachal, A. Gsponer et O. Guisan, «Réhabilitation thermique d'un immeuble de 126 logements, construit en 1962 dans la banlieue de Genève», *Conférence Internationale Energie solaire et bâtiment (CISBAT'91)*, Lausanne, 1991.
- [27] J. Bovet, «La préfabrication lourde à Genève», *Bulletin technique de la suisse romande*, numéro 10, pp. 192-198, mai 1963.
- [28] F. Graf et G. Marino, «La cité du Lignon à Genève, étude architecturale et énergétique des enveloppes», École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, 2009.
- [29] M. Zimmermann, «Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings», International Energy Agency (IEA), ECBCS Annex 50, 2012.
- [30] EUROPEAN COMMISSION, «HORIZON 2020 – Work programme 2014-2015 (part 10. Secure, clean and efficient energy)», Bruxelles, 2013.
- [31] B. Lachal et J. Khoury, *Projet de recherche COMPARE-RENOVE déposé par le groupe Energie de l'UNIGE et retenu par l'OFEN pour un financement (Budget 330kCHF, période 2013-2016)*, Genève: Lien: <http://www.unige.ch/energie/>, 2013.
- [32] S. Banfi, M. Farsi et M. Jakob, «An Analysis of investment decisions for energy-efficient renovation of multi-family buildings», Final report to the Federal Office of Energy, Switzerland, 2012.
- [33] NOÉ21, «Le coût de l'assainissement énergétique du parc immobilier du Canton de Genève (Projet CEPIC)», Association Noé21, Genève, 2012.
- [34] OCEN, «Directive pour le calcul de l'indice de dépense de chaleur (ancienne directive)», Office cantonal de l'énergie, Genève, 2006.
- [35] OCEN, «Directive relative au calcul de l'indice de dépense de chaleur (nouvelle directive)», Office cantonal de l'énergie, Genève, 2013.
- [36] OFEN, «Statistique globale suisse de l'énergie 2012», Office fédéral de l'énergie, Berne, 2013.
- [37] J. Nässén et J. Holmberg, «Energy efficiency - a forgotten goal in the Swedish building sector?», *Energy Policy*, vol. 33, p. 1037–1051, 2005.

- [38] J. Faessler, P. Hollmuller, B. Lachal et L. Quiquerez, «Projet REMUER, Réseaux thermiques mutli-ressources efficients et renouvelables», Réalisé dans le cadre du Partenariat SIG-UNIGE (Lien: <http://www.unige.ch/energie/>), Carouge, 2012.
- [39] OCEN, «Directive relative au calcul de l'indice de dépense de chaleur admissible», Office cantonal de l'énergie, Genève, 2010.
- [40] J. Khoury, «Rénovations énergétiques des bâtiments résidentiels dans le canton de Genève, éléments-clés de la période post-Kyoto - Etude de cas de deux rénovations MINERGIE®», Mémoire n°5, présenté à l'Université de Genève sous la direction de B. Lachal, Genève, 2009.
- [41] R. Dettli, S. Bad, A. Baumgartner et M. Bleisch, «Vorstudie zur Erhebung von Energiekennzahlen von Wohnbauten», Final report to the Federal Office of Energy, Berne, 2007.
- [42] R. Dettli, G. Gsponer et Y. Kaufmann, «Erklärung der kantonalen Unterschiede von Energiekennzahlen bei Neubauten», Final report to the Federal Office of Energy, Berne, 2003.
- [43] J. Khoury et B. Lachal, «Réflexion sur l'article 79 RCI concernant l'obligation de mettre à disposition le gaz dans les cuisines des bâtiments d'habitation», Mandat réalisé pour l'Office cantonal de l'énergie, Genève, 2011.
- [44] KBOB, «Publications KBOB / Recommandations sur la construction durable, Données des écobilans dans la construction 2009/1», 2012. [En ligne]. Available: <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=fr>. [Accès le 30 mars 2014].
- [45] NOÉ21, «Plan Climat Cantonal, 1 an après où en est-on?», Association Noé21, Genève, 2011.
- [46] J.-M. Zraggen, «Bâtiments résidentiels locatifs à haute performance énergétique: objectifs et réalités», Thèse de doctorat à l'Université de Genève, Genève, 2010.
- [47] B. Lachal, «Etude sur le subventionnement des capteurs solaires thermiques à Genève», Groupe Energie (anciennement CUEPE), Genève, 2002.
- [48] F. Mermoud, J. Khoury et B. Lachal, «Suivi énergétique du bâtiment 40-42 de l'avenue du Gros-Chêne à Onex (GE), rénové selon le standard MINERGIE», Mandat réalisé pour l'Office cantonal de l'énergie, Genève, 2012.
- [49] D. Cabrera, B. Lachal, W. Weber et J. Gil, «Réhabilitation thermique d'un immeuble de 126 logements, construit en 1962 dans la banlieue de Genève», Groupe énergie (anciennement CUEPE), Genève, 1993.
- [50] J.-P. Eggimann, «Analyse énergétique de logements collectifs solaires», Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment, École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, 1990.
- [51] M. Weill-Sermet, «Evaluation de la productivité typique des systèmes solaires thermiques subventionnés par le canton de Genève», Mémoire n°42, présenté à l'Université de Genève sous la direction de B. Lachal, Genève, 2012.
- [52] M. Borgström et S. Werner, «Distribution of heat use in Sweden», *The 12th International Symposium on District Heating and Cooling*, Tallin, 2010.
- [53] J. Khoury, «Récupération de la chaleur des eaux usées, étude de cas de la Cité-Jonction», Etude réalisée au sein des Services Industriels de Genève, avec la collaboration du service de l'énergie de la Ville de Genève et le groupe Energie (UNIGE), Genève, 2009.

- [54] PATRIMOINE SUISSE GENÈVE, «Proposition d'une sélection d'édifices du patrimoine bâti moderne et contemporain de la ville et du canton de Genève à placer sous mesures de protection», Genève, 2002.
- [55] DCTI & DT, «Recensement des logements économiques construits à Genève entre 1920 et 1960», Département des constructions et des technologies de l'information et Département du territoire, Genève, 2007.
- [56] OCSTAT, «Les conditions d'habitation dans le canton de Genève, Résultats du recensement fédéral de la population 2000», Office cantonal de la statistique, Genève, 2005.
- [57] S. Bird et D. Hernandez, «Policy Options for the Split Incentive: Increasing Energy Efficiency for Low-Income Renters», *Energy Policy*, vol. 48, pp. 506-514, 2012.
- [58] J. Khoury, «Mise en oeuvre du Management de l'énergie dans une société immobilière», Travail réalisé dans le cadre du CAS en Management de l'énergie à l'Université de Genève, Genève, 2013.
- [59] COMMISSION EUROPÉENNE, «Directive 2012/27/UE du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique», Journal officiel de l'Union européenne, Bruxelles, 2012.
- [60] ADEME, «RénovEnergie: La rénovation énergétique des logements du secteur privé», Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, France, 2011.
- [61] ADEME, «Les travaux de rénovation énergétique plus performants, résultats 2006/2008 de l'observatoire permanent de l'amélioration énergétique du logement, communiqué de presse du 02.06.2010», Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, France, 2010.
- [62] M. Jakob, «Pratiques de rénovation pour les bâtiments d'habitation», *Cahier des journées du 13e séminaire suisse 2004 "Energie und Umweltforschung im Bauwesen"*, Zurich, 2004.
- [63] M. Jakob, «Marginal costs, cost dynamics and co-benefits of energy efficiency investments in the residential buildings sector», *Energy Policy* 34, p. 172–187, 2006.
- [64] B. Lachal, «Le retour d'expérience au service de l'innovation, réflexion pour la création de CEDRE», Université de Genève, Genève, 2013.
- [65] G. Branco, B. Lachal, P. Gallinelli, D. Gonzalez et W. Weber, «Analyse thermique de la Cité Solaire à Plan-les-Ouates (Genève)», Mandat réalisé pour la mairie de Plan-les-Ouates, l'Office cantonal de l'énergie de Genève et l'Office fédéral de l'énergie, Genève, 2002.
- [66] K. Thomsen, J. Schultz et B. Poel, «Measured performance of 12 demonstration projects - IEA Task 13 "advanced solar low energy buildings"», *Energy and Buildings*, vol. 37, pp. 111-119, 2005.
- [67] L. Norford, R. Socolow, E. Hsieh et G. Spadaro, «Two-to-one discrepancy between measured and predicted performance of a "low-energy" office building: insights from reconciliation based on the DOE-2 model», *Energy and Buildings*, vol. 21, pp. 121-131, 1994.
- [68] RAGE, «Retours d'expériences dans les bâtiments à basse consommation et risques de non qualité», Etude réalisée dans le cadre du programme Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012, France, 2012.
- [69] ENERTECH, «Evaluation technico-économique de réhabilitations "basse consommation" d'immeubles d'habitation, MULHOUSE, Quartier Franklin», Mulhouse, 2010.

- [70] S. Citherlet, J. Bony et O. George, «Projet Reno-HP, Installation technique décentralisée pour la rénovation à haute performance de bâtiments», Mandat réalisé pour l'Office fédéral de l'énergie, Yverdon-les-Bains, 2011.
- [71] F. Mermoud, E. Pampaloni, P. Hollmuller et B. Lachal, «Suivi énergétique du bâtiment tertiaire Polimmo, 5 route des Jeunes à Genève, rénové MINERGIE® et équipé de pompes à chaleur couplées à des sondes géothermiques - Aspects techniques et économiques», Rapport réalisé pour l'Office cantonal de l'énergie, Genève, 2014.
- [72] OFS, «Mazout - Prix moyens en francs par 100 l, Indice suisse des prix à la consommation», Office fédéral de la statistique, Neuchâtel, 2013.
- [73] OFEV, «Contenu énergétique et facteurs d'émissions de CO₂ des agents fossiles», Office fédéral de l'environnement, Berne, 2013.
- [74] SEVEN, «Evaluation de l'application de la norme SIA 380/1-2001», Rapport effectué par les bureaux d'études KELLER-BURNIER et EBEN sous mandat du Service cantonal de l'énergie du canton de Vaud (SEVEN), Canton de Vaud, 2006.
- [75] P. Hollmuller et B. Lachal, «Préchauffage et rafraîchissement par collecteurs souterrains à eau : étude de cas (bâtiment Perret à Satigny, GE) et généralisation», CUEPE, Université de Genève, Genève, 2003.
- [76] J.-M. Zraggen et B. Lachal, «Immeuble de la rue Liotard 71 à Genève, Problèmes de ventilation», Rapport d'expertise, Mandat réalisé pour l'Office cantonal de l'énergie, Genève, 2005.
- [77] R. V. Andersen, «Occupant behaviour with regard to control of the indoor environment (Ph.D. Thesis)», International Centre for Indoor Environment and Energy, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Danemark, 2009.
- [78] ADEME, «Les bâtiments exemplaires BBC, PREBAT bilan 2007-2012», Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Bilan appels à projets bâtiments BBC, Rhône Alpes, 2012.
- [79] PUCA, «Recherche expérimentation : connaître le coût de la performance énergétique en OPAH», Service interministériel français PUCA (Plan, Urbanisme, Construction et Architecture), Paris, 2011.
- [80] R. Amstalden, M. Kost, C. Nathani et D. Imboden, «Economic potential of energy-efficient retrofitting in the Swiss residential building sector: the effects of policy instruments and energy price expectations», *Energy policy*, vol. 35, pp. 1819-1929, 2007.
- [81] B. Aebischer et B. Giovannini, «Evaluation du potentiel d'économie d'énergie en Suisse, Bonne conception énergétique des bâtiments et utilisation de l'énergie solaire passive», Centre universitaire de l'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE), série de publications du CUEPE n°34, Genève, 1989.
- [82] A. Jaffe et R. Stavins, «The energy-efficiency gap, What does it mean ?», *Energy policy*, vol. 22, pp. 804-810, 1994.
- [83] J. Faessler, «Valorisation intensive des énergies renouvelables dans l'agglomération franco-valdo-genevoise (VIRAGE) dans une perspective de société à 2000W», Thèse de doctorat à l'Université de Genève, Genève, 2011.
- [84] ASHRAE, «BSR/ASHRAE/IES Standard 202P, Commissioning Process for Buildings and Systems», American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), www.ashrae.org/, Atlanta, 2012.

- [85] G. Briseperrière, «Analyse sociologique de la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels et tertiaires», Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris, 2013.
- [86] O. Sidler, «La rénovation thermique des bâtiments en France, Enjeux et stratégie», Enertech, Ingénieurs conseils, France, 2012.
- [87] I. Ortega et O. Reinmann, «Les financements innovants de l'efficacité énergétique», Rapport à Philippe Pelletier, avocat, Président du Plan Bâtiment Durable, France, 2013.
- [88] GROUPE CAISSE DÉPÔTS, «Rapport intermédiaire sur le financement de la rénovation énergétique des logements privés», Mission confiée à la Caisse des Dépôts par le ministre de l'Égalité des territoires et du Logement et le ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie., France, 2013.
- [89] BPIE, «Financing Energy Efficiency (EE) in Buildings», Buildings Performance Institute Europe, Brussels, 2010.
- [90] COUR DES COMPTES EUROPÉENNE, «Rentabilité des investissements consacrés à l'efficacité énergétique dans le cadre de la politique de cohésion», Rapport spécial n°21/2012, Luxembourg, 2012.
- [91] B. Méka, «Valeur Verte sur le parc tertiaire, Rapport du groupe de travail du Plan Bâtiment Grenelle», Plan Bâtiment Grenelle, France, 2010.
- [92] ADEME, «Analyse préliminaire de la valeur verte pour les logements», Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, France, 2011.
- [93] WBCSD, «Energy Efficiency in Buildings: Business realities and opportunities», World Business Council for Sustainable Development, 2008.
- [94] C. Macherel et G. Krebs, «Les immeubles solaires de la rue du Midi, bilan après trois années d'exploitation», Ville de Genève, Département municipal des constructions et de la voirie, Genève, 1989.
- [95] E. Golay, *Onex 1851-2002, images et récits d'une métamorphose*, Genève: Ville d'Onex, 2002.
- [96] NOVATLANTIS, «Vivre plus légèrement, une nouvelle conception de nos ressources pour un développement durable: la société à 2000 watts», NOVATLANTIS, OFEN, SIA, Zurich, 2005.

Annexes

Liste des Annexes

Annexe A1 : Glossaire.....	307
Annexe A2 : Tableau de synthèse (parc immobilier genevois)	310
Annexe A3 : Détermination de la surface énergétique des bâtiments à usage d'habitation	311
Annexe A4 : Détermination de la surface énergétique des bâtiments sans usage d'habitation ...	313
Annexe A5 : Corrections apportées aux données concernant l'époque de construction des bâtiments.....	315
Annexe A6 : Typologies principales de façades observées dans la Cité-nouvelle d'Onex	316
Annexe A7 : Pouvoirs calorifiques et facteurs d'émissions	320
Annexe A8 : Situation des réseaux de chaleur à Genève et correction des agents énergétiques	320
Annexe A9 : Répartition de la consommation finale connue selon l'époque de construction et l'agent énergétique utilisé.....	322
Annexe A10 : Evolutions dans le mode de calcul de l'IDC entre avant et après 2010	323
Annexe A11 : Répartition des IDC 2010 des bâtiments résidentiels collectifs selon l'époque de construction.....	324
Annexe A12 : Substitution du mazout par le gaz au niveau cantonal (1987-2010).....	325
Annexe A13 : Enjeux liés à la décroissance du gaz domestique dans les zones desservies par le chauffage à distance.....	326
Annexe A14 : Tableau comparatif des consommations d'ECS.....	327
Annexe A15 : Répartition des requêtes d'autorisation et des bâtiments concernés selon la nature et le type de travaux envisagés	328
Annexe A16 : Liste des sondes installées sur les bâtiments 36-38 et 40-42.....	329
Annexe A17 : Bilan par usage du bâtiment 40-42 entre 2003 et 2007 (période de référence avant travaux)	330
Annexe A18 : Résultats détaillés du suivi énergétique pour les années 2008-2009 et 2009-2010	331
Annexe A19 : Analyse en percentiles des vérandas nord-est	332
Annexe A20 : Remarques et satisfaction des usagers des loggias.....	334
Annexe A21 : Structure du coût des travaux de rénovation	336
Annexe A22 : Economies d'énergie engendrées par l'assainissement de l'enveloppe (2 méthodes)	337
Annexe A23 : Répartition annuelle du coût des travaux de rénovation à plus-value entre propriétaire, locataires et Etat (scénarios 1 à 3).....	339
Annexe A24 : Caractéristiques des opérations de rénovation étudiées (fiches descriptives)	341

Annexe A1 : Glossaire

Le présent glossaire contient des définitions et des explications sur les caractères du domaine bâti, utilisés dans le deuxième chapitre de ce travail. Il a été essentiellement conçu à partir des informations officielles publiées par l'Office cantonal de la statistique [12] et provenant du catalogue des caractères du fichier cantonal des bâtiments et des logements. Les expressions *en italique* désignent des précisions que nous avons ajoutées.

Caractères du bâtiment

Bâtiment

Les bâtiments sont des constructions durables, bien ancrées dans le sol et utilisées pour l'habitat, le travail, la formation, la culture ou le sport.

Dans le cas de maisons jumelées, en groupe ou en rangée, chaque construction ayant son propre accès depuis l'extérieur et séparée des autres par un mur mitoyen porteur vertical allant du rez-de-chaussée au toit est considérée comme un bâtiment à part (conformément à l'art.3 de l'ordonnance sur le RegBL).

Bâtiment d'habitation

Par bâtiment d'habitation, on entend toute construction indépendante ou séparée d'une autre par un mur mitoyen, habitée ou habitable. Les constructions inhabitées ne sont comptées que lorsqu'elles offrent un confort suffisant pour y vivre en permanence [18].

Catégorie de bâtiment

La subdivision par catégories est réalisée selon la "Nomenclature des bâtiments et des ouvrages de génie civils" du service de la mensuration officielle (SEMO). Selon leur affectation, on distingue les types suivants :

- **Maison individuelle :**
bâtiment exclusivement à usage d'habitation et comptant un seul logement.
- **Maison à plusieurs logements :**
bâtiment à plusieurs logements exclusivement destiné à l'habitation avec deux logements ou plus.
- **Bâtiment d'habitation avec usage annexe :**
bâtiment mixte principalement destiné à l'habitation, mais qui comprend également des locaux liés à une activité économique.
- **Bâtiment partiellement à usage d'habitation :**
bâtiment principalement destiné à une activité économique, mais qui comprend également des logements ou des locaux pour les ménages collectifs ou l'habitat communautaire.
- **Bâtiment sans usage d'habitation :**
bâtiment exclusivement destiné à une activité économique des secteurs secondaire et tertiaire. Sont exclus de cette catégorie ; les bâtiments affectés uniquement à des activités du secteur primaire (hangar agricole, par exemple), les bâtiments dont l'emprise au sol est inférieure à 20 m² ainsi que les parkings privés exclusivement liés à l'habitation (le garage d'une villa, les parkings souterrains d'immeubles collectifs, les places de stationnement réservés aux visiteurs, etc.).

Epoque/Année de construction

Par époque de construction, on entend l'époque de l'achèvement de la construction.

L'époque de construction concorde avec l'année de construction qui indique le moment où la construction du bâtiment est physiquement terminée (fin des travaux), indépendamment de l'état du projet de construction. Ce n'est ni l'année de l'octroi du permis de construire, ni celle de la vente, ni celle du début de son utilisation, ni celle de sa rénovation ou transformation.

Epoque/Année de rénovation

Par époque de rénovation, on entend l'époque de la dernière rénovation ayant augmenté sensiblement la valeur du bâtiment.

Sont répertoriés les rénovations, les transformations, les agrandissements et les exhaussements, qui requièrent une autorisation et vont au-delà des travaux d'entretien courants. *Aucune distinction n'est faite entre travaux énergétiques et non énergétiques.*

La modification de la surface du bâtiment, du nombre de niveaux, du nombre de logements ou du nombre de pièces d'un logement est toujours considérée comme une rénovation augmentant la valeur du bâtiment. La transformation de bâtiments sans usage d'habitation (p.ex. granges agricoles, etc.) en bâtiments d'habitation (principalement à usage d'habitation) est également considérée comme rénovation d'un bâtiment existant.

Dans le cas où plusieurs rénovations ont été effectuées à la suite, seule la dernière année ou époque de rénovation est prise en considération.

FCBL

Le fichier cantonal des bâtiments, des logements et des surfaces non résidentielles (FCBL) contient l'ensemble des bâtiments d'habitation comportant au moins un logement habité ou habitable ainsi que les bâtiments destinés à une activité économique, pour peu que leur emprise au sol soit égale ou supérieure à 20 m², les logements et les surfaces destinées à une activité des secteurs secondaire et tertiaire. Sont exclus du FCBL, par exemple, les piscines, les vérandas, les cabanes de jardin et les garages privés [8].

Identificateur fédéral de bâtiment - EGID

Il s'agit d'un numéro d'identification univoque pour l'ensemble du territoire suisse et pour chaque bâtiment.

Caractères du logement

Logement

Par logement, on entend l'ensemble des pièces constituant une unité de construction qui a un accès autonome depuis l'extérieur ou depuis un espace commun à l'intérieur du bâtiment (cage d'escaliers) et qui dispose d'un équipement de cuisine (cuisine, cuisinette ou coin cuisine), sinon il s'agit de pièce d'habitation indépendante.

Une maison individuelle comporte un seul logement. Les maisons individuelles comportant un logement secondaire sont saisies comme bâtiments à plusieurs logements.

Pièces d'habitation

Une pièce d'habitation est un espace habitable d'un logement délimité par des murs ou des cloisons et possédant une fenêtre. Ne sont pas comptées comme des pièces d'habitation : les cuisines, les salles de bain, les douches, les toilettes, les réduits, les corridors, les vérandas, ainsi que toute pièce d'habitation supplémentaire située en dehors du logement. *Ceci diffère donc de la définition de la pièce genevoise qui compte la cuisine comme pièces.*

Le nombre de pièces comprend toutes les pièces d'habitation de plus de 9 m² formant le logement tels que séjours, chambres à coucher, etc. Les pièces habitables de moins de 9 m² sont considérées comme des demi-pièces.

Surface du logement

La surface habitable du logement en mètres carrés (m²) est plus précisément la surface utile principale (SUP) comme définie dans la norme SIA 416 et mesurée à partir de l'intérieur des murs extérieurs. *Elle diffère de la surface brute de plancher (SBP).*

Elle correspond à la somme des surfaces de toutes ses pièces habitables, auxquelles s'ajoutent les surfaces des cuisines ou laboratoires, salles de bain, toilettes, réduits, corridors, couloirs, vérandas chauffées, etc.

Ne sont pas pris en compte dans le calcul de la surface du logement : les pièces d'habitation indépendantes (p. ex. les mansardes), les balcons, les terrasses, les gaines techniques, les jardins, ainsi que les pièces non habitables situées en sous-sol ou dans les combles. La surface est comptée à 100% lorsque le vide d'étage est égal ou supérieur à 2,40 m et à 50 % lorsqu'il est situé entre 1,80 m et 2,40 m. Elle n'est pas comptée pour un vide d'étage inférieur à 1,80 m.

Caractères du Non résidentiel

Local non résidentiel

Un local non résidentiel est un espace défini et délimité soit par sa nature, son affectation (bureau, atelier, etc.), soit par la raison sociale de ses occupants (des locaux de même nature, mais occupés par des entreprises différentes, sont traités séparément). Si, dans un même local, on trouve des surfaces avec des affectations différentes, la notion d'unité fonctionnelle prévaut : les surfaces sont agrégées et l'affectation la plus importante l'emporte sur les autres [18].

Surface non résidentielle

Les surfaces des locaux non résidentiels se répartissent selon 16 types d'affectation [8] :

- 01 - Local administratif (bureau, arcade, étude)
- 02 - Local commercial (magasin, arcade, salle d'exposition, galerie)
- 03 - Local destiné à la production ou à la transformation de biens (industrie, artisanat)
- 04 - Local destiné au stockage ou à l'entreposage (dépôt, entrepôt, hangar, local pour citerne)
- 05 - Local destiné à l'éducation ou à la recherche (classe, crèche, bibliothèque)
- 06 - Local destiné à la culture, détente, loisirs (salle de conférence, auditorium, musée, cinéma)
- 07 - Local destiné au sport (gymnastique, piscine, tennis, vestiaire)
- 08 - Local destiné à la santé ou aux soins (cabinet médical, vétérinaire, infirmerie, physio)
- 09 - Local destiné à l'aide sociale (chambre de home, pension, étab. médico-social, local carcéral)
- 10 - Local destiné à la restauration, hôtellerie ou héberg. collectif (bar, chambre d'hôtel, cuisine, buanderie).
- 11 - Local destiné aux transports publics (hall, garage, dépôt, atelier)
- 12 - Local destiné aux transports privés (garage, parking, station-service, atelier réparation, carrosserie)
- 13 - Local destiné à l'approvisionnement (distribution d'eau, d'électricité, de gaz, télécommunication, chauffage, déchets)
- 14 - Local destiné au culte (église, chapelle, temple, mosquée, synagogue, centre funéraire)
- 15 - Local destiné aux activités du secteur primaire (grange, dépôt agricole, hangar, serre, étable)
- 16 - Autre type de local (abris, local PC, militaire)

Annexe A3 : Détermination de la surface énergétique des bâtiments à usage d'habitation

(Total des catégories I, II et III, regroupant les bâtiments résidentiels collectifs)

Cette annexe vise à déterminer la surface de référence énergétique (SRE) de l'ensemble des bâtiments à usage d'habitation (catégories I, II et III) en 2010. Etant donné que la surface énergétique des bâtiments résidentiels collectifs (catégories I.B2 et II.B2) a été déterminée au point 2.4.1.3, il s'agit ici d'estimer les surfaces énergétiques des maisons individuelles (A) et des maisons à deux logements (B1) comprises dans les catégories : (I) exclusivement à usage d'habitation, (II) habitation avec usage annexe et (III) partiellement à usage d'habitation (se référer au Tableau récapitulatif 2.4 du chapitre 2).

A cela s'ajoutent les bâtiments à trois logements et plus de la troisième catégorie (indiqué III.B2) qui ne représentent qu'une surface minimale estimée à 1.25% des bâtiments à usage d'habitation. Enfin, nous avons considéré que les 238 bâtiments partiellement à usage d'habitation dont les surfaces résidentielles manquaient (indiqués sous III.B3 dans le Tableau A3.1), comportent chacun deux logements avec une surface résidentielle moyenne identique à la catégorie III.B1.

Les résultats obtenus sont présentés en détail dans le Tableau A3.1. Au total, la surface de référence énergétique des bâtiments à usage d'habitation (catégories I, II et III) s'élève à 26 millions de m², dont 74% ont été déterminées dans le point 2.4.1.3 du chapitre 2 et concernent des bâtiments d'habitation à trois logements et plus (catégories I.B2 et II.B2).

La démarche adoptée consiste en premier temps à recenser pour chaque catégorie, les bâtiments dont la surface résidentielle (Sres) et/ou non résidentielle chauffée ou climatisée (Natch) sont connues. Ensuite, nous avons utilisé la surface moyenne connue de chaque catégorie pour déterminer la surface totale résidentielle et non résidentielle. La surface de référence énergétique (SRE) de chaque catégorie a été enfin obtenue en majorant les surfaces résidentielles (Sres) et non résidentielles chauffées/climatisées (Natch) de 10% afin de tenir compte des surfaces de construction¹.

Il convient de noter que dans le cas des immeubles résidentiels collectifs, le ratio entre la surface énergétique et la surface résidentielle s'élève à 1.245 d'après le modèle A (cf. 2.4.1.3), contre 1.10 estimée ici pour les maisons individuelles et les maisons à deux logements. La différence peut s'expliquer par le fait que la surface des parties communes notamment la cage d'escalier, si elle existe, est déjà comprise dans la surface résidentielle des maisons. En guise de simplification, nous avons appliqué ce même coefficient à la catégorie III.B2 (bâtiments partiellement à usage d'habitation à trois logements et plus).

Les principales hypothèses [a, b, c, d et e] retenues sont indiquées pour chaque catégorie à la suite du Tableau A3.1.

¹ Le coefficient de majoration 1.10 a été retenu sur la base de consultation de plans de bâtiments.

Tableau A3.1. Surface de référence énergétique (SRE) des bâtiments à usage d'habitation à Genève en 2010 (Total des catégories I, II et III qui regroupent les catégories I.B2 et II.B2 des bâtiments résidentiels collectifs dont la surface énergétique a été estimée au point 2.4.1.3).
Ce tableau se focalise donc sur une partie du Tableau récapitulatif 2.4 du chapitre 2

		Surface résidentielle (5)			Surface non résidentielle (6)			Surface énergétique	
Catégories des bâtiments à usage d'habitation (1)		Nbat	Sres	Moy.	Nbat	Natch	Moy.	SRE (7)	Notes
		[-]	[m²]	[m²]	[-]	[m²]	[m²]	[m²]	
I. Bâtiments exclusivement à usage d'habitation (2)									4'634'865
I.A	Maison individuelle	Obs.	19'352	3'111'879	161	-	-	-	
		Total	23'758	3'820'381		-	-	-	4'202'420 [a]
I.B1	Maison à 2 log.	Obs.	1'075	246'424	229	-	-	-	
		Total	1'715	393'132		-	-	-	432'445 [a]
II. Bâtiments d'habitation avec usage annexe (3)									495'765
II.A	Maison individuelle	Obs.	1'112	174'221	157	305	74'386	244	
		Total	1'404	219'970		305	74'386		323'791 [b]
II.B1	Maison à 2 log.	Obs.	300	63'091	210	220	49'506	225	
		Total	508	106'834		220	49'506	-	171'974 [b]
III. Bâtiments partiellement à usage d'habitation (4)									1'721'707
III.A	Bât activités à 1 log.	Obs.	498	60'610	122	646	631'006	977	
		Total	851	103'573		851	831'248		1'028'302 [c]
III.B1	Bât activités à 2 log.	Obs.	61	15'854	260	91	52'963	582	
		Total	120	31'188		120	69'841		111'132 [c]
III.B2	Bât activités à ≥3 log.	Obs.	110	100'658	915	125	85'735	686	
		Total	186	170'204		186	127'574		327'555 [c]
III.B3	Bât activités solde	Obs.	238	61'880	260	181	129'043	713	
		Total	238	61'880		238	169'681		254'717 [d]
I.B2 & II.B2. Bâtiments d'habitation à 3 log. et plus (entièrement d'habitation et avec usage annexe)									19'299'548
III.A Bât d'habitation à ≥3 log.									
		Total	(Se référer au point 2.4.1.3)						19'299'548 [e]
SRE totale des bâtiments à usage d'habitation (catégories I, II & III) en m²									26'151'885

- (1) Bâtiments comprenant au moins un logement ou des locaux pour les ménages collectifs ou l'habitat communautaire, sans les bâtiments exclusivement destinés à une activité économique.
- (2) Bâtiments exclusivement destinés à usage d'habitation
- (3) Bâtiments principalement destinés à l'habitation, mais qui comprennent également des locaux liés à une activité économique.
- (4) Bâtiments principalement destinés à une activité économique, mais qui comprennent également des logements ou des locaux pour les ménages collectifs ou l'habitat communautaire.
- (5) Surface résidentielle (Sres) correspond au total des surfaces habitables (source: fichier FCBL)
- (6) Surface chauffée non résidentielle (Natch) estimée après avoir écarté les locaux destinés au stockage et entreposage, aux transports publics, aux parkings fermés et à la catégorie « autre ».
- (7) Surface de référence énergétique (SRE) des bâtiments calculée en majorant les surfaces résidentielles (Sres) et non résidentielles chauffées/climatisées (Natch) de 10% afin de tenir compte des surfaces de construction.

Hypothèses retenues pour la détermination de la surface de référence énergétique des différentes catégories :

- [a] Catégorie I : $SRE_I [m^2] = 1.10 * Sres_{tot}$, soit en majorant la surface totale résidentielle (Sres tot) de 10% afin de tenir compte des surfaces de construction.
- [b] Catégorie II: $SRE_{II} [m^2] = 1.10 * (Sres_{tot} + Natch_{obs})$, soit en majorant la surface totale résidentielle (Sres tot) et la surface non résidentielle chauffée/climatisée des observations (Natch obs) de 10% afin de tenir compte des surfaces de construction. Nous avons choisi d'extrapoler uniquement la surface résidentielle pour les raisons suivantes : d'une part, il est très probable que la surface non résidentielle n'a pas été fournie puisque l'activité se

déroule à l'intérieur de la maison (par exemple : esthéticienne, conseils, etc.) ; d'autre part la surface moyenne non résidentielle nous a paru très élevée pour la considérer, en comparaison avec la surface moyenne résidentielle.

- [c] Catégorie III (III.A, III.B1, III.B2) : $SRE_{III} [m^2] = 1.10 * (Sres\ tot + Natch\ tot)$, soit en majorant la surface totale résidentielle ($Sres\ tot$) et la surface totale non résidentielle chauffée/climatisée ($Natch\ tot$) de 10% afin de tenir compte des surfaces de construction.
- [d] Catégorie III (III.B3) : $SRE_{III.B3} [m^2] = 1.10 * (Sres\ tot + Natch\ tot)$, idem précédent. Il s'agit du solde des bâtiments partiellement à usage d'habitation dont l'information sur la surface résidentielle manque. Pour cela, nous avons considéré que chaque bâtiment contient deux logements, avec une surface résidentielle moyenne égale à 260 m² (cf. catégorie III.B1).
- [e] Catégories I.B2 & II.B2 : se référer au point 2.4.1.3 pour la détermination de la SRE des bâtiments résidentiels collectifs.

Annexe A4 : Détermination de la surface énergétique des bâtiments sans usage d'habitation

(Catégorie IV, bâtiments exclusivement destinés à une activité économique)

La catégorie IV regroupe les bâtiments exclusivement destinés à une activité économique, à l'exception des bâtiments entièrement liés aux activités du secteur primaire, les bâtiments dont l'emprise au sol est inférieure à 20 m² et les garages des maisons individuelles.

Etant donné que les fichiers FCBL et énergie contiennent assez peu d'informations sur la surface de ces bâtiments, nous avons utilisé dans cette partie les données de la publication officielle de l'Office cantonal de la statistique [14] qui recense pour l'année 2010 les surfaces des locaux non résidentiels suivant leur affectation. Les résultats sont présentés dans la première colonne du Tableau A4.1.

A fin 2010, la surface totale non résidentielle ($Natot$) des bâtiments sans usage d'habitation s'élève à 16.7 millions de m² et se répartit selon 16 types d'affectations précisés dans le glossaire à l'Annexe A1.

Un facteur de pondération est ensuite appliqué à la surface de chaque affectation afin de déterminer la part estimée chauffée et/ou climatisée ($Natch$). Un facteur de 1.00 indique par exemple que la surface non résidentielle ($Natot$) est entièrement chauffée ; dans ce cas $Natot$ est égal à $Natch$. Ces facteurs ont été estimés grossièrement sur la base de notre expérience et méritent d'être affinés dans le cadre d'un prochain travail.

Après pondération, la surface totale non résidentielle estimée chauffée/climatisée ($Natch$) des bâtiments sans usage d'habitation a été estimée à 13.36 millions de m². Pour y arriver, nous avons considéré les surfaces suivantes comme non chauffées/climatisées : 75% des surfaces dédiées au stockage et entreposage (affectation 04), idem pour les surfaces dédiées aux transports privés et parkings (affectation 12), 25% des surfaces destinées à l'approvisionnement d'eau, d'électricité et de gaz et à la télécommunication (affectation 13) et aussi 25% des surfaces destinées à l'affectation 15 « autre ».

Enfin, la surface énergétique (SRE) a été obtenue en majorant la surface non résidentielle (Natch) de 10% afin de tenir compte des surfaces de construction. Les résultats obtenus sont présentés dans la dernière colonne du Tableau A4.1.

Au total, la surface de référence énergétique des bâtiments sans usage d'habitation (catégorie IV) s'élève à 14.7 millions de mètres carrés en 2010.

Tableau A4.1. Surface de référence énergétique des bâtiments sans usage d'habitation (catégorie IV) selon le type d'affectation à Genève en 2010. Ce tableau se focalise sur une partie du Tableau récapitulatif 2.4 du chapitre 2

Affectation des bâtiments sans usage d'habitation (1)		Natot (2) [mio m²]	F.pond [-]	Natch (3) [mio m²]	SRE (4) [mio m²]
01	Administratif	4.38	1.00	4.38	4.82
02	Commerce	1.38	1.00	1.38	1.52
03	Industrie, artisanat	1.55	1.00	1.55	1.70
04	Stockage, entreposage	2.22	0.25	0.55	0.61
05	Education, recherche	1.15	1.00	1.15	1.27
06	Culture, détente, loisirs	0.50	1.00	0.50	0.54
07	Sport	0.39	1.00	0.39	0.43
08	Santé, soins	0.46	1.00	0.46	0.50
09	Aide sociale	0.24	1.00	0.24	0.27
10	Hôtel, restauration, héb.collectif	1.15	1.00	1.15	1.26
11	Transport publics, s.collectivité	0.27	1.00	0.27	0.29
12	Transports privés, parkings (2)	1.82	0.25	0.46	0.50
13	Approvisionnement, télécommunications	0.68	0.75	0.51	0.56
14	Culte	0.10	1.00	0.10	0.11
15	Autre	0.39	0.75	0.30	0.33
Total		16.66		13.36	14.70

SRE totale des bâtiments sans usage d'habitation (catégorie IV) = 14.70 mio m² (14'699'025 m²)

- (1) Bâtiments exclusivement destinés à une activité économique, sans les bâtiments entièrement liés aux activités du secteur primaire, les bâtiments de moins de 20 m² de surface au sol et les garages des maisons individuelles.
- (2) Surface des locaux non résidentiels (Natot) en millions de m², source: OCSTAT [14].
- (3) Surface non résidentielle estimée chauffée/climatisée (Natch) en millions de m². Cette surface comprend en plus des surfaces totalement considérées (pondération = 1) pour 11 affectations, 25% des surfaces de stockage et d'entreposage et des surfaces liées aux transports privés et 75% des surfaces de d'approvisionnement, de télécommunications et de traitement des résidus et de la catégorie "autre".
- (4) Surface de référence énergétique en millions de m², calculée en majorant les surfaces non résidentielles chauffées/climatisées (Natch) de 10% afin de tenir compte des surfaces de construction.

Annexe A5 : Corrections apportées aux données concernant l'époque de construction des bâtiments

Dans le fichier FCBL, la subdivision en époques de construction est établie à partir du relevé des bâtiments et des logements effectué lors du recensement fédéral de l'an 2000 et mise à jour depuis 2001 avec les données de la statistique de la construction et des logements. Ces données alimentent également la plateforme SITG.

Une analyse plus fine de ces données fondée sur notre connaissance de la typologie des bâtiments résidentiels a permis d'identifier des erreurs répétées concernant les bâtiments appartenant à la catégorie "1996-2000". Nous avons en particulier remarqué que plusieurs bâtiments édifiés entre 1946 et 1980 se trouvaient dans la catégorie "1996-2000".

Parmi ceux-ci citons par exemple, les bâtiments de l'ensemble résidentiel de la Gradelle situés au chemin de-la-montagne 96-122 à Chêne-Bougeries, les bâtiments situés au chemin Salomon-Penay 6-22 à Meyrin, les bâtiments de l'avenue Calas 12-16 et ceux du chemin Frank-Thomas 10-10bis et de l'avenue de la Gare-des-Eaux-Vives 24-26 à Genève.

Pour ce faire, nous avons comparé l'époque de construction des bâtiments de la catégorie "1996-2000" du fichier FCBL (basé sur le recensement de l'an 2000) avec celle provenant du recensement fédéral précédent de 1990. Il ressort de cette comparaison que :

- Sur les 841 bâtiments appartenant à la catégorie "1996-2000" dans le fichier FCBL, 27% possédaient une époque de construction inexacte, soit 230 bâtiments (4'467 logements).
- Au total, près de trois quart des 230 observations inexactes correspondent à des bâtiments édifiés entre 1946 et 1980 et la moitié (115 bâtiments comprenant 2'520 logements) ont été construits entre 1961 et 1980 (cf. Figure A5.1).
- L'époque de construction des bâtiments cités à titre d'exemple plus haut étaient systématiquement correctes dans le recensement de l'an 1990, avec une indication "1961-1970" au lieu de "1996-2000" (cf. Tableau A5.1). En plus, ces données étaient conformes à celles indiquées dans les dossiers de demande d'autorisation de travaux de rénovation, que nous avons pu consulter.

Selon Mme Carol Daverio (OCSTAT/DF), cette différence entre les deux derniers recensements peut s'expliquer par le fait que la catégorie "1996-2000" a été probablement attribuée aux bâtiments dont l'époque de construction n'a pas été fournie lors du recensement RFP 2000.

Par conséquent, les données sur l'époque de construction ont été corrigées en remplaçant les 230 observations inexactes du fichier FCBL par celles provenant de la version mise à jour du recensement fédéral de l'an 1990.

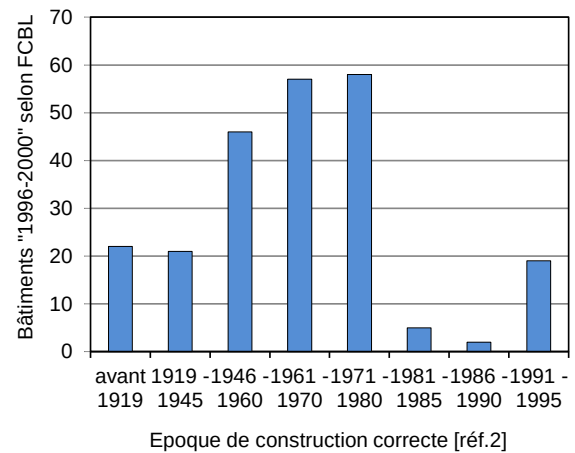
Tableau A5.1. Exemples d'immeubles collectifs dont l'époque de construction est inexacte dans le fichier FCBL

Adresse	Epoque de construction	
	(Réf. 1)	(Réf. 2)
96-122 Chemin de-la-Montagne	1996 - 2000	1961-1970
12-16 Avenue Calas	1996 - 2000	1961-1970
10-10Bis Chemin Frank-Thomas	1996 - 2000	1961-1970
24-26 Avenue de la Gare-des-Eaux-Vives	1996 - 2000	1961-1970
6-22 Chemin Salomon-Penay	1996 - 2000	1961-1970

Référence 1: Fichier FCBL, données établies à partir du relevé des bâtiments et des logements effectué lors du recensement fédéral de l'an 2000 et mises à jour depuis 2001 avec les données de la statistique de la construction et des logements.

Référence 2: L'époque de construction provient du relevé des bâtiments et des logements effectué lors du recensement fédéral de l'an 1990 et mises à jour entre 1991 et 2000 avec les données de la statistique de la construction et des logements.

Figure A5.1. Répartition des 230 bâtiments dont l'époque de construction dans le fichier FCBL était inexacte selon la nouvelle époque de construction (axe horizontal)



Annexe A6 : Typologies principales de façades observées dans la Cité-nouvelle d'Onex

La Figure A6.1 donne un aperçu des principales typologies de façades rencontrées pendant nos visites de la Cité Onésienne. Ces façades, qui appartiennent à des bâtiments résidentiels collectifs construits durant les années soixante et septante à Onex, se distinguent par leur trame structurelle modulaire, par la position et la disposition des piliers et des éléments préfabriqués et par l'alternance des pleins et des vides.

Les 4 grandes catégories identifiées sont décrites ci-après. Elles sont issues du travail de Master de Jad Khoury [40] réalisé à l'Université de Genève.

- **La typologie 1** est caractérisée par l'absence de balcons. La structure porteuse du bâti, constituée de piliers verticaux et de dalles filantes en béton armé, est apparente et forme une trame orthogonale modulaire. Du point de vue de la physique du bâtiment, cette ossature apparente constitue des ponts thermiques horizontaux et verticaux, sources de déperditions thermiques. A l'état initial, les parties pleines de la façade ($U = 1.5 \pm 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$) ne sont pas isolées ou dans le meilleur des cas 3 à 6 cm de panneaux isolants sont posés de l'intérieur. Les fenêtres sont composées de cadres en bois avec un vitrage simple ($U_f = 4.7 \pm 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$). Des stores extérieurs en lamelles de bois protègent les façades contre la surchauffe estivale.
- **La typologie 2** se distingue de la première par l'accentuation des éléments horizontaux, où les dalles filantes en béton armé des balcons se développent sur l'ensemble des façades et constituent des ponts thermiques linéaires. Des stores extérieurs inclinés en toiles protègent en été les façades des gains solaires. Les parties pleines et les parties vitrées de la façade sont identiques à la typologie précédente. Cette typologie correspond à celle des bâtiments situés à l'avenue du Gros-Chêne 36-38 et 40-42 qui seront analysés en détail au Chapitre 4.

- **La typologie 3** représente un mixte des deux premières typologies et se caractérise par des balcons encastrés dans l'ossature porteuse du bâti. Les parties pleines et vitrées des façades sont aussi identiques aux typologies précédentes.
- **La typologie 4** est celle des tours d'habitation dépourvus de balcons. La photo illustre l'état du bâtiment rénové après ajout d'une isolation périphérique. La performance des parties pleines et vides avant travaux est assez similaire à celle des parties de la première typologie.

Figure A6.1. Typologies principales de façades rencontrées à la Cité-Nouvelle d'Onex

Typologie 1 (barre)			Typologie 4 (tour)
			
Rue du Bois-Carrien 2	Avenue des Grandes-Communes 64	Rue de La Calle 21	Avenue du Gros-Chêne 41-43
			
Avenue du Gros-Chêne 46	Rue du Bois-Carrien 8	Avenue du Gros-Chêne 44	
Typologie 2 (barre)		Typologie 3 (barre)	
			
Avenue du Gros-Chêne 38 (non rénové)	Avenue du Gros-Chêne 40 (rénové)	Avenue du Gros-Chêne 33 (non rénové)	Avenue du Gros-Chêne 39 (rénové)
			
Avenue du Bois-de-la-Chapelle 59		Avenue du Gros-Chêne 37	Rue des Evaux 5

Il convient de rappeler que ce classement ne couvre pas toutes les typologies rencontrées à Genève. A cela, on peut ajouter par exemple la « façade légère » appelée aussi « mur-rideau » qui a été utilisée à plusieurs reprises à cette époque par les architectes Addor et Julliard. Parmi leurs réalisations, nous citons la Cité du Lignon (1963-1970) avec ses 125'000 m² de modules préfabriqués (cf. Figure A6.2), les ensembles résidentiels Meyrin

Parc et Le Ciel Bleu à Meyrin (1960-1964) dont les façades nord-est sont composées de 1'248 panneaux préfabriqués couvrant une surface de 11'740 m² (cf. Figure A6.3), ainsi que les bâtiments A (1963) et D (1969) du site de recherche de Battelle à Carouge occupés actuellement par des instituts de l'Université de Genève (cf. Figure A6.4).

Ces façades légères développées par l'entreprise Guyot sont composées de panneaux modulaires identiques avec des fenêtres basculantes en bois-métal qui viennent se poser devant la structure porteuse du bâtiment. D'après nos observations et de mesures in-situ effectuées sur un certain nombre d'éléments, nous avons pu constater une évolution de la composition et de la performance thermique de ces panneaux au cours des années soixante et septante.

C'est ce que révèle par exemple la campagne de mesures de valeurs U effectuées sur les éléments de l'enveloppe thermique des bâtiments A (1963) et D (1969) du site de Battelle. On note que ces deux bâtiments sont de même typologie, conçus par le même architecte et construits durant les années soixante sur un même site. De même, ces deux bâtiments n'ont subi aucune rénovation importante depuis leur construction.

Tableau A6.1. Performance thermique (valeur U) des éléments de façades des bâtiments A et D situés à Carouge

Désignation de l'élément		U mesuré	Description
Vitrage	Bâtiment A (1963)	$U_v = 2.4 \pm 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$	Double vitrage simple intégrant des stores à lamelles (similaire à la Cité-Lignon et celle de Meyrin)
	Bâtiment D (1969)	$U_v = 1.4 \pm 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$	Double vitrage intérieur et simple vitrage extérieur séparés par un store à lamelles intégré
Fenêtre	Bâtiment A	$U_F = 2.45 \pm 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (calculé)	Fenêtres en bois-alu (société Guyot)
	Bâtiment D	$U_F = 1.75 \pm 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (calculé)	Fenêtres en bois-alu (société Guyot)
Contrecœur (allège)	Bâtiment A (1963)	$U_C = 0.48 \pm 0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$	Verre émaillé + isolant + panneau de bois aggloméré à l'intérieur
	Bâtiment D (1969)	$U_C = 0.75 \pm 0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$	Verre émaillé + liège + panneau de bois aggloméré à l'intérieur
Mur pignon	Bâtiment A (1963)	Non mesuré	Mur en béton armé
	Bâtiment D (1969)	$U_M = 0.7 \pm 0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$	Mur en béton armé + isolant + brique (épaisseur totale = 40 cm).

On remarque que la performance thermique des éléments transparents de la façade-rideau du bâtiment D est plus performante que celle du bâtiment A à cause du remplacement du simple vitrage intérieur (cas du bâtiment A) par du double vitrage dans le bâtiment D. Les murs pignons du bâtiment D ont également été isolés. Toutefois, cette amélioration de la performance en 1969, s'accompagne par un déclin de celle des contrecœurs pour des raisons qu'on ignore. Ces résultats montrent bien la limite d'une approche globale de classification par typologies de façades pour évaluer le potentiel d'économie d'énergie d'un secteur.

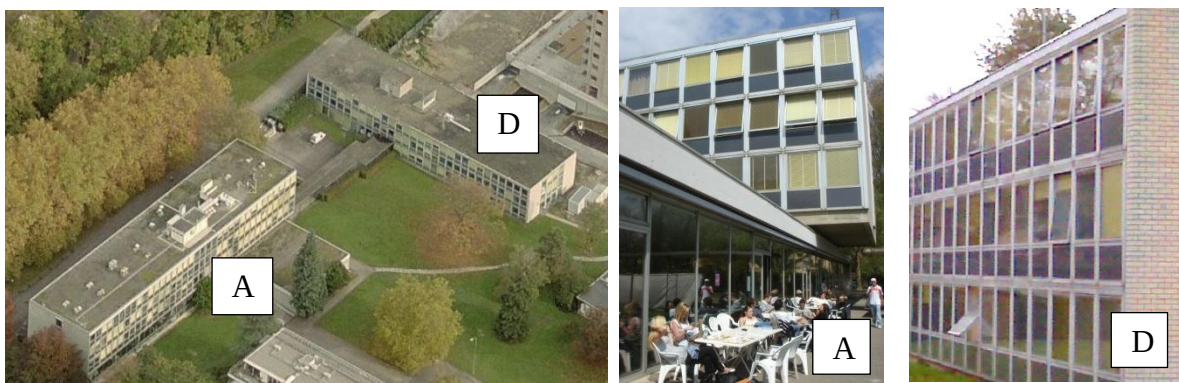
Figure A6.2. Façades légères de la Cité du Lignon (Lignon (1963-1971))



Figure A6.3. Façades légères des ensembles Meyrin Parc et Le Ciel Bleu à Meyrin (1960-1964)



Figure A6.4. Façades légères des bâtiments A (1963) et D (1969) situés à Battelle à Carouge



Annexe A7 : Pouvoirs calorifiques et facteurs d'émissions

Tableau A7.1. Pouvoirs calorifiques et facteurs d'émissions de CO₂ des agents énergétiques

Agent énergétique	Pouvoir calorifique [MJpci/unité]	Facteur d'émission ³ [kg/GJ]
Huile extra légère, en [litres]	36	73.0
Huile ultra légère, en [litres]	35.5	73.0
Gaz, en [KWhpcs] (selon facture SIG)	3.3	55.0
CAD tarifié SIG Lignon, en [kWhutile]	(3.892) ¹	64.7
CAD tarifié CADIOM, en [kWh]	(3.892) ¹	41.2 ²
CAD réparti (de mazout), en [kWh]	3.6	73.0
CAD réparti (de gaz), en [kWh]	3.6	55.0
CAD réparti (de renouvelable), en [kWh]	3.6	0.0
Bois plaquettes, en [m ³]	4'000	0.0
Bois granulés, en [t]	18'000	0.0
Vente de chaleur, en [kWh]	3.6	73.0

Source: Directive pour le calcul de l'indice de dépense de chaleur (ancienne directive) [34]

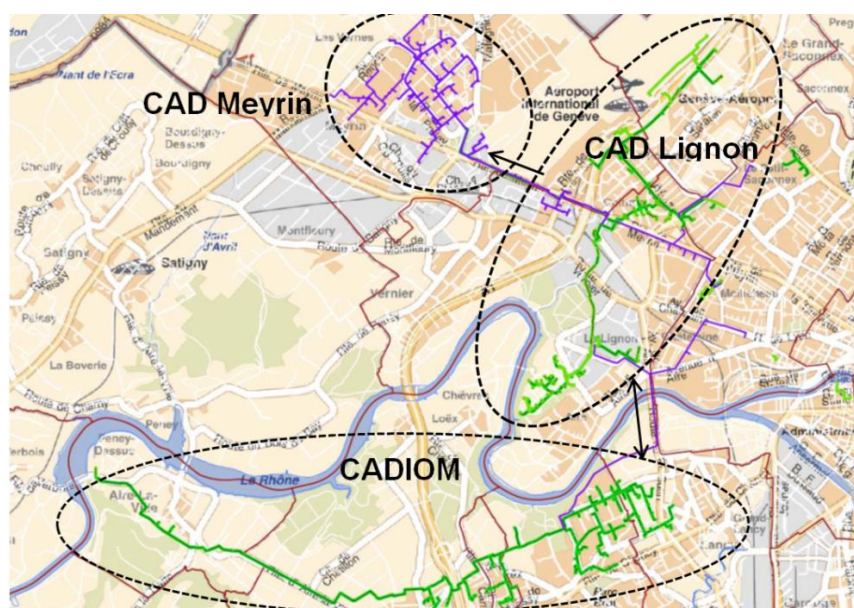
¹ Les valeurs entre parenthèses ne représentent pas des pouvoirs calorifiques, mais des facteurs de correction appliqués pour normaliser la consommation nette d'énergie. Dans la base de données "énergie" de l'OCEN, ces facteurs n'ont pas été effectivement appliqués, d'où 1 kWh de chaleur utile vaut 3.6 MJ.

² Pour la chaleur CADIOM (100% chaleur fatale et situation en 2010), nous avons considéré un facteur d'émission égal à 0.957 kgCO₂/GJ conformément aux données des écobilans dans la construction KBOB [44] et au cahier technique SIA 2031.

³ Pour l'électricité, on a considéré la gamme vitale bleu (100% hydraulique) qui contient 12.4 grammes d'équivalents CO₂ par kWh (source: <http://www.sig-ge.ch/>)

Annexe A8 : Situation des réseaux de chaleur à Genève et correction des agents énergétiques

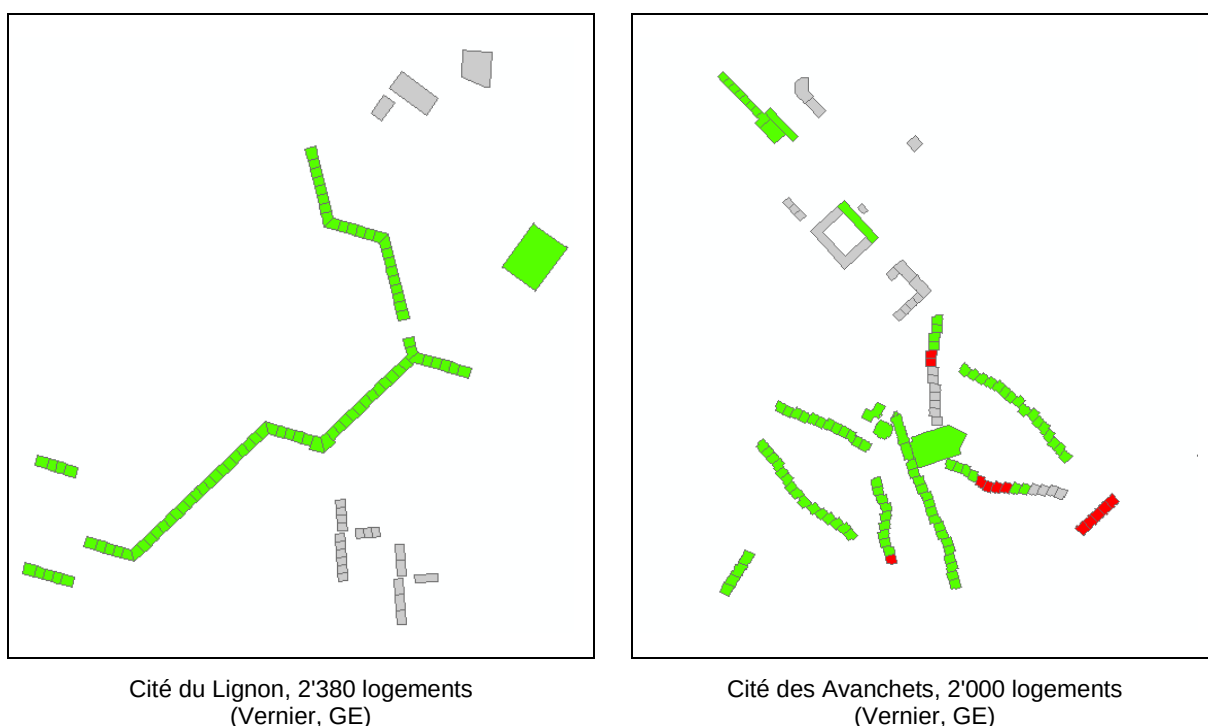
Figure A8.1. Situation des principaux réseaux de chauffage à distance à Genève



La Figure A8.1 montre les principaux réseaux de chauffage à distance à Genève. Les réseaux existants en 2010 sont indiqués en couleur verte. On peut identifier les réseaux CADIOM (100% chaleur fatale) et CAD Lignon (100% gaz). L'évolution en 2011-2012 est indiquée en couleur bleue et se caractérise par la liaison des deux réseaux CADIOM et CAD Lignon et l'extension du réseau à Meyrin.

La Figure A8.2 met en évidence les agents énergétiques erronés des bâtiments de la Cité du Lignon (à gauche) et de la Cité des Avanchets (à droite). Ces bâtiments, qui sont indiqués dans la base de données "énergie" comme alimentés par la chaleur provenant du réseau CADIOM (en couleur verte), sont en réalité chauffés par le réseau de chaleur à distance Lignon-Avanchets-Meyrin-Aéroport alimenté par la chaufferie à gaz de SIG-Lignon (agent énergétique indiqué dans la légende en rouge).

Figure A8.2. Graphique illustrant les agents énergétiques erronés des bâtiments de la Cité du Lignon (à gauche) et de la Cité des Avanchets (à droite)



Légende des agents énergétiques utilisés :

- Bois granulés, en [t], à 18'000 [MJ / t]
- CAD (de gaz), en [kWh], à 3.6 [MJ / kWh]
- CAD (de mazout), en [kWh], à 3.6 [MJ / kWh]
- CAD (de renouvelable), en [kWh], à 3.6 [MJ / kWh]
- CADIOM, en [kWh], à 3.6 [MJ / kWh]

- Electricité, en [kWh], à 3.6 [MJ/kWh]
- Gaz, en [kWh], à 3.3 [MJpci / kWhpcs]
- Mazout ultra-léger, en [litres], à 34.7 [MJ / litre]
- Mazout, en [litres], à 36 [MJ / litre]

NB : Valeurs erronées depuis 2005.

Annexe A9 : Répartition de la consommation finale connue selon l'époque de construction et l'agent énergétique utilisé

Le Tableau A9.1 suivant présente la répartition de la consommation finale connue du secteur résidentiel collectif genevois (10'168 bâtiments totalisant 89% de la SRE totale du secteur) selon l'époque de construction des bâtiments et l'agent énergétique utilisé en 2010.

Tableau A9.1. Répartition de la consommation finale connue du secteur résidentiel collectif genevois (10'168 bâtiments totalisant 89% de la SRE totale du secteur) selon l'époque de construction des bâtiments et l'agent énergétique utilisé en 2010

A. Agents énergétiques fossiles utilisés pour la production de chaleur en 2010

AgentEnerg 2010	Mazout EL & UL*	CAD réparti (de mazout)	Gaz	CAD tarifié (de gaz)	Ehww [1] fossile	Vente de chaleur
Epoqconst.	[GWhpci]	[GWhpci]	[GWhpci]	[GWhpci]	[GWhpci]	[GWhpci]
avant 1919	208	2	126	7	344	0.6
1919 - 1945	155	0	67	1	222	0.0
1946 - 1960	279	3	73	4	359	0.0
1961 - 1970	352	15	71	52	490	0.0
1971 - 1980	291	17	32	29	369	0.0
1981 - 1990	66	1	111	1	179	0.0
1991 - 2000	25	2	145	9	181	0.0
2001 - 2010	3	0	75	0	79	0.0
Total	1'379	40	700	103	2'223	0.6
< 1946	363	2	193	8	566	0.6
1946-1980	922	35	176	85	1'218	0.0
1981-2010	95	3	331	10	439	0.0

* Huile extra-légère EL et ultra-légère UL

B. Agents énergétiques renouvelables ou mixtes utilisés pour la production de chaleur en 2010

AgentEnerg 2010	CADIOM	Bois** gran/plaq	Electricité	Ehww [2] renouv.	Ehww [1+2] totale fournie	Chaleur solaire produite (Qsol)
Epoqconst.	[GWhpci]	[GWhpci]	[GWhpci]	[GWhpci]	[GWhpci]	[GWh]
avant 1919	2.8	0.2	0.0	3.1	347	0.1
1919 - 1945	0.0	0.1	0.0	0.2	223	0.1
1946 - 1960	1.0	0.2	0.0	1.2	360	0.6
1961 - 1970	49.3	0.1	0.0	49.4	540	1.0
1971 - 1980	29.6	0.0	0.0	29.6	398	0.5
1981 - 1990	2.0	0.0	0.0	2.0	181	0.2
1991 - 2000	0.8	0.3	0.0	1.2	183	0.5
2001 - 2010	3.5	0.5	0.0	4.0	83	1.7
Total	89.1	1.4	0.1	90.6	2'314	4.7
< 1946	2.8	0.3	0.1	3.2	570	0.2
1946-1980	79.9	0.3	0.0	80.2	1'298	2.1
1981-2010	6.3	0.8	0.0	7.2	446	2.4

** Bois granulés (0.77 GWh) et bois plaquettes (0.18 GWh) et CAD réparti de renouvelable (0.46 GWh)

Annexe A10 : Evolutions dans le mode de calcul de l'IDC entre avant et après 2010

La méthode de calcul de l'IDC, en vigueur en 2010, a été modifiée et adaptée à l'évolution des normes. Le tableau suivant récapitule les principales évolutions dans le mode de calcul de cet indicateur. Comme évoqué précédemment, ces modifications rendent difficile la comparaison directe des indices entre avant et après l'entrée en vigueur de la nouvelle loi cantonale sur l'énergie.

Tableau A10.1. Principales évolutions dans le mode de calcul de l'IDC entre l'ancienne directive [34] et la nouvelle directive [35] à Genève

	Ancienne directive (avant le 5.08.2010)	Nouvelle directive (dès le 5.08.2010)	Remarques
Conversion en énergie finale	Pouvoir calorifique inférieur (PCI)	Pouvoir calorifique supérieur (PCS)	IDC calculé sur la base du PCS et non plus du PCI afin de tenir compte des chaudières à condensation. Ce changement devrait entraîner une majoration de l'IDC d'environ 5 à 10% selon l'agent énergétique utilisé.
Coefficients de conversion	COP admis pour la pompe à chaleur (PAC) de 2.5	COP admis pour la pompe à chaleur (PAC) de 3.25	Après 2010, modification des coefficients de conversion (PAC, gaz, etc.) et prise en compte des pertes de production et de distribution (7.5%) pour les CAD tarifés.
Météo de référence et correction de l'IDC	2659 DJ _{12/18} , référence sur la période 1961-1970 (SIA 381/3) La nouvelle météo de référence est plus proche de la réalité (1984-2003).	Nouvelle météo basée sur les températures extérieures moyennes à Genève de la période 1984-2003 (SIA 2028)	La température extérieure moyenne de référence est celle de Genève-Cointrin, évaluée par interpolation linéaire selon le cahier technique SIA 2028. Les nouvelles conventions de températures adoptées pour le calcul de l'IDC après 2010 sont également plus proches de la réalité : température de consigne de 20°C pour le logement et température de non chauffage de 16°C (DJ réf _{16/20} = 3258, JCH = 262)
Part de l'ECS pour l'application de la correction climatique	Part réelle si connue, sinon 30% par défaut	Part réelle si connue, sinon une valeur de 128 MJ PCS par m ² par an est adoptée pour l'habitat collectif	La correction climatique est appliquée uniquement à la part de chauffage. Cette part est déduite de la consommation totale après élimination de la part d'eau chaude sanitaire.
Période de relevé des consommations	1 année (365 jours)	12 mois +/- 30 jours	Le relevé de consommation n'est plus comptabilisé par année (365 jours), mais sur une période de 12 mois +/- 30 jours.

Annexe A11 : Répartition des IDC 2010 des bâtiments résidentiels collectifs selon l'époque de construction

Le Tableau A11.1 présente la répartition des indices de dépense de chaleur (IDC) en 2010 selon l'époque de construction des 10'168 bâtiments résidentiels collectifs genevois (dont les données énergétiques sont connues et qui représentent 89% de la SRE totale du secteur).

Tableau A11.1. Répartition des indices de dépense de chaleur (IDC) exprimés en MJ/m²a des bâtiments résidentiels collectifs selon l'époque de construction à Genève en 2010

A. Minimum, maximum, moyenne, écart-type et moyenne pondérée de la distribution des IDC 2010

IDC 2010	Nombre	Part connue	Moyenne des IDC ^a	Ecart-type	Min ¹	Max ¹	IDC Moyen
Epoqconst.	[-]	[%]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]
avant 1919	1'638	62%	481	111	92	1'254	470
1919 - 1945	955	79%	515	116	59	1'171	499
1946 - 1960	1'655	92%	546	117	130	1606 ²	524
1961 - 1970	1'791	95%	518	103	240	1'147	507
1971 - 1980	1'464	93%	520	88	109	1'074	510
1981 - 1990	837	84%	453	93	214	905	445
1991 - 2000	1'180	87%	423	85	157	860	418
2001 - 2010	648	55%	370	79	187	659	363
Total	10'168	81%	491	113	59	1'606	483
avant 1946	2'593	68%	493	114	59	1'254	481
1946-1980	4'910	94%	528	105	109	1'606	513
1981-2010	2'665	75%	420	92	157	905	417

¹ Les valeurs Min et Max n'ont pas été vérifiées et peuvent présenter des erreurs. Pour cela nous recommandons de considérer à leur place le premier centile C1 et le dernier centile C99.

² Cette valeur nous semble inexacte car l'IDC de ce bâtiment (SRE=330 m²) varie énormément et passe de 666 MJ/m²a en 2008 à 1606 MJ/m² en 2010 !)

³ La moyenne des IDC représente la moyenne arithmétique des indices, alors que l'IDC moyen est le rapport de la somme des consommations normalisées climatiquement par la somme des surfaces énergétiques correspondantes.

B. Distribution en percentiles des IDC 2010

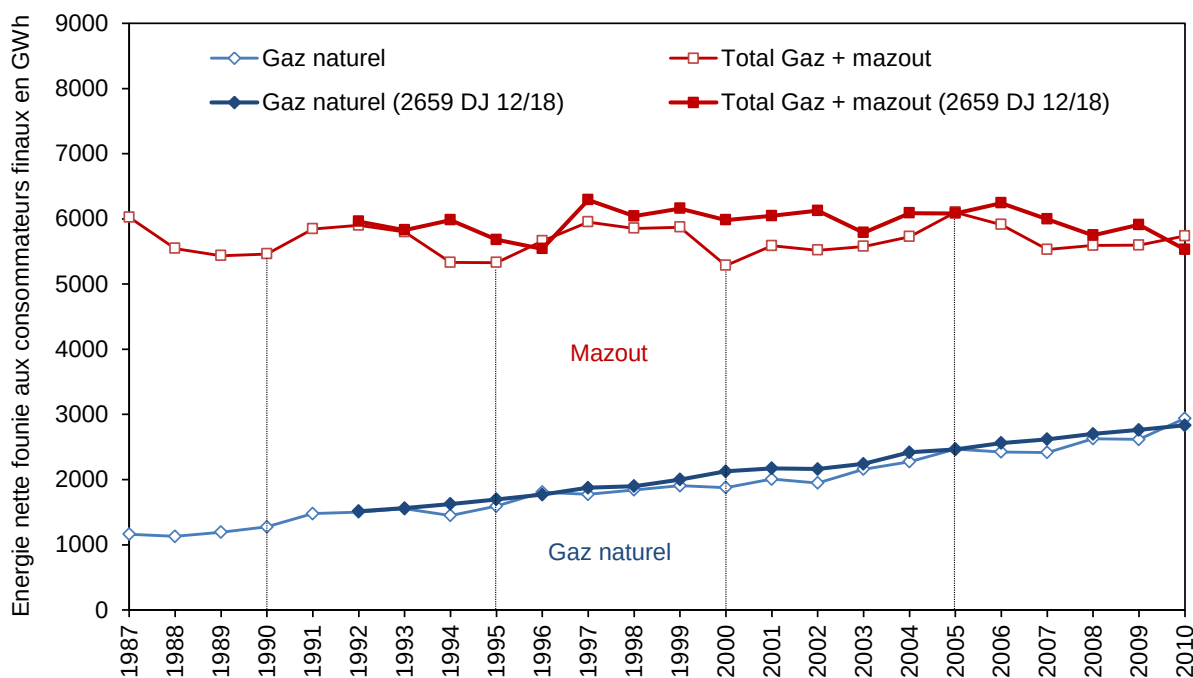
IDC 2010	C1	D1	Q1	Médiane	Q3	D9	C99
Epoqconst.	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]	[MJ/m ² a]
avant 1919	244	355	410	473	536	613	811
1919 - 1945	283	389	445	503	568	659	821
1946 - 1960	308	414	471	531	616	691	882
1961 - 1970	315	404	450	506	573	646	797
1971 - 1980	338	424	468	513	563	621	777
1981 - 1990	246	345	389	445	506	563	796
1991 - 2000	245	323	369	416	476	526	680
2001 - 2010	187	273	308	370	429	470	567
Total	248	359	418	485	549	632	805
avant 1946	253	370	420	485	547	633	820
1946-1980	316	414	463	517	582	654	837
1981-2010	224	307	361	415	474	532	721

NB: C1 premier centile; D1 premier décile; Q1 premier quartile; M médiane; Q3 troisième quartile, D9 neuvième décile; C99 dernier centile

Annexe A12 : Substitution du mazout par le gaz au niveau cantonal (1987-2010)

La Figure A12.1 suivante met en évidence la substitution du mazout par le gaz naturel à Genève (tous secteurs confondus, période 1987-2010)

Tableau A12.1. Evolution de la consommation de gaz naturel et de mazout, avec et sans correction climatique à Genève, entre 1987 et 2010



La correction climatique a été effectuée sur la base de 2659 DJ_{12/18} en utilisant le facteur annuel, et non pas saisonnier, pour être en cohérence avec les données annuelles de livraison d'énergie. Les consommations de gaz et de mazout sont issues du bilan des livraisons d'énergie publié par l'OCSTAT [15].

On remarque qu'au niveau cantonal, la consommation de gaz n'a cessé d'augmenter depuis 1980 pour atteindre en 2010 la valeur de 2'939 GWh. L'année 2010 est une année charnière puisque les ventes de gaz ont dépassé pour la première fois les ventes de mazout (2'797 GWh). La substitution du mazout par le gaz au niveau cantonal semble être en avance par rapport au secteur résidentiel collectif, où le mazout reste le principal agent énergétique pour la production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (cf. point 2.5.4 du chapitre 2).

Annexe A13 : Enjeux liés à la décroissance du gaz domestique dans les zones desservies par le chauffage à distance

Le développement des réseaux de chauffage à distance, résultant de la planification énergétique territoriale, a un impact direct sur les réseaux de gaz. En effet, le chauffage à distance (CAD) alimenté centralement par du gaz (ex. CAD Lignon) ou à partir de l'incinération des ordures ménagères (ex. CADIOM) substitue dans les zones de desserte les chaudières alimentées par le réseau gaz. Ainsi, le réseau ne fournit dorénavant le gaz que pour les abonnés de gaz domestique. Cette substitution CAD/gaz est problématique surtout lorsque les deux réseaux sont gérés par deux services ou entités différentes.

Se pose alors la question de la rentabilité pour les Services Industriels de Genève d'entretenir et de maintenir le réseau de gaz situé dans les zones d'étendue du réseau CAD, par exemple à Onex, Bernex et Petit Lancy. Ce problème se posera aussi à Meyrin dans le cadre du plan d'extension du réseau vers la commune suite au couplage des réseaux CAD Lignon et CADIOM. Dans les prochaines années, le défi consiste à devoir gérer la décroissance de la demande de gaz domestique et du nombre de clients dans ces zones et à maintenir le réseau en bonne condition en respectant les aspects de sécurité. Il s'agit aussi d'éviter des investissements inutiles pour les propriétaires, et coûteux et non rentables pour SIG. Les enjeux sont d'ordres plus économiques qu'énergétiques et plusieurs questions restent ouvertes, liées:

- à l'application par l'OCEN de l'article 79 RCI qui oblige de mettre à disposition le gaz dans toutes les cuisines des grands bâtiments d'habitation situés à proximité du réseau de gaz à Genève.
- à l'obligation des Services Industriels de Genève d'entretenir les réseaux gaz conformément à l'article 158 de la constitution genevoise.
- aux investissements nécessaires pour l'entretien du réseau de gaz en particulier dans les zones desservies par le chauffage à distance. Une politique de renouvellement du réseau vétuste datant des années 70 est prévue par les SIG, mais les opérations dans ces zones semblent ne pas être rentables.
- à l'obligation des propriétaires de rénover les installations gaz à l'intérieur des bâtiments. A ce propos, la disposition légale (art. 79 RCI) ne prévoit ni un contrôle périodique des installations, ni une obligation précise concernant la maintenance et l'entretien, qui seraient traités par d'autres principes (ex. responsabilité civile).

Les enjeux énergétiques, économiques, législatifs et sociaux liés à ce règlement ont été soulevés et discutés dans l'étude [43] menée par le groupe Energie de l'UNIGE. Sur quoi, l'étude propose trois scénarios envisageables pour l'avenir de cette disposition légale et fait ressortir les problèmes liés aux bâtiments neufs et aux bâtiments existants. Enfin, l'étude recommande de supprimer l'obligation de maintenir l'installation gaz domestique dans l'existant en cas de rénovation et préconise une véritable concertation préalable à la prise de décision. Elle propose également une ébauche de stratégie gagnant-gagnant entre les différents acteurs concernés : les propriétaires, les clients gaz, les pouvoirs publics et les Services Industriels de Genève.

Enfin, l'expérience à Lausanne en matière de coordination entre les services de gaz et du chauffage à distance nous paraît intéressante, vu que dans le canton de Vaud, l'obligation de mettre à disposition le gaz dans les cuisines (article 42 ter) a été supprimée en 1997. Selon les Services industriels de Lausanne (SiL), la fusion des deux services était nécessaire afin de mieux coordonner les zones de desserte.

Annexe A14 : Tableau comparatif des consommations d'ECS

Tableau A14.1. Analyse comparative de la consommation d'eau chaude sanitaire d'un ensemble de bâtiments résidentiels collectifs situés à Genève

Bâtiments résidentiels à Genève	CARA	SOM	FINS	GIAC	POMC 12-1	POMC 12-2	TAMB	POMB1	GC 40-42	PLO	MIDI	CGO	COP5	Total
Année de construction	2001	2000	1997	1997	2005	2005	2001	2004	1963	1996	1985	1963	2010	-
SRE (résidentiel)	[m²]	4073	4212	2264	6346	6312	10303	17520	5357	9416	4196	10720	9552	93797
Nombre de bâtiments	[-]	7	4	2	2	4	5	9	2	7	5	4	10	65
Nombre de pièces	[-]	190	184	99	150	251	380	615	236	394	163	500	414	3826
Nombre d'habitants	[-]	108	115	64	98	180	243	391	134	187	123	308	263	2398
SRE/habitant	[m²/hab]	38	37	35	36	35	42	45	40	50	34	35	36	-
Période de relevé	(03-07)	(03-07)	(03-07)	(03-07)	(05-08)	(05-08)	(03-07)	(06-07)	(08-10)	(98-99)	(86-89)	(92-93)	(2012)	-
Données de base (1)	Eau	Eau	Eau	Eau	Eau	Eau	Eau	Energie	Energie	Energie	Energie	Energie	Energie	-
ECS (volume)	[m³/an]	2074	2524	1107	2018	3765	5862	8585	2964	4240	2454	7309	5709	52936
	[m³/hab.an]	19	22	17	21	21	24	22	22	23	20	24	22	-
	[Litre/hab.jour]	53	60	47	56	57	66	60	61	62	55	65	59	-
ECS (énergie) (2)	[MJ/m²SRE.an]	89	105	86	100	104	100	90	102	83	108	120	105	-
	[MJ/pièce.an]	1917	2408	1963	2362	2633	2708	2573	2315	1984	2776	2573	2427	-
	[MJ/habitant.an]	3372	3854	3036	3615	3672	4235	4047	4078	4179	3678	4177	3821	-
ECS par habitant	[kWh/hab.an]	937	1070	843	1004	1020	1176	1124	1133	1161	1022	1160	1082	-
	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	
Sources de données:														
(a) [46] J.-M. Zraggen, 2010														
(b) [48] F. Mermoud, J. Khoury et B. Lachal, 2012														
(c) [65] G. Branco et al., 2002														
(d) [94] C. Macherel C. et G. Krebs, 1989														
(e) [49] D. Cabrera, B. Lachal, W. Weber et J. Gil, 1993														
(f) C. Fraga (communication privée, UNIGE)														
(1) Les besoins d'eau chaude sanitaire (ECS) ont été calculés soit sur la base de relevé de compteur d'eau froide à l'entrée du bouilleur (Eau), soit par le biais de mesures in-situ dans le cadre de retours d'expérience (Energie). Les données de base sont indiquées en caractère gras.														
(2) Un facteur de 176 MJ/m³ d'eau du réseau a été admis pour estimer l'énergie nécessaire pour chauffer le volume d'eau à 55°C (hypothèse: température annuelle moyenne du réseau de 13°C)														
Consommation annuelle moyenne d'ECS														
par m²SRE														
par pièce														
par habitant														
60 Litre/hab.jour														

Annexe A15 : Répartition des requêtes d'autorisation et des bâtiments concernés selon la nature et le type de travaux envisagés

Tableau A15.1. Répartition des autorisations de rénovation et des bâtiments d'habitation concernés, selon la nature des travaux (énergie/non énergie) et le type de travaux envisagés (cf. Tableau 3.4) entre mars 2004 et mai 2012, dans le Canton de Genève

Type de travaux		Nature des travaux			
		Energie		Non Energie	
		Autorisation	Bâtiment	Autorisation	Bâtiment
Catégorie T-1: rénovation de l'enveloppe	Nombre % énergie/total	241 (100%)	558 (100%)	0 (0%)	0 (0%)
Sous-catégories:					
• Rénovation partielle (P1/3)		80	142	0	0
• Rénovation des façades (F2/3)		71	136	0	0
• Rénovation complète (C3/3)		90	280	0	0
Catégorie T-2: rénovation du système de production de chaleur	Nombre % énergie/total	78 (100%)	159 (100%)	0 (0%)	0 (0%)
	dont T-2 seul	34	72	0	0
	dont T-1 & T-2	44	87	0	0
Répartition par type*:					
• Rénovation de la chaufferie		23	-	0	0
• Ajout d'une installation solaire thermique		63	-	0	0
• Recours à la géothermie sur PAC		5	-	0	0
Catégorie T-3: Création de logements (travaux à plus-value non énergétique)	Nombre % énergie ou non énergie/total	97 (28%)	145 (31%)	249 (72%)	328 (69%)
	dont T-3 & T-4	23	37	35	55
Répartition par type*:					
• Surélévation d'immeubles		35	78	93	163
• Aménagement des combles		62	67	156	165
• T-3 avec ajout d'ascenseur		22	36	34	35
Catégorie T-4: Travaux de réfection et d'entretien	Nombre % énergie ou non énergie/total	55 (53%) (énergie avec entretien)	181 (68%)	48 (47%) (non énergie avec entretien)	84 (32%)
Répartition par type*:					
• Réfection des façades		27	49	36	61
• Réfection de la toiture		9	10	13	19
• Réfection des communs d'immeubles		21	124	3	5
• Réfection à l'intérieur des appartements		11	36	5	13
• Réaménagement des services (buanderies)		5	5	3	3

* Une rénovation peut englober plusieurs types de travaux.

Annexe A16 : Liste des sondes installées sur les bâtiments 36-38 et 40-42

Tableau A16.1. Liste des sondes installées sur le bâtiment 40-42 (rénové) et 36-38 (non rénové).
Ce tableau est extrait du rapport Gros-Chêne [48]

n°	Variable	Description	Unité	Capteur	Emplacement	Pose
		Météo				
1	Text	Temp. Extérieure	°C	Rotronic	Toiture	Cuepe
2	Ghor	Ensoleillement horizontal	W/m2	Solarimètre 861134	Toiture	Cuepe
3	Gcap	Ensoleillement plan capteurs	W/m2	Solarimètre 820234	Toiture	Cuepe
4	Hr	Humidité relative	%	Rotronic	Toiture	Cuepe
		Installation solaire thermique				
5	Wsol	Débit boucle capteurs	25 l/imp	Débitmètre	Chauderie	Existant (optocoupleur)
6	TsolD	Temp. Départ capteurs	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
7	TsolR	Temp. Retour capteurs	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
		CADIOM				
8	Tcad	Temp. CADIOM après échangeur	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
41	ECAD	Energie fournie par CADIOM au 40-42	1 kWh/imp	Compteur de chaleur	Chauderie	CADIOM
		Appoint ECS (CADIOM)				
9	WcadEcs	Débit échangeur	25 l/imp	Débitmètre	Chauderie	Existant (optocoupleur)
10	TcadEcsR	Temp. Retour échangeur ECS	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
		Eau chaude sanitaire				
11	Weecs	Débit ECS	2.5 l/imp	Débitmètre	Chauderie	Cuepe
12	WeecsC	Débit alimentation circulation Ecs	2.5 l/imp	Débitmètre	Chauderie	Cuepe
13	TecsF	Temp. Eau froide	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
14	TecsB	Temp. Ecs sortie bouilleurs	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
15	TecsD	Temp. Ecs distribuée	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
16	TecsRC	Temp. Ecs retour circulation	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
		Circuit de chauffage (CADIOM)				
17	WchS	Débit chauffage secteur Sud	1 l/imp	Débitmètre	Chauderie	Cuepe
18	WchN	Débit chauffage secteur Nord	1 l/imp	Débitmètre	Chauderie	Cuepe
19	TchSDM	Temp. Départ chauff. Sud après mitigeur	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
20	TchSR	Temp. Retour chauffage secteur Sud	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
21	TchNDM	Temp. Départ chauff. Nord après mitigeur	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
22	TchNR	Temp. Retour chauffage secteur Nord	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
47	TchAM	Temp. Chauffage avant mitigeur	°C	Thermocouple Contact	Chauderie	Cuepe
		Ventilation double-flux				
23	WairP	Débit air pulsé		Sortie analog Menerga	Toiture	Menerga
24	WairE	Débit air extrait		Sortie analog Menerga	Toiture	Menerga
25	TairN	Temp. Air neuf	°C	Thermocouple	Toiture	Cuepe
26	TairNechE	Temp. Air neuf entrée échangeur	°C	Thermocouple	Toiture	Cuepe
27	TairNechS	Temp. Air neuf sortie échangeur	°C	Thermocouple	Toiture	Cuepe
28	TairPcond	Temp. Air pulsé (après condenseur PAC)	°C	Thermocouple	Toiture	Cuepe
45	TairP	Temp. Air pulsé	°C	Thermocouple	Toiture	Cuepe
29	TairR	Temp. Air repris	°C	Thermocouple	Toiture	Cuepe
30	TairE	Temp. Air extrait	°C	Thermocouple	Toiture	Cuepe
46	Dbypas	Contrôle ouverture bypass échangeur	I/O	Sortie digitale Menerga	Toiture	Menerga
		Electricité				
31	Ppac12	Puissance active PAC 1+2	W	Sineax M560 no 1	Toiture	Cuepe
32	PvenAP	Puissance active ventilo air pulsé	W	Sineax M560 no 1	Toiture	Cuepe
33	PvenAE	Puissance active ventilo air extrait	W	Sineax M560 no 1	Toiture	Cuepe
34	Pchauf	Puissance active chaufferie (pompes, etc)	W	Sineax M560 no 2	Chauderie	Cuepe
		Divers				
35	TB1	Temp. Référence boîtier thermocouple B1	°C	PT100-1	Chauderie	Cuepe
36	DecsC	Marche/arrêt circulateur ECS	I/O	Relais	Chauderie	Cuepe
37	TB2	Temp. Référence boîtier thermocouple B2	°C	PT100-2	Toiture	Cuepe
43	Dchauf	Marche/arrêt circulateurs chaudières à mazout	I/O	Relais	Chauderie	Cuepe
44	Dmode	Mode de régulation	num	3 relais (binaire)	Chauderie	Cuepe
		Bâtiment 36-38 non rénové				
38	XWch	Débit collecteur chauffage	1 l/imp	Débitmètre	Chauderie	Cuepe
39	XTchD	Temp. Départ collecteur chauffage	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
40	XTchR	Temp. Retour collecteur chauffage	°C	Thermocouple	Chauderie	Cuepe
42	XECAD	Energie fournie par CADIOM au 36-38	1 kWh/imp	Compteur de chaleur	Chauderie	CADIOM

Annexe A17 : Bilan par usage du bâtiment 40-42 entre 2003 et 2007 (période de référence avant travaux)

Tableau A17.1. Consommations d'énergie électrique et thermique (normalisée par rapport à 2507 DJ_{12/18}) ramenées à un mètre carré de plancher chauffé (SRE) et exprimées en mégajoules par mètre carré et par an (MJ/m²a).

	Unité	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2003-2007
El_Commune	MJ/m ² a	31	31	29	28	30
El_Résid	MJ/m ² a	91	91	89	95	91
El_Totale	MJ/m ² a	122	122	118	123	121
Th_ECS	MJ/m ² a	128	128	128	128	128
Th_Chauffage	MJ/m ² a	553	536	465	499	513
Th_Totale	MJ/m ² a	680	664	593	627	641
Energie_Totale	MJ/m ² a	802	786	711	749	762

Tableau A17.2. Coût de l'énergie d'exploitation ramené à un mètre carré de plancher chauffé (SRE) et exprimé en franc suisse hors taxe par mètre carré et par an (CHF/m²a).

	Unité	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2003-2007
Electricité (Tarif profil simple, vital bleu)						
Coût_El_Commune	CHF.HT/m ² a	1.7	1.7	1.6	1.5	1.6
Coût_El_Résid	CHF.HT/m ² a	4.9	4.9	4.9	5.1	5.0
Coût_El_Totale	CHF.HT/m ² a	6.6	6.6	6.4	6.7	6.6
Mazout El (Tarif évolutif, OFS)						
Coût_Th_ECS	CHF.HT/m ² a	1.4	1.9	2.6	2.6	2.1
Coût_Th_Chauffage	CHF.HT/m ² a	6.1	7.9	9.6	10.0	8.4
Coût_Th_Totale	CHF.HT/m ² a	7.5	9.8	12.2	12.6	10.5
Coût_Energie_Totale	CHF.HT/m ² a	14.1	16.4	18.6	19.2	17.1
Prix moyen mazout* en CHF/100l		40	53	74	72	
Prix de l'électricité Tarif profil simple		19.58	19.58	19.58	19.58	
Vital Bleu 2012-2013						

* Office fédéral de la statistique (OFS), Indice suisse des prix à la consommation

Tableau A17.3. Émissions associées à l'énergie d'exploitation, ramenées à un mètre carré de plancher chauffé (SRE) et exprimées en kilogramme de CO₂ équivalent par mètre carré et par an (kg CO₂éq/m²a).

	Unité	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2003-2007
Emis_El_Commune	kgCO ₂ éq/m ² a	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Emis_El_Résid	kgCO ₂ éq/m ² a	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Emis_El_Totales	kgCO ₂ éq/m ² a	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Emis_Th_ECS	kgCO ₂ éq/m ² a	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4
Emis_Th_Chauffage	kgCO ₂ éq/m ² a	40.7	39.5	34.3	36.8	37.8
Emis_Th_Totales	kgCO ₂ éq/m ² a	50.1	48.9	43.7	46.2	47.2
Emis_Energie_Totales	kgCO ₂ éq/m ² a	50.5	49.4	44.1	46.6	47.7

Annexe A18 : Résultats détaillés du suivi énergétique pour les années 2008-2009 et 2009-2010

Les tableaux ci-dessous présentent les flux énergétiques mesurés et quantifiés lors de la période du suivi 2008-2010, pour les bâtiments 40-42 et 36-38. Ils sont repris de l'annexe 5 du rapport Gros-chêne [48].

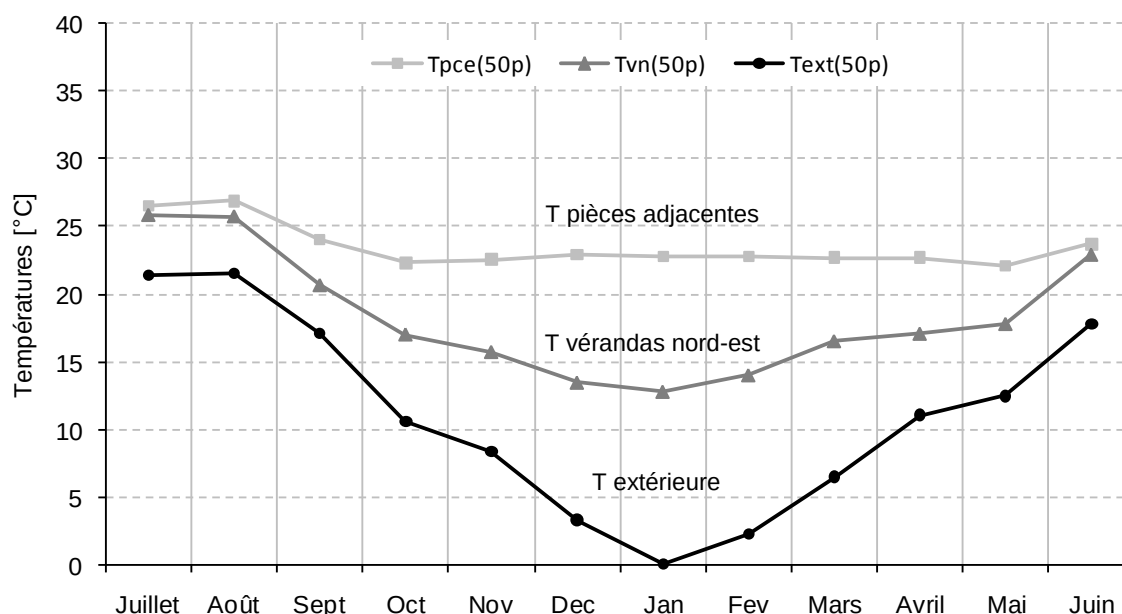
Tableau A18.1. Résultats du suivi explicités par poste et par mois pour 2008-2009 et 2009-2010

Flux énergétiques 08-09													
MJ/m²	oct 08	nov 08	dec 08	jan 09	fev 09	mars 09	avr 09	mai 09	juin 09	juil 09	août 09	sept 09	TOTAL
DJ 12/18	153.9	352.3	507.7	565.6	454.2	362.4	88.0	7.3				0.0	2491.4
40-42													
Total CADIOM	28.2	45.3	65.9	70.5	55.3	45.7	18.6	8.8	3.9	3.3	8.3	6.4	360.2
Chauffage	19.6	36.1	55.3	58.6	46.3	37.6	13.7	4.1	0.2	0.0	0.0	0.0	271.4
CADIOM	19.6	36.1	55.3	58.6	46.3	37.6	13.7	4.1	0.2	0.0	0.0	0.0	271.4
ECS	11.1	10.7	11.4	12.6	11.3	12.3	10.6	10.8	9.4	7.6	7.6	9.2	124.6
distribution	9.3	8.9	9.6	10.8	9.5	10.5	8.8	9.0	7.6	5.8	5.8	7.4	103.0
solaire produit	2.5	1.5	0.8	0.7	2.3	4.1	5.7	6.1	6.1	4.9	0.3	3.6	38.6
CADIOM	8.6	9.2	10.6	11.9	9.0	8.2	4.9	4.6	3.3	2.7	7.3	5.6	86.0
pertes bouclage	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	7.2
pertes stockage	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	21.6
Ventilation	-2.4	-0.2	0.2	-1.1	0.4	-0.2	-2.4	-4.4					-10.1
extrait	9.8	15.0	21.4	18.4	15.9	15.0	9.8	6.7					111.8
pulsé	7.4	14.8	21.6	17.3	16.3	14.8	7.4	2.3					101.7
ventil	-2.4	-0.2	0.2	-1.1	0.4	-0.2	-2.4	-4.4					-10.1
VDF	5.7	8.8	13.0	10.8	9.6	8.8	5.7	3.8					66.1
PAC	1.1	6.1	9.4	7.0	7.2	6.1	1.1						38.0
Electricité	1.1	1.2	1.8	1.5	1.4	1.2	0.7	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	10.3
pompe solaire	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.5
VDF	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	3.7
PAC	0.6	0.7	1.3	1.2	1.1	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1
36-38													
Total CADIOM	42.4	66.4	96.5	107.1	83.8	67.9	31.7	16.2	9.7	8.3	8.2	9.7	547.9
Chauffage	26.8	52.9	81.6	92.0	69.4	51.9	17.4	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	396.0
CADIOM	26.8	52.9	81.6	92.0	69.4	51.9	17.4	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	396.0
ECS	15.6	13.5	14.8	15.1	14.4	16.1	14.3	12.3	9.7	8.3	8.2	9.7	151.9
distribution	14.2	12.3	13.5	13.7	13.1	14.6	13.0	11.2	8.8	7.5	7.4	8.8	138.1
CADIOM	15.6	13.5	14.8	15.1	14.4	16.1	14.3	12.3	9.7	8.3	8.2	9.7	151.9
pertes stockage	1.4	1.2	1.3	1.4	1.3	1.5	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.9	13.8
Flux énergétiques 09-10													
MJ/m²	oct 09	nov 09	dec 09	jan 10	fev 10	mars 10	avr 10	mai 10	juin 10	juil 10	août 10	sept 10	TOTAL
DJ 12/18	199.3	300.2	486.1	569.9	448.1	369.6	165.0	119.5					2657.7
40-42													
Total CADIOM	27.0	43.4	63.3	70.0	54.9	43.9	22.6	15.7	4.9	1.6	3.7	6.4	357.4
Chauffage	20.3	34.5	53.7	59.9	45.9	34.9	16.7	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	274.7
CADIOM	20.3	34.5	53.7	59.9	45.9	34.9	16.7	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	274.7
ECS	10.1	9.9	10.5	10.8	11.3	12.5	11.3	11.4	10.1	7.8	8.1	9.5	123.2
distribution	8.2	8.4	8.6	9.1	8.9	10.6	9.4	9.5	8.2	5.7	6.6	7.9	101.0
solaire produit	3.4	1.1	0.8	0.7	2.3	3.6	5.3	4.5	5.9	6.6	5.1	4.0	43.2
CADIOM	6.7	8.9	9.7	10.1	9.0	8.9	5.9	6.9	4.2	1.2	3.0	5.5	80.0
pertes bouclage	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	4.7
pertes stockage	1.9	1.6	1.9	1.7	2.4	1.9	1.9	1.9	1.9	2.1	1.5	1.6	22.2
Ventilation	-2.6	-1.9	-2.4	-2.4	-1.9	-2.0	-1.6	-2.3					-17.3
extrait	10.7	13.2	17.7	16.3	12.8	10.2	6.1	5.5					92.5
pulsé	8.0	11.3	15.2	13.9	10.9	8.2	4.5	3.2					75.2
ventil	-2.6	-1.9	-2.4	-2.4	-1.9	-2.0	-1.6	-2.3					-17.3
VDF	6.3	7.8	10.7	9.8	7.7	6.2	3.7	3.6					55.7
PAC	1.3	3.6	5.1	4.6	3.6	1.9	0.5						20.7
Electricité	1.0	0.9	1.1	1.1	0.9	0.8	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.3	7.4
pompe solaire	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6
VDF	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	2.8
PAC	0.4	0.6	0.8	0.8	0.7	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
36-38													
Total CADIOM	38.9	59.8	89.7	101.2	81.0	65.2	38.0	27.1	10.1	8.1	7.7	16.0	542.9
Chauffage	24.3	42.4	67.4	77.4	59.4	52.2	24.1	15.5	0.0	0.0	0.0	6.0	368.7
CADIOM	24.3	42.4	67.4	77.4	59.4	52.2	24.1	15.5	0.0	0.0	0.0	6.0	368.7
ECS	14.6	17.4	22.3	23.9	21.7	13.0	14.0	11.6	10.1	8.1	7.7	10.0	174.2
distribution	13.3	15.8	20.3	21.7	19.7	11.8	12.7	10.5	9.1	7.4	7.0	9.1	158.3
CADIOM	14.6	17.4	22.3	23.9	21.7	13.0	14.0	11.6	10.1	8.1	7.7	10.0	174.2
pertes stockage	1.3	1.6	2.0	2.2	2.0	1.2	1.3	1.1	0.9	0.7	0.7	0.9	15.8

Annexe A19 : Analyse en percentiles des vérandas nord-est

La Figure A19.1 présente les températures médianes mensuelles des vérandas nord-est $T_{vn}(50p)$, des pièces adjacentes $T_{pce}(50p)$ et de l'air extérieur $T_{ext}(50p)$. Hormis la température extérieure, chaque valeur est la moyenne sur deux mesures relevées toutes les 10 minutes de juillet 2009 à juin 2010.

Figure A19.1. Température médiane mensuelle des vérandas nord-est (T_{vn}), des pièces adjacentes (T_{pce}) et de l'air extérieur (T_{ext}) mesurée avec un pas de 10 min (juillet 2009-juin 2010)



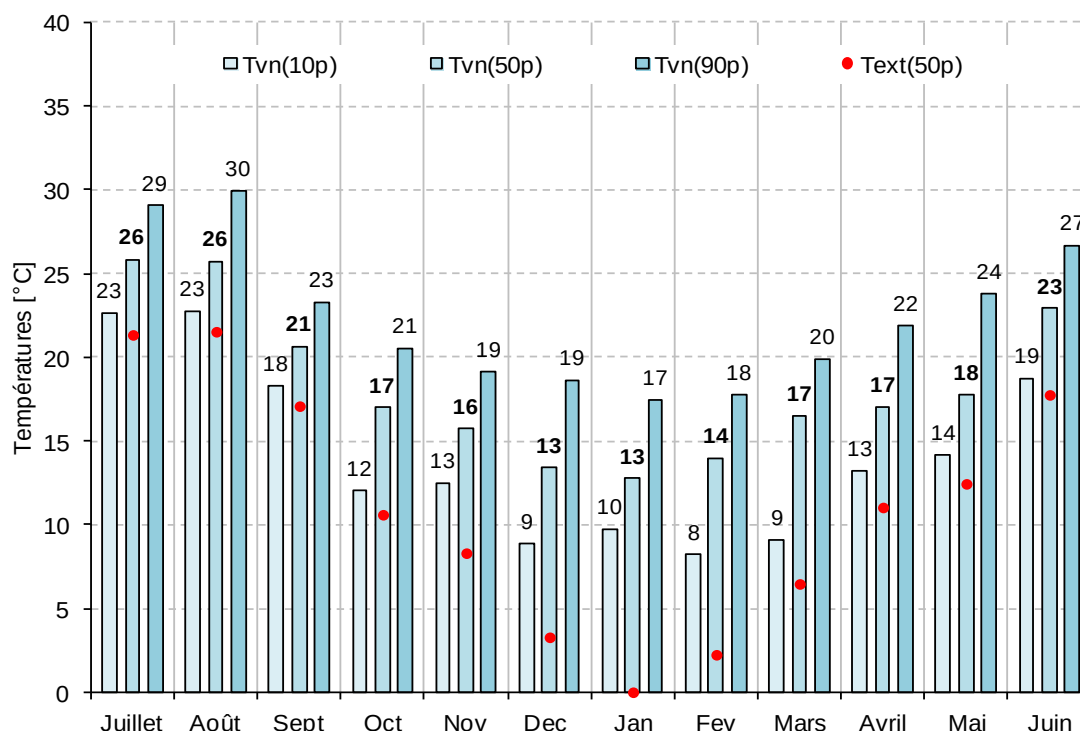
Le Tableau A19.1 ci-dessous donne les températures minimales et maximales mensuelles (moyenne sur 2 vérandas orientées nord-est) mesurées avec un pas de 10 min.

Tableau A19.1. Températures maximales ($T_{vn_{max}}$) et minimales ($T_{vn_{min}}$) mensuelles des vérandas nord-est du bâtiment 42. Chaque valeur est la moyenne sur 2 vérandas, mesurée avec un pas de 10 min, de juillet 2009 à juin 2010

T(°C)	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin
$T_{vn_{min}}$	19	19	15	9	9	5	7	4	5	9	12	16
$T_{vn_{max}}$	33	33	28	24	21	20	20	21	23	27	29	31

L'évolution des températures mensuelles 10p, 50p et 90p mesurées dans les vérandas nord-est du bâtiment 42 sont présentées sur la Figure A19.2. Les points rouges indiquent les températures médianes mensuelles extérieures de juillet 2009 à juin 2010.

Figure A19.2. Evolution des températures mensuelles 10p, 50p, et 90p des vérandas nord-est, mesurées avec un pas de 10 min de juillet 2009 à juin 2010. Chaque valeur est la moyenne sur 2 vérandas. Les points rouges indiquent la valeur médiane des températures extérieures Text(50p)



Discussion des résultats

En hiver, les températures médianes enregistrées dans les vérandas nord-est Tvn(50p) varient entre 13 et 14°C durant les mois de décembre, janvier et février comme on peut le constater sur les Figures A19.1 et A19.2. Ensuite, 90% des valeurs enregistrées toutes les 10 minutes dans ces vérandas sont respectivement supérieures à 9, 10 et 8°C, tandis que 10% des températures mesurées sont respectivement supérieures à 19, 17 et 18°C.

Le Tableau A19.1 montre que la température minimale atteinte en hiver dans les balcons vitrés est de 4°C en février en raison de l'ouverture des fenêtres de la paroi extérieure de la véranda, tandis que la température maximale enregistrée durant cette période a atteint 21°C en février. Cette température est inférieure à la température maximale enregistrée dans les vérandas sud-ouest, sans doute à cause de son orientation (peu d'apports solaires sur la façade nord-est). Toutefois, cette valeur est élevée et révèle que certaines vérandas ont été chauffées par les appartements suite à l'ouverture des portes-fenêtres de la paroi intérieure. Enfin, les médianes des températures mesurées toutes les 10 minutes en hiver dans les locaux adjacents aux vérandas sont élevées et varient entre 23 et 24°C (cf. Figure A19.1).

En été, les températures médianes enregistrées dans les vérandas nord-est varient entre 23 et 26°C durant les mois de juin, juillet et août (cf. Figures A19.1 et A19.2). La Figure A19.2 montre que 90% des valeurs enregistrées toutes les 10 minutes dans ces vérandas sont supérieures à 19°C en juin et à 23°C durant les mois de juillet et août, tandis que 10% des valeurs enregistrées ont dépassé respectivement les 27, 29 et 30°C. Quant aux températures maximales, elles ont atteint 33°C pendant les mois de juillet et août. La Figure A19.1 montre aussi que la température médiane des locaux adjacents aux vérandas nord-est s'est élevée à 27°C durant les mois de juillet et d'août.

Annexe A20 : Remarques et satisfaction des usagers des loggias

Une année après l'achèvement des travaux de rénovation, les occupants ont soulevé à la suite de discussions spontanées des points positifs et d'autres à améliorer sur leur satisfaction vis-à-vis des balcons vitrés. Il convient de rappeler que le confort est une notion essentiellement subjective qui se base sur un ensemble de sensations qui diffèrent d'un occupant à un autre. Pour cela, nous présenterons seulement les points soulevés par plus de deux locataires.

Parmi les points positifs évoqués :

- La fermeture des balcons a créé un espace supplémentaire qui a été aménagé de plusieurs façons par les locataires. On note une différence entre les vérandas donnant sur les zones jour aménagées pour la plupart comme une zone d'extension du séjour et celles du côté des chambres utilisées comme espace de rangement. Il convient également de relever que du côté des chambres, les rideaux sont très souvent tirés et les fenêtres de la paroi extérieure fermées pour préserver l'intimité.
- Les balcons vitrés ont permis aussi de limiter considérablement le bruit provenant de l'extérieur (surtout pour les occupants des premiers étages), mais répercutent d'avantage les bruits provenant de l'intérieur. De même, les loggias fermées ont permis de garder les balcons propres à l'égard des oiseaux (point soulevé par les occupants des étages supérieurs).
- Enfin plusieurs occupants, ayant assisté à la séance de sensibilisation des locataires, appliquent les recommandations visant à utiliser de façon efficace les loggias tout en attendant la baisse des charges énergétiques promise.

Parmi les points à améliorer :

- Suite à la fermeture des balcons, certains occupants ont souligné leur mécontentement à propos du décalage existant entre la trame de la paroi extérieure des loggias (trame des fenêtres coulissantes) et celle des pièces du bâtiment, en particulier des parois de séparation des balcons (cf. Figure A.20.1, photos 1 et 6). Ce décalage requiert par conséquent de garder un espace d'environ 5 cm entre les bords des cloisons de séparation et la paroi extérieure vitrée des loggias afin de pouvoir glisser les fenêtres (cf. Figure A.20.1, photos 3 et 6).

Il s'agit là d'un point faible de la conception des loggias du bâtiment 40-42, à corriger lors de prochaines rénovations. Par conséquent, **les loggias ne sont pas étanches entre elles et cette fente verticale favorise le passage de bruits, mais aussi des odeurs (de cuisine), de froid, de chaleur et d'humidité d'une loggia à une autre.** De même, certains locataires, ne souhaitant pas que leurs voisins ouvrent les fenêtres des loggias devant leur appartement, ont bloqué la fenêtre du voisin par un obstacle (une échelle, un morceau de bois, etc.) ou ont respecté des limites à la suite d'une entente entre voisins.

- Plusieurs occupants ont aussi souligné la difficulté de garder les stores baissés pour se protéger en été des rayons solaires et de permettre en même temps les courants

d'air dans les appartements traversants. Comme ces stores ne sont pas équipés par des bandes rigides, ils se cognent sur le profil en aluminium de la façade extérieure dès que les fenêtres sont ouvertes. Certains occupants procèdent à la fermeture des fenêtres pour pouvoir baisser les stores (créant ainsi une surchauffe). D'autres ont fixé un antichoc en rouleau pour amortir les coups (cf. Figure A.20.1, photo 5). Des stores droits guidés, appelés aussi droits verticaux, auraient évité ces problèmes.

- Le remplacement des garde-corps existants des balcons par des garde-corps vitrés en verre feuilleté n'a pas été apprécié par tous les occupants pour des problèmes de transparence, une fois les loggias éclairées pendant la nuit. La photo 2 de la figure ci-dessous illustre le cas d'un locataire ayant recouvert une partie des garde-corps vitrés de son balcon avec un tissu opaque.
- Finalement, le nettoyage des vitrages de l'enveloppe extérieure des loggias semble être problématique pour certains occupants pour des raisons d'accessibilité.

Figure A20.1. Photos prises dans les loggias



Annexe A21 : Structure du coût des travaux de rénovation

Le tableau ci-dessous récapitule le coût des travaux de rénovation par groupes principaux et par sous-groupes en CHF hors taxes rapportés au m²_{SRE}. On distingue trois groupes de travaux :

- les travaux d'entretien
- les travaux d'assainissement des installations techniques
- les travaux d'assainissement de l'enveloppe du bâtiment

Tableau A21.1. Structure du coût d'investissement par groupes et sous-groupes

Désignation	Investissement CHF/m2	%/groupe	%/s.groupe
Coût total de la rénovation (hors subventions)	1'058 CHF/m2	100%	
Coût total de la rénovation (subventions déduites)	948 CHF/m2		
A- Travaux d'entretien	282 CHF/m2	27%	100%
Gros oeuvre - entretien	42 CHF/m2		15%
Remise en état de l'enveloppe	169 CHF/m2		60%
Remise en état des espaces communs	71 CHF/m2		25%
B1- Assainissement des installations techniques	176 CHF/m2	16%	100%
Installation solaire thermique	28 CHF/m2		16%
Production et distribution de chaleur (racc. CADIOM)	33 CHF/m2		19%
Ventilation double-flux avec PAC intégrée	100 CHF/m2		57%
Démontage et adaptation	8 CHF/m2		4%
Assainissement de l'éclairage et divers	8 CHF/m2		4%
B2- Assainissement de l'enveloppe	341 CHF/m2	32%	100%
Isolations thermiques ext. + panneaux Eternit (murs RDC et mur pignon)	32 CHF/m2		9%
Remplacement du simple vitrage par du double vitrage (à l'étage)	88 CHF/m2		26%
Remplacement des fenêtres et portes extérieures (au RDC et attique)	22 CHF/m2		7%
Véranda solaire: Fermeture des balcons par un simple vitrage+stores en toiles	169 CHF/m2		50%
Toitures: Isolation de la toiture attique	22 CHF/m2		6%
Dalle: Isolation sous dalle RDC	8 CHF/m2		2%
C- Honoraires	259 CHF/m2	25%	100%
Prestations Entreprise Générale	132 CHF/m2		51%
Prestations Ingénieurs/architectes	128 CHF/m2		49%
D- Subventions	110 CHF/m2		100%
Bonus à la rénovation LDTR	79 CHF/m2		71.5%
Subvention pour les rénovations Minergie	15 CHF/m2		14%
Subvention solaire thermique	7 CHF/m2		6.5%
Contribution de la Fondation Centime Climatique	9 CHF/m2		8%

N.B. Tous les coûts sont hors taxes (HT) et exprimés en CHF/m² SRE

Annexe A22 : Economies d'énergie engendrées par l'assainissement de l'enveloppe (2 méthodes)

Cette annexe présente les deux méthodes utilisées pour calculer les économies d'énergie engendrées par l'amélioration thermique de l'enveloppe du bâtiment 40-42 de l'avenue du Gros-Chêne.

- Méthode 1 (scénario haut) : par calcul thermique en utilisant le logiciel EnerCAD
- Méthode 2 (scénario bas) : par différence des flux mesurés entre les immeubles 36-38 (non rénové) et 40-42 (rénové).

Pour rappel, dans un bilan thermique global, les pertes de l'enveloppe par transmission et les pertes thermiques dues à la ventilation sont compensées par l'énergie de chauffage et par les apports gratuits. Ces deux méthodes ont abouti respectivement à deux scénarios « haut » et « bas ». Un scénario moyen a été retenu pour l'évaluation économique, qui consiste à prendre la moyenne des valeurs obtenues.

i. Méthode 1 : par calcul thermique en utilisant le logiciel EnerCAD

La première méthode consiste à calculer en utilisant le logiciel EnerCAD les pertes de l'enveloppe par transmission (Q_t) moins les apports gratuits solaires (Q_s) et internes (Q_{int}) du bâtiment 40-42 avant et après rénovation. Ensuite les valeurs obtenues ont été corrigées avec 2'507 degrés-jours pour pouvoir les comparer avec les valeurs mesurées. Les résultats de la simulation sont présentés dans le Tableau A22.1 et montrent que l'assainissement de l'enveloppe devrait permettre d'économiser 173 MJ/m²a (366 - 193 MJ/m²a).

Tableau A22.1. Méthode 1 basée sur la simulation EnerCAD avant et après rénovation

[MJ/m ² a]	40-42 avant rénovation		40-42 après rénovation	
Pertes par éléments	Simulé 2659 DJ ¹	Correction 2507 DJ ²	Simulé 2659 DJ	Correction 2507 DJ
Toiture	35	33	23	22
Mur	170	160	159	150
Vitrage	382	360	140	132
Plancher	28	26	19	18
Total Q_t enveloppe	615	580	341	322
Apports gratuits (solaires et internes)	227	214	136	128
Bilan : $Q_t - (Q_s + Q_{int})$	388	366	205	193

¹ Référence à Genève, ² Moyenne à Genève depuis 1992

➔ Economies d'énergie par l'enveloppe rénovée (méthode 1) = 366 - 193 = **173 MJ/m²a**

Cette méthode représente le scénario « haut » puisque la loggia a été considérée dans la simulation comme un élément statique composé d'un double vitrage sélectif. Le résultat obtenu ne prend compte ni l'effet réservoir d'énergie de la loggia, ni le comportement des

occupants. On constate aussi une diminution de moitié des apports gratuits, qui n'est pas compatible avec le rôle d'une loggia.

ii. Méthode 2 : par différence des flux mesurés (suivi énergétique)

La deuxième méthode consiste à calculer les pertes thermiques évitées par l'assainissement de l'enveloppe en faisant la différence entre les demandes mesurées de chauffage et les pertes par ventilation respectives du bâtiment 36-38 (non rénové) et 40-42 (rénové). Pour cela, on s'est basé sur les résultats du suivi énergétique présentés au point 4.3.

Les résultats de cette méthode, qui représentent le scénario « bas », sont présentés dans le Tableau A22.2 ci-dessous. On remarque que les économies d'énergie n'atteignent ici que 80 MJ/m²a. Ceci peut être expliqué en partie par les pertes de renouvellement d'air direct engendrées par le comportement des habitants (ouverture des fenêtres et des portes-fenêtres des loggias), non prises en compte dans le calcul EnerCAD.

Tableau A22.2. Méthode 2 basée sur la différence mesurée entre 36-38 et 40-42 avec 2507 DJ

[MJ/m ² a]	40-42 rénové (2008-2010)	36-38 non rénové (2008-2010)
Demande chauffage Q _h (moy. 08-10)	270	416
Pertes par ventilation Q _v	21 (mesurée)	87 (simulée)
Pertes thermiques par l'enveloppe - apports gratuits Bilan : Q _h -Q _v = Q _t -(Q _s +Q _{int})	249	329

➔ Economie d'énergie par l'enveloppe rénovée (méthode 2) = 329-249 = **80 MJ/m²a**

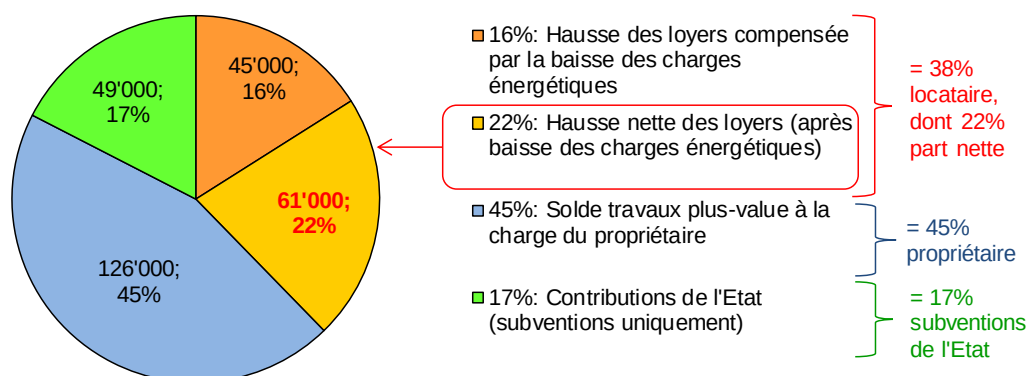
Etant donné qu'aucune des méthodes proposées n'est pleinement satisfaisante, **nous avons opté pour un scénario moyen qui consiste à prendre la moyenne des valeurs obtenues, soit 127 MJ/m²a.**

Annexe A23 : Répartition annuelle du coût des travaux de rénovation à plus-value entre propriétaire, locataires et Etat (scénarios 1 à 3)

Cette annexe présente la répartition annuelle du coût des travaux de rénovation à plus-value entre propriétaire, locataires et Etat (uniquement subventions) pour les 3 scénarios suivants :

- Scénario 1 : Report théorique sur les loyers avec un plafond de 3'363 CHF/pce/an, fondé sur la LDTR avant le 5.8.2010 (cf. Figure A23.1).
- Scénario 2 : Report théorique sur les loyers avec un déplafonnement admis à 3'650 CHF/pce/an, fondé sur la LDTR avant le 5.8.2010 (cf. Figure A23.2).
- Scénario 3 : Report théorique sur les loyers avec un plafond de 3'363 CHF/pce/an, fondé sur la LDTR après le 5.8.2010 (cf. Figure A23.3).

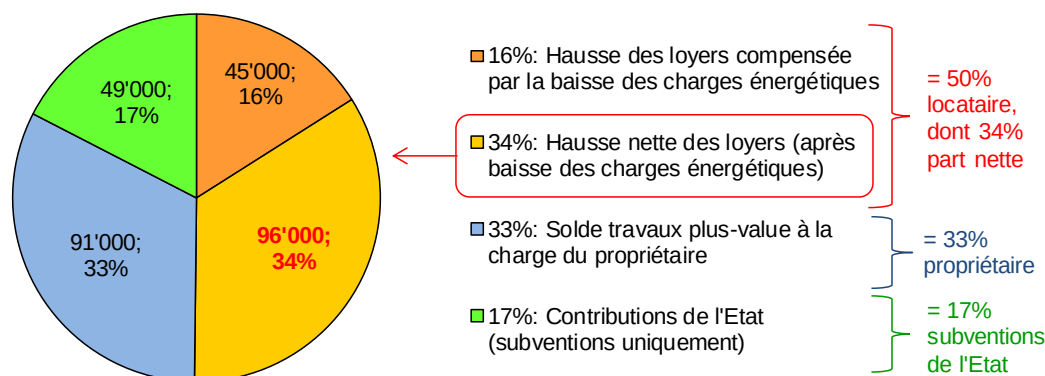
Figure A23.1. Répartition annuelle des coûts des travaux de rénovation à plus-value entre propriétaire, locataires et Etat (uniquement subventions) pour le scénario 1



Scénario 1

Loc	Part du locataire compensée par la baisse des charges énergétiques	45'000	CHF/an	16%
	Part nette du locataire (après baisse des charges énergétiques)	61'000	CHF/an	22%
Prop	Solde travaux plus-value à la charge du propriétaire	126'000	CHF/an	45%
Etat	Contributions de l'Etat (subventions uniquement)	49'000	CHF/an	17%
TOTAL (Amortissement des travaux à plus-value, hors subventions)		281'000	CHF/an	100%

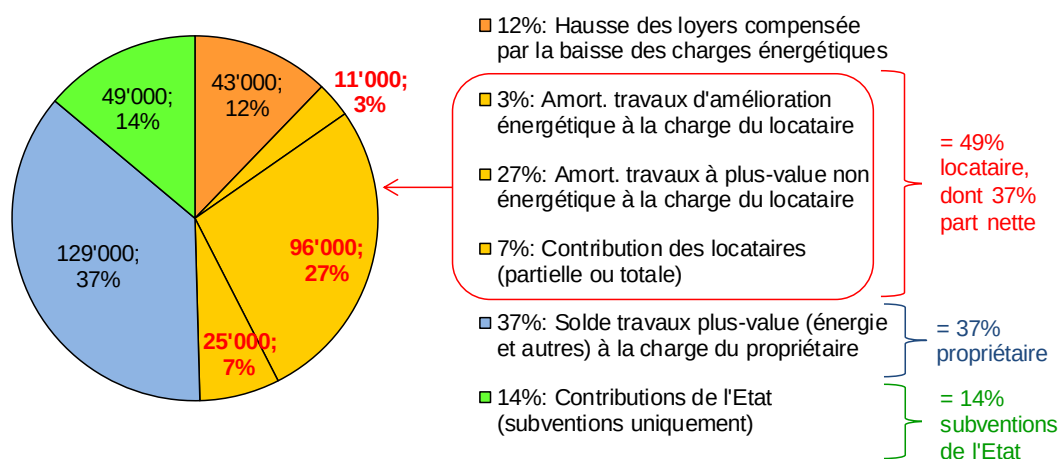
Figure A23.2. Répartition annuelle des coûts des travaux de rénovation à plus-value entre propriétaire, locataires et Etat (uniquement subventions) pour le scénario 2



Scénario 2

Loc	Part du locataire compensée par la baisse des charges énergétiques	45'000	CHF/an	16%
	Part nette du locataire (après baisse des charges énergétiques)	96'000	CHF/an	34%
Prop	Solde travaux plus-value à la charge du propriétaire	91'000	CHF/an	33%
Etat	Contributions de l'Etat (subventions uniquement)	49'000	CHF/an	17%
TOTAL (Amortissement des travaux à plus-value, hors subventions)		281'000	CHF/an	100%

Figure A23.3. Répartition annuelle des coûts des travaux de rénovation à plus-value entre propriétaire, locataires et Etat (uniquement subventions) pour le scénario 3



Scénario 3

Loc	Part du locataire compensée par la baisse des charges énergétiques	43'000	CHF/an	12%
	Part nette du locataire (après baisse des charges énergétiques)	132'000	CHF/an	37%
- Amortissement des travaux d'amélioration énergétique		11'000	CHF/an	3%
- Amortissement des travaux à plus-value non énergétique		96'000	CHF/an	27%
- Contribution des locataires (partielle ou totale)		25'000	CHF/an	7%
Prop	Solde travaux plus-value (énergie et autres) à la charge du propriétaire	129'000	CHF/an	37%
Etat	Contributions de l'Etat (subventions uniquement)	49'000	CHF/an	14%
TOTAL (Amortissement des travaux à plus-value, hors subventions)		353'000	CHF/an	100%

Annexe A24 : Caractéristiques des opérations de rénovation étudiées (fiches descriptives)

Cette annexe contient les fiches descriptives des opérations de rénovation étudiées au point 4.5 du chapitre 4 (analyse comparative). Ces fiches sont classées par ordre alphabétique des acronymes et contiennent les informations suivantes :

- Données générales : catégorie de bâtiment, types de construction et de rénovation, années/époques de construction et de rénovation, type de propriétaire, statut d'occupation et emplacement du bâtiment. La fiche comprend également des photos du bâtiment et un plan masse au 1:7500 indiquant l'implantation du bâtiment sur la parcelle.
- Caractéristiques du bâtiment : surface de référence énergétique (A_E) avec indication de la part destinée aux logements et aux activités, surface pondérée de l'enveloppe (A_{th}), rapport de forme (A_{th}/A_E), ratio vitré des façades contre extérieur (A_W/A_E) et l'état locatif net avant et après rénovation. Sont également indiquées : le nombre d'habitants extrait du fichier FCBL (données 2010), le nombre de niveaux hors-sol chauffés, le nombre de logements et de pièces avant et après rénovation.

A cet égard, on note que les données intrinsèques aux bâtiments sont identiques avant et après rénovation car nous avons écarté de la présente étude les opérations de rénovation qui visent à créer de surfaces habitables supplémentaires (surélévation ou aménagements de combles).

- Caractéristiques de la rénovation :
 - Type de rénovation énergétique de l'enveloppe (cf. 3.3.3), à savoir :
 - a. Rénovation partielle ou ponctuelle (P1/3), portant sur un seul élément de l'enveloppe thermique (par exemple, remplacement des fenêtres).
 - b. Rénovation des façades (F2/3), avec le plus souvent deux éléments assainis (isolation des éléments opaques et remplacement des fenêtres).
 - c. Rénovation complète ou quasi-complète de l'enveloppe thermique (C3/3), portant sur trois éléments et plus, à savoir les parois opaques et vitrées des façades, la toiture et/ou le plancher et les combles).
 - Eléments de l'enveloppe thermique et équipements touchés par les travaux d'amélioration énergétique.
 - Brève description de la nature des travaux énergétiques et non énergétiques envisagés.
 - Informations sur la réalisation des travaux (par étapes, en site occupé, etc.)
 - Coût² total hors taxes des opérations de rénovation (travaux énergétiques et non énergétiques).

² Les coûts n'ont pas été actualisés en fonction de l'indice des prix à la construction (travaux réalisés entre 2006 et 2009).



Données générales

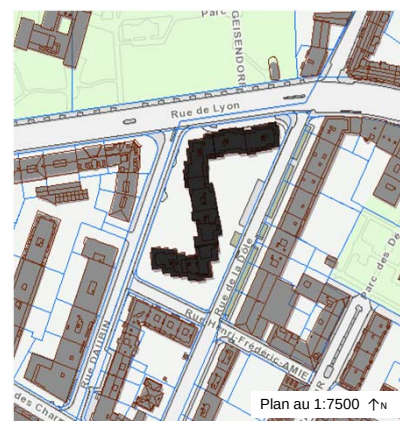
Catégorie de bâtiment	Habitat collectif à plusieurs logements	Nombre d'immeubles	4
Type de construction	Construction lourde (béton préfabriqué)	Année de construction	1961-70
Type de rénovation	SIA 380/1:2001 (Qh,li: 168 MJ/m ²)	Année de rénovation	2007
Type de propriétaire	Assurance	Statut d'occupation	Locataire
Emplacement	1209 Genève, sous-secteur 30	Canton	GE

Caractéristiques du bâtiment

			Avant	Après
Surface de référence énergétique SRE (A _E)	[m ²]		14'016	14'016
dont destinée aux logements	[m ²]		14'016	14'016
dont destinée aux activités	[m ²]		0	0
Surface pondérée de l'enveloppe (A _{th})	[m ²]		-	8'155
Rapport de forme (A _{th} /A _E)	[-]		-	0.58
Ratio vitré des façades contre extérieur	[%]		-	38.7
Etat locatif net (2006 / 2008)	[CHF/pce/an]		3'177	3'389
Nombre d'habitants (2010)	[-]	301	Niveaux hors-sol chauffés	9
SRE par habitant	[m ² /hab]	47	Nombre de logements	160
SRE par pièce	[m ² /pce]	22	Nombre de pièces	638

Caractéristiques de la rénovation

Type de rénovation (enveloppe)	Réalisation des travaux	Nature des travaux énergétiques
☐ R. partielle P1/3	☐ Par étapes	☐ Toiture
☒ R. façades F2/3	☒ En site occupé	☒ Parois façades
☐ R. complète ou C3/3	☐ Création de logements ou surfaces supplémentaires	☒ Parois vitrées
quasi-complète		☐ Plancher
Nature des principaux travaux envisagés		
Rénovation de l'enveloppe d'une barre composée de 4 immeubles (durée 6 mois):		☐ Production
▪ isolation périphérique de 80 mm d'épaisseur (avec finition crépie),		☐ Distribution
▪ remplacement des fenêtres existantes par des modèles PVC à double vitrage isolant,		☐ Ventilation
▪ changement des volets roulants et remplacement des tentes solaires,		☐ Eclairage (commun)
▪ autres travaux d'entretien (traitement contre la carbonatation du béton, etc.).		
Coût total HT de la rénovation (énergie et non énergie) :		4'030'000 CHF HT, soit 288 CHF/m ² SRE



Données générales

Catégorie de bâtiment	Habitat collectif à plusieurs logements	Nombre d'immeubles	5
Type de construction	Construction lourde (béton préfabriqué)	Année de construction	1971-75
Type de rénovation	SIA 380/1:2001 (Qh,li: 187 MJ/m ²)	Année de rénovation	2007-09
Type de propriétaire	Assurance	Statut d'occupation	Locataire
Emplacement	1203 Genève, sous-secteur 10	Canton	GE

Caractéristiques du bâtiment (étapes 1 et 2)

			Avant	Après
Surface de référence énergétique SRE (A _E)	[m ²]		19'971	19'971
dont destinée aux logements	[m ²]		19'971	19'971
dont destinée aux activités	[m ²]		0	0
Surface pondérée de l'enveloppe (A _{th})	[m ²]		-	14'358
Rapport de forme (A _{th} /A _E)	[-]		-	0.72
Ratio vitré des façades contre extérieur	[%]		-	36.6
Etat locatif net (2006 / 2009)	[CHF/pce/an]		3'774	3'879
Nombre d'habitants (2010)	[-]	403	Niveaux hors-sol chauffés	7-11
SRE par habitant	[m ² /hab]	50	Nombre de logements	208
SRE par pièce	[m ² /pce]	26	Nombre de pièces	773

Caractéristiques de la rénovation

Type de rénovation (enveloppe)	Réalisation des travaux	Nature des travaux énergétiques
☒ R. partielle P1/3	☒ Par étapes (3 étapes)	☐ Toiture
☐ R. façades F2/3	☒ En site occupé	☒ Parois façades
☐ R. complète ou quasi-complète C3/3	☐ Création de logements ou surfaces supplémentaires	☐ Parois vitrées
		☐ Plancher
Nature des principaux travaux envisagés		☐ Production
Rénovation partielle des façades de 5 immeubles (étapes 1 et 2) d'un ensemble:		☐ Distribution
▪ isolation thermique extérieure des façades (ép. 60 mm) et des caissons de stores,		☐ Ventilation
▪ traitement du béton, changement des tentes solaires et réglage des fenêtres,		☐ Eclairage (commun)
▪ des solutions privilégiant des épaisseurs d'isolations plus importantes et le remplacement des fenêtres n'ont pas été retenues pour des raisons de disproportion de coûts, difficilement justifiables pour le propriétaire et les locataires.		
Coût total HT de la rénovation (énergie et non énergie) :		8'455'965 CHF HT, soit 423 CHF/m ² SRE



Données générales

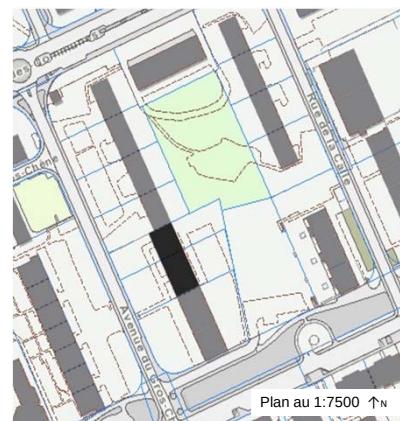
Catégorie de bâtiment	Habitat collectif à plusieurs logements	Nombre d'immeubles	11
Type de construction	Construction lourde (béton préfabriqué)	Année de construction	1961-70
Type de rénovation	SIA 380/1:2001 (Qh,li: 189 MJ/m²)	Année de rénovation	2008
Type de propriétaire	Fondation immobilière de droit public (FIDP)	Statut d'occupation	Locataire
Emplacement	1217 Meyrin, sous-secteur 160	Canton	GE

Caractéristiques du bâtiment

			Avant	Après
Surface de référence énergétique SRE (A _E)	[m²]		14'210	14'210
dont destinée aux logements	[m²]		14'160	14'160
dont destinée aux activités	[m²]		50	50
Surface pondérée de l'enveloppe (A _{th})	[m²]		-	10'503
Rapport de forme (A _{th} /A _E)	[-]		-	0.74
Ratio vitré des façades contre extérieur	[%]		-	50.8
Etat locatif net (2007 / 2009)	[CHF/pce/an]		2'547	3'417
Nombre d'habitants (2010)	[-]	394	Niveaux hors-sol chauffés	4-5
SRE par habitant	[m²/hab]	36	Nombre de logements	153
SRE par pièce	[m²/pce]	23	Nombre de pièces	620

Caractéristiques de la rénovation

Type de rénovation (enveloppe)	Réalisation des travaux	Nature des travaux énergétiques
☐ R. partielle P1/3	☐ Par étapes	☒ Toiture
☐ R. façades F2/3	☒ En site occupé	☒ Parois façades
☒ R. complète ou quasi-complète C3/3	☐ Création de logements ou surfaces supplémentaires	☒ Parois vitrées
		☒ Plancher
Nature des principaux travaux envisagés		
Rénovation intérieure et extérieure de la barre d'immeubles (Gaillard architectes):		☒ Production
▪ isolation périphérique de l'enveloppe (toiture, éléments de façades, etc.)		☒ Distribution
▪ insertion de triple vitrage isolant dans les cadres existants et adaptation		☐ Ventilation
▪ pose d'une installation solaire pour le préchauffage de l'ECS + vannes thermostat.		☐ Eclairage (commun)
▪ rénovation intérieure: installations sanitaires préfabriquées, cuisines, réhabilitation des locaux communs, réseaux électriques et remplacement des ascenseurs		
Coût total HT de la rénovation (énergie et non énergie) : 17'200'000 CHF HT, soit 1210 CHF/m²SRE		



Données générales

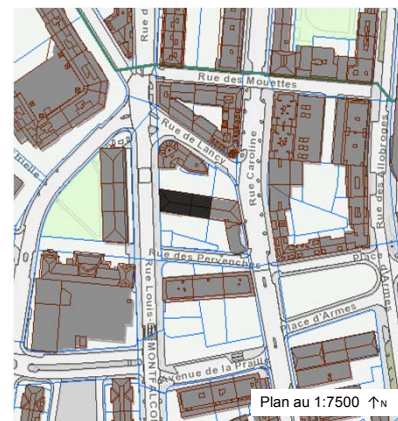
Catégorie de bâtiment	Habitat collectif à plusieurs logements	Nombre d'immeubles	2
Type de construction	Construction lourde (béton préfabriqué)	Année de construction	1961-70
Type de rénovation	SIA 380/1:2001 (labellisé MINERGIE en 2009)	Année de rénovation	2008
Type de propriétaire	Société immobilière	Statut d'occupation	Locataire
Emplacement	1213 Onex, sous-secteur 30	Canton	GE

Caractéristiques du bâtiment

			Avant	Après
Surface de référence énergétique SRE (A _E)	[m ²]		5'357	5'357
dont destinée aux logements	[m ²]		5'357	5'357
dont destinée aux activités	[m ²]		0	0
Surface pondérée de l'enveloppe (A _{th})	[m ²]		-	3'397
Rapport de forme (A _{th} /A _E)	[-]		-	0.63
Ratio vitré des façades contre extérieur	[%]		-	42.5
Etat locatif net (2006 / 2008)	[CHF/pce/an]		3'136	3'554
Nombre d'habitants (2010)	[-]	134	Niveaux hors-sol chauffés	9
SRE par habitant	[m ² /hab]	40	Nombre de logements	63
SRE par pièce	[m ² /pce]	23	Nombre de pièces	236

Caractéristiques de la rénovation

Type de rénovation (enveloppe)	Réalisation des travaux	Nature des travaux énergétiques
☐ R. partielle P1/3	☐ Par étapes	☒ Toiture
☐ R. façades F2/3	☒ En site occupé	☒ Parois façades
☒ R. complète ou quasi-complète C3/3	☐ Création de logements ou surfaces supplémentaires	☒ Parois vitrées
		☒ Plancher
Nature des principaux travaux envisagés		
Rénovation complète de l'enveloppe et de la technique visant le standard Minergie :		☒ Production
▪ isolation périphérique de la toiture, du plancher et des murs du rez-de-ch. et pignon		☒ Distribution
▪ remplacement des vitrages par du double vitrage et fermeture des balcons par un simple vitrage (création de loggias) et assainissement de l'éclairage des communs		☒ Ventilation
▪ ajout d'une installation solaire pour le préchauffage de l'ECS, d'une ventilation à 2-flux avec PAC intégrée, raccordement à CADIOM et pose de vannes thermost.		☒ Eclairage (commun)
Coût total HT de la rénovation (énergie et non énergie) : 5'668'000 CHF HT, soit 1058 CHF/m ² SRE		



Données générales

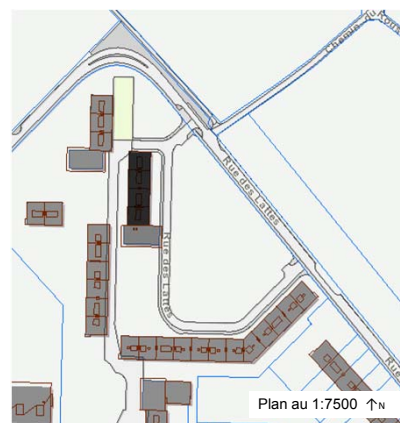
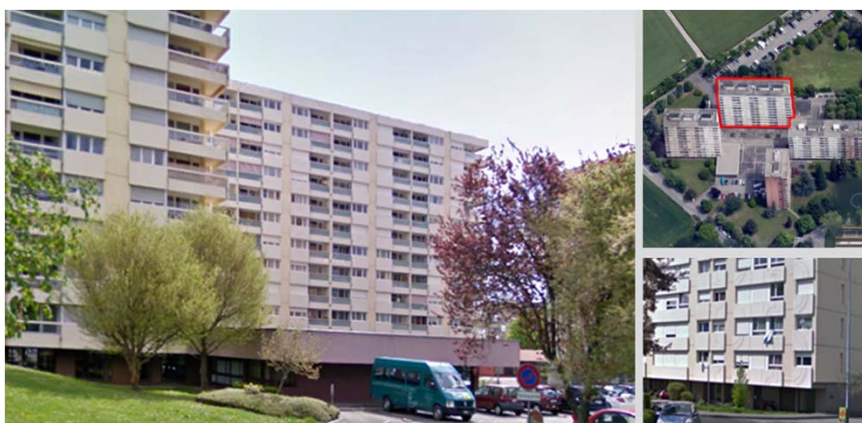
Catégorie de bâtiment	Habitat collectif à plusieurs logements	Nombre d'immeubles	2
Type de construction	Construction lourde (béton préfabriqué)	Année de construction	1947-60
Type de rénovation	SIA 380/1:2001 (labellisé MINERGIE en 2009)	Année de rénovation	2007
Type de propriétaire	Fondation immobilière de droit public (FIDP)	Statut d'occupation	Locataire
Emplacement	1227 Carouge, sous-secteur 30	Canton	GE

Caractéristiques du bâtiment

		Avant	Après
Surface de référence énergétique SRE (A _E)	[m ²]	3'846	3'846
dont destinée aux logements	[m ²]	3'846	3'846
dont destinée aux activités	[m ²]	0	0
Surface pondérée de l'enveloppe (A _{th})	[m ²]	-	2'972
Rapport de forme (A _{th} /A _E)	[-]	-	0.77
Ratio vitré des façades contre extérieur	[%]	-	16.7
Etat locatif net (2005 / 2008)	[CHF/pce/an]	1'305	2'143
Nombre d'habitants (2010)	[-]	82	
SRE par habitant	[m ² /hab]	47	
SRE par pièce	[m ² /pce]	24	
Niveaux hors-sol chauffés		7	7
Nombre de logements		60	60
Nombre de pièces		158	158

Caractéristiques de la rénovation

Type de rénovation (enveloppe)	Réalisation des travaux	Nature des travaux énergétiques
☐ R. partielle P1/3	☐ Par étapes	☒ Toiture
☐ R. façades F2/3	☒ En site occupé	☒ Parois façades
☒ R. complète ou quasi-complète C3/3	☐ Création de logements ou surfaces supplémentaires	☒ Parois vitrées
		☒ Plancher
Nature des principaux travaux envisagés		☒ Production
Rénovation intérieure et extérieure de deux immeubles d'habitation:		☒ Distribution
▪ isolation périphérique de l'enveloppe (toiture, façades, etc.) et fenêtres isolantes,		☒ Ventilation
▪ nouvelle chaudière à gaz avec remplacement ponctuel de radiateurs,		☐ Eclairage (commun)
▪ nouveau système de ventilation par effet de cheminée hygroréglable sans RC,		
▪ rénovation intérieure des logements (peinture, etc.), remplacement des installations sanitaires et électriques, suppression des balcons et ajout de balcons coté sud.		
Coût total HT de la rénovation (énergie et non énergie) :		4'358'000 CHF HT, soit 1133 CHF/m ² SRE



Données générales

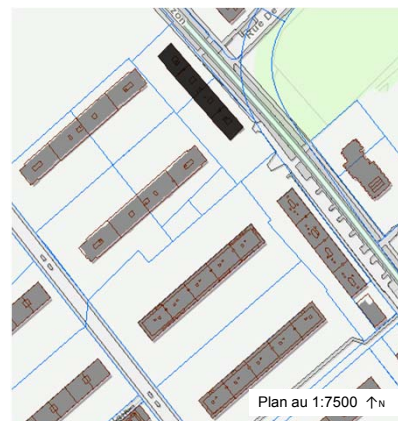
Catégorie de bâtiment	Habitat collectif à plusieurs logements	Nombre d'immeubles	4
Type de construction	Construction lourde (béton préfabriqué)	Année de construction	1971-75
Type de rénovation	SIA 380/1:2001 (Qh,li: 189 MJ/m²)	Année de rénovation	2006
Type de propriétaire	Assurance	Statut d'occupation	Locataire
Emplacement	1217 Meyrin, sous-secteur 140	Canton	GE

Caractéristiques du bâtiment

		Avant	Après
Surface de référence énergétique SRE (A _E)	[m²]	9'708	9'708
dont destinée aux logements	[m²]	9'708	9'708
dont destinée aux activités	[m²]	0	0
Surface pondérée de l'enveloppe (A _{th})	[m²]	-	7'100
Rapport de forme (A _{th} /A _E)	[-]	-	0.73
Ratio vitré des façades contre extérieur	[%]	-	-
Etat locatif net (2005 / 2007)	[CHF/pce/an]	3'734	3'738
Nombre d'habitants (2010)	[-]	246	
SRE par habitant	[m²/hab]	39	
SRE par pièce	[m²/pce]	25	
Niveaux hors-sol chauffés		12	12
Nombre de logements		96	96
Nombre de pièces		396	396

Caractéristiques de la rénovation

Type de rénovation (enveloppe)	Réalisation des travaux	Nature des travaux énergétiques
☒ R. partielle P1/3	☐ Par étapes	☐ Toiture
☐ R. façades F2/3	☒ En site occupé	☐ Parois façades
☐ R. complète ou quasi-complète C3/3	☐ Création de logements ou surfaces supplémentaires	☒ Parois vitrées
		☐ Plancher
Nature des principaux travaux envisagés		☐ Production
Rénovation partielle des façades d'un bâtiment composé de 4 immeubles:		☐ Distribution
▪ remplacement des fenêtres par des PVC avec verre isolant double (4/16/4 mm)		☐ Ventilation
▪ remise en état de la façade, des balcons et de la peinture,		☐ Eclairage (commun)
▪ remplacement des stores et toile de tente, remplacement des portes palières et modernisation des ascenseurs, installation d'un système de sécurité d'accès aux immeubles, échafaudage, divers.		
Coût total HT de la rénovation (énergie et non énergie) :		4'555'000 CHF HT, soit 469 CHF/m² _{SRE}



Données générales

Catégorie de bâtiment	Habitat collectif à plusieurs logements	Nombre d'immeubles	4
Type de construction	Construction lourde (béton préfabriqué)	Année de construction	1961-70
Type de rénovation	SIA 380/1:2001 (Qh,li: 193 MJ/m ²)	Année de rénovation	2008
Type de propriétaire	Fonds de placement immobilier	Statut d'occupation	Locataire
Emplacement	1217 Meyrin, sous-secteur 160	Canton	GE

Caractéristiques du bâtiment

			Avant	Après
Surface de référence énergétique SRE (A _E)	[m ²]		7'560	7'560
dont destinée aux logements	[m ²]		7'560	7'560
dont destinée aux activités	[m ²]		0	0
Surface pondérée de l'enveloppe (A _{th})	[m ²]		-	5'846
Rapport de forme (A _{th} /A _E)	[-]		-	0.77
Ratio vitré des façades contre extérieur	[%]		-	35.1
Etat locatif net (2007 / 2009)	[CHF/pce/an]		3'047	3'331
Nombre d'habitants (2010)	[-]	198	Niveaux hors-sol chauffés	7
SRE par habitant	[m ² /hab]	38	Nombre de logements	96
SRE par pièce	[m ² /pce]	21	Nombre de pièces	360

Caractéristiques de la rénovation

Type de rénovation (enveloppe)	Réalisation des travaux	Nature des travaux énergétiques
☐ R. partielle P1/3	☐ Par étapes	☒ Toiture
☐ R. façades F2/3	☒ En site occupé	☒ Parois façades
☒ R. complète ou quasi-complète C3/3	☐ Création de logements ou surfaces supplémentaires	☒ Parois vitrées
		☐ Plancher
Nature des principaux travaux envisagés		☐ Production
Rénovation de l'enveloppe thermique d'une barre composée de 4 immeubles:		☐ Distribution
• isolation thermique périphérique de la toiture et des façades (type EPS, ép. 120 mm),		☐ Ventilation
• remplacement des fenêtres et des portes-fenêtres des balcons (PVC, Uf=1.6 W/m ² K),		☐ Eclairage (commun)
• grilles d'aération autoréglables en partie haute des faces de caissons de stores,		
• travaux d'entretien: remplacement des volets et des stores, des barrières de balcons,		
traitement du béton, travaux d'étanchéité et de ferblanterie, peinture, divers.		
Coût total HT de la rénovation (énergie et non énergie) : 4'200'000 CHF HT, soit 556 CHF/m ² SRE		



Données générales

Catégorie de bâtiment	Habitat collectif à plusieurs logements	Nombre d'immeubles	3
Type de construction	Construction lourde (béton préfabriqué)	Année de construction	1961-70
Type de rénovation	SIA 380/1:2007 (Qh,li: 184 MJ/m ²)	Année de rénovation	2009
Type de propriétaire	Assurance	Statut d'occupation	Locataire
Emplacement	1206 Genève, sous-secteur 30	Canton	GE

Caractéristiques du bâtiment

Caractéristiques du bâtiment				Avant	Après
Surface de référence énergétique SRE (A _E)	[m ²]			7'518	7'518
dont destinée aux logements	[m ²]			7'315	7'315
dont destinée aux activités	[m ²]			203	203
Surface pondérée de l'enveloppe (A _{th})	[m ²]			-	5'215
Rapport de forme (A _{th} /A _E)	[-]			-	0.69
Ratio vitré des façades contre extérieur	[%]			-	24.5
Etat locatif net (- / -)	[CHF/pce/an]			-	-
Nombre d'habitants (2010)	[-]	87	Niveaux hors-sol chauffés	8	8
SRE par habitant	[m ² /hab]	86	Nombre de logements	45	45
SRE par pièce	[m ² /pce]	35	Nombre de pièces	217	217

Caractéristiques de la rénovation

Type de rénovation (enveloppe)	Réalisation des travaux	Nature des travaux énergétiques
☒ R. partielle P1/3	☐ Par étapes	☐ Toiture
☐ R. façades F2/3	☒ En site occupé	☐ Parois façades
☐ R. complète ou quasi-complète C3/3	☐ Création de logements ou surfaces supplémentaires	☒ Parois vitrées
		☐ Plancher
Nature des principaux travaux envisagés		☐ Production
Rénovation partielle des façades d'un bâtiment composé de 3 immeubles:		☐ Distribution
▪ remplacement des fenêtres et des portes d'entrées existantes par des PVC avec verre isolant double (U _f prévu= 1.5 W/m ² K),		☐ Ventilation
▪ remplacement des stores existants en bois (travaux d'entretien),		☐ Eclairage (commun)
▪ les travaux ont été réalisés depuis l'intérieur des appartements.		
Coût total HT de la rénovation (énergie et non énergie) :		- CHF HT, soit - CHF/m ² SRE



Données générales

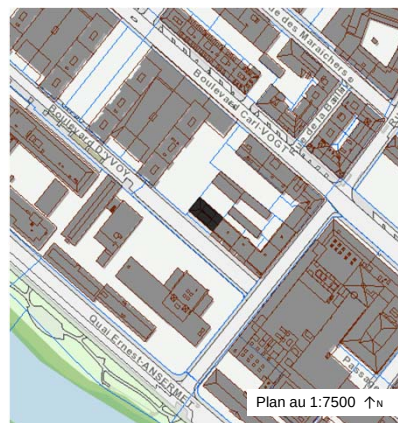
Catégorie de bâtiment	Habitat collectif à plusieurs logements	Nombre d'immeubles	14
Type de construction	Construction lourde (béton préfabriqué)	Année de construction	1961-70
Type de rénovation	SIA 380/1:2001 (Qh,li: 179 MJ/m²)	Année de rénovation	2007
Type de propriétaire	Assurance	Statut d'occupation	Locataire
Emplacement	1224 Chêne-Bougeries, sous-secteur 80	Canton	GE

Caractéristiques du bâtiment

		Avant	Après
Surface de référence énergétique SRE (A _E)	[m²]	27'709	27'709
dont destinée aux logements	[m²]	27'709	27'709
dont destinée aux activités	[m²]	0	0
Surface pondérée de l'enveloppe (A _{th})	[m²]	-	18'015
Rapport de forme (A _{th} /A _E)	[-]	-	0.65
Ratio vitré des façades contre extérieur	[%]	-	48.2
Etat locatif net (2007 / 2009)	[CHF/pce/an]	2'412	2'801
Nombre d'habitants (2010)	[-]	407	
SRE par habitant	[m²/hab]	68	
SRE par pièce	[m²/pce]	23	
Niveaux hors-sol chauffés		6-7	6-7
Nombre de logements		222	222
Nombre de pièces		1192	1192

Caractéristiques de la rénovation

Type de rénovation (enveloppe)	Réalisation des travaux	Nature des travaux énergétiques
☐ R. partielle P1/3	☐ Par étapes	☒ Toiture
☐ R. façades F2/3	☒ En site occupé	☒ Parois façades
☒ R. complète ou quasi-complète C3/3	☒ Création de logements (projet de surélévation)	☒ Parois vitrées
		☐ Plancher
Nature des principaux travaux envisagés		
Rénovation de l'enveloppe thermique d'une barre composée de 14 immeubles:		☐ Production
▪ isolation thermique et réfection de la toiture plate, ajout d'isolation derrière les contre-cœurs et sous la partie en porte-à-faux du premier étage, etc.		☐ Distribution
▪ remplacement des fenêtres et des portes-fenêtres des balcons (bois-métal et PVC),		☐ Ventilation
▪ travaux d'entretien: remplacement partiel des volets à rouleaux et des stores en toile, remplacement des balustrades balcons (hors normes sécurité), traitement du béton.		☐ Eclairage (commun)
Coût total HT de la rénovation (énergie et non énergie) :		
11'602'148 CHF HT, soit		419 CHF/m² _{SRE}



Données générales

Catégorie de bâtiment	Habitat collectif à plusieurs logements	Nombre d'immeubles	1
Type de construction	Construction lourde (béton préfabriqué)	Année de construction	1961-70
Type de rénovation	SIA 380/1:2001 (Qh,li: 198 MJ/m²)	Année de rénovation	2008
Type de propriétaire	Institution de droit public	Statut d'occupation	Locataire
Emplacement	1205 Genève, sous-secteur 61	Canton	GE

Caractéristiques du bâtiment

		Avant	Après
Surface de référence énergétique SRE (A _E)	[m²]	1'640	1'640
dont destinée aux logements	[m²]	1'640	1'640
dont destinée aux activités	[m²]	0	0
Surface pondérée de l'enveloppe (A _{th})	[m²]	-	-
Rapport de forme (A _{th} /A _E)	[-]	-	-
Ratio vitré des façades contre extérieur	[%]	-	-
Etat locatif net (2006 / 2008)	[CHF/pce/an]	3'011	3'397
Nombre d'habitants (2010)	[-]	44	
SRE par habitant	[m²/hab]	37	
SRE par pièce	[m²/pce]	17	
Niveaux hors-sol chauffés		7	7
Nombre de logements		28	28
Nombre de pièces		96	96

Caractéristiques de la rénovation

Type de rénovation (enveloppe)	Réalisation des travaux	Nature des travaux énergétiques
☐ R. partielle P1/3	☐ Par étapes	☐ Toiture
☐ R. façades F2/3	☒ En site occupé	☒ Parois façades
☒ R. complète ou quasi-complète C3/3	☐ Création de logements ou surfaces supplémentaires	☒ Parois vitrées
		☒ Plancher
Nature des principaux travaux envisagés		
Rénovation de l'enveloppe et de la chaufferie du bâtiment :		☒ Production
▪ isolation périphérique des façades pignon et rez (ép. de 120 mm) et du plafond		☒ Distribution
du sous-sol (ép. 60 mm) et fermeture des coursives sur façade côté cour (loggia).		☐ Ventilation
▪ remplacement des vitrages et des stores existants et pose de vannes thermostat.		☒ Eclairage (commun)
▪ Mise en place d'une nouvelle chaudière à condensation et isolation des conduites		
▪ travaux d'entretien (traitement contre la carbonatation du béton, descentes EP, etc.)		
Coût total HT de la rénovation (énergie et non énergie) :		1'432'000 CHF HT, soit 873 CHF/m² _{SRE}