



le coût de l'assainissement énergétique du parc immobilier du Canton de Genève

Auteurs: F. Dalang, J. Reber, St. Fuchs, F. Hiltbrand



LE COUT DE L'ASSAINISSEMENT ÉNERGÉTIQUE DU PARC IMMOBILIER DU CANTON DE GENÈVE - PROJET CEPIC -

Auteurs:

Félix Dalang (collaborateur scientifique, noé21)

Juerg Reber (architecte, noé21)

Stéphane Fuchs (architecte, ATBA –atelier, bureau d'architectes, Genève)

François Hiltbrand (Analyses & développements immobiliers SÀRL, Carouge)

Comité d'experts:

Reto Camponovo, professeur HES, HEPIA, Genève

Andreas Fabjan, Union Suisse des Professionnels du Bâtiment USPI, Genève

Ali Ounaies, Union Suisse des Professionnels du Bâtiment USPI, Genève

Nicolas Rufener, Fédération genevoise des Métiers du Bâtiment FMB

Cette étude a reçu le soutien financier de la Ville de Genève.

Genève, juin 2012

Résumé

La Suisse, comme l'ensemble des pays industrialisés, se trouve face au double défi énergétique et climatique. Comment garantir le confort et la sécurité à la population tout en réalisant la sortie du nucléaire et en diminuant massivement nos émissions de CO₂ ?

A Genève, le chauffage des bâtiments engloutit la moitié de l'énergie consommée dans le canton. Le potentiel d'amélioration énergétique est colossal, car de nombreux bâtiments sont mal isolés. Au cours des prochaines décennies, le canton de Genève va ainsi être amené à rénover l'ensemble de son parc immobilier. Le coût élevé des rénovations semble toutefois constituer un obstacle majeur à leur généralisation. Or, les outils actuels ne paraissent pas suffisants pour stimuler substantiellement le taux de rénovation, actuellement le plus bas de Suisse.

La présente étude réalisée par Noé21 donne pour la première fois une estimation précise et détaillée des investissements à réaliser pour rénover l'ensemble du parc immobilier existant dans le canton de Genève. Elle se veut un point de départ pour stimuler une réflexion globale sur les instruments réglementaires ou incitatifs à mettre en œuvre afin de réaliser des rénovations à large échelle et profiter

Sur la base des données disponibles sur le parc immobilier auprès du SITG et du ScanE¹ nous avons créé un inventaire, pour le canton de Genève, de l'ensemble des parties de bâtiments susceptibles d'être concernées par une rénovation énergétique (fenêtres, toitures, façades, etc.). Un groupe d'experts a estimé sur la base de leur expérience professionnelle le coût unitaire des rénovations énergétiques de ces parties de bâtiments. La combinaison de ces données permet de calculer le coût global des rénovations énergétiques. Nous avons calculé quatre variantes qui se distinguent par le degré de contraintes sur le plan énergétique et de la protection du patrimoine. Une cinquième variante sans amélioration énergétique servait de référence pour le calcul du surcoût. Les coûts sont calculés aux prix d'aujourd'hui, avec la technologie d'aujourd'hui et sous l'hypothèse d'une rénovation énergétique effectuée dans le cadre d'une rénovation générale des immeubles.

La variante avec l'exigence énergétique accrue diminuera la consommation d'énergie de 13'300 TJ par an. Elle présente un surcoût énergétique de 35.7 milliards et un surcoût pour la protection du patrimoine bâti de 4.5 milliards. La variante d'exigence énergétique allégée économisera 9'600 TJ par an pour un surcoût énergétique de 21.6 milliards et un surcoût pour la protection du patrimoine de 4 milliards. Aux deux variantes, on peut ajouter les coûts pour la variante sans amélioration énergétique qui est de 15.3 milliards. Les chiffres précis figurent au chapitre 6.1.

L'étude tient compte de 13 types de bâtiments dont les quatre les plus importants (habitat individuel, habitat collectif, habitat activité et bâtiments administratifs) représentent à eux seules 80 % des coûts de rénovation. Par ailleurs, environ un tiers des coûts concerne la ville de Genève, le solde étant réparti à parts égales entre communes suburbaines de la première couronne, de la deuxième couronne et les communes périurbaines.

Dans l'étude, le coût des rénovations énergétiques est mis en relation avec quelques données économiques clés du Canton.

¹ SITG: Système d'Information du Territoire Genevois, ScanE: Service cantonal de l'énergie

Table des matières

RÉSUMÉ	4
TABLE DES MATIÈRES	5
1 INTRODUCTION	7
2 LE PRINCIPE DE L'ÉTUDE.....	10
2.1 LES SURCOÛTS ÉNERGÉTIQUE ET DE PROTECTION DU PATRIMOINE (DÉFINITIONS)	10
2.2 LES TRAVAUX NON ÉNERGÉTIQUES	11
3 MÉTHODE	12
3.1 EN RÉSUMÉ	12
3.2 LES PROPRIÉTÉS DES BÂTIMENTS	13
3.3 L'ESTIMATION DES PRIX UNITAIRES D'ASSAINISSEMENT	14
3.4 LES VARIANTES	15
3.5 PANNEAUX SOLAIRES THERMIQUES.....	16
3.6 LES DONNÉES ÉNERGÉTIQUES	16
4 RÉSULTATS.....	18
4.1 LES RÉSULTATS GLOBAUX FINANCIERS ET ÉNERGÉTIQUES	18
4.2 LES RÉSULTATS EN DÉTAIL	20
4.3 ANALYSE DE SENSIBILITÉ	21
5 DISCUSSION	22
6 CONCLUSIONS.....	24
7 REMERCIEMENTS	25
8 ANNEXES	26
8.1 BASE DE DONNÉES DU SITG.....	26
8.2 BASE DE DONNÉES DU SCANE	27
8.3 LES PRIX RETENUS ET LEUR JUSTIFICATION	27
8.4 LES AUTRES PARAMÈTRES RETENUS	30
8.5 ANALYSE DE SENSIBILITÉ.....	33
8.6 CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ACTUELLE	34

1 Introduction

Selon le groupement intergouvernemental des experts en climatologie (GIEC), les émissions de gaz à effet de serre dans les pays industrialisés doivent baisser de 80 à 95% jusqu'en 2050 par rapport à leur niveau de 1990. Sans quoi, les changements climatiques risquent de devenir incontrôlables et imprévisibles et pourraient mener droit à une catastrophe climatique d'une gravité sans précédent².

Il s'agit d'un défi titanesque pour l'ensemble de nos sociétés. Le monde scientifique admet que c'est techniquement possible, mais le chemin politique et économique pour y arriver n'est pas encore trouvé. Dans la figure 1, nous avons rapporté la recommandation haute (-95% d'ici 2050) à la consommation de gaz et de mazout dans le canton de Genève.

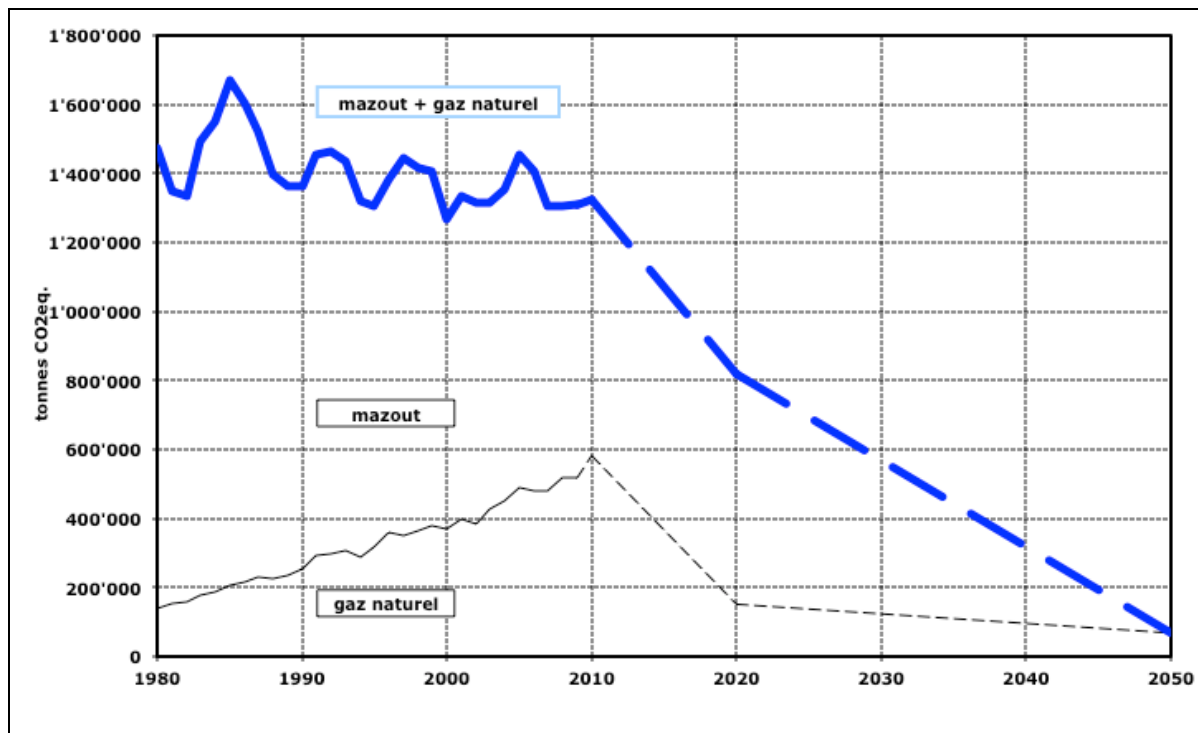


Fig. 1: Les émissions cantonales de gaz et de mazout: émissions réelles jusqu'en 2009 et projections du GIEC pour les années suivantes³. Le chauffage en 2050 est assumé à 100% gaz naturel.

Dans sa conception de l'énergie, le canton s'est donné comme objectif la société à 2000W. La consommation d'énergie par habitant sera réduite d'actuellement 6000W à 2000W dont 1500W seront d'origine renouvelable.

La nouvelle Loi sur l'énergie s'inscrit bien dans ce cadre en ce qui concerne la construction des nouveaux bâtiments. Mais l'assainissement du parc immobilier existant dans son ensemble représente une tâche très lourde pour laquelle il n'existe à l'heure actuelle aucun véritable concept.

Le concept de la société à 2000W démontre bien la faisabilité technique de l'objectif, mais il ne chiffre pas l'effort économique à consentir, comme du reste la conception de l'énergie. Il existe d'autres travaux d'estimation d'économie d'énergie possible, mais, dans tous ces

² IPCC, Climate Change 2007: Synthesis Report, ch 5. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf

³ Noe21; Plan Climat Cantonal: 1an an après, où en est-on?, janvier 2011.

ouvrages, les considérations économiques sont peu développées^{4,5,6}.

Un excellent travail très fouillé a pour objet les coûts de l'économie d'énergie dans le bâtiment en Suisse. Il était réalisé par M. Jakob et al. dans le cadre du programme de recherche "fondements de l'économie énergétique" de l'OFEN. Il se présente sous forme de deux rapports volumineux: l'un a pour sujet les bâtiments de logement⁷ et l'autre les bâtiments commerciaux⁸. Ces travaux examinent de manière analytique les coûts marginaux des diverses mesures techniques d'économies d'énergie pour ensuite les combiner par "paquets" de mesures applicables pour la rénovation énergétique des bâtiments. Elles intègrent également les bénéfices internes et externes des mesures et essayent même de pronostiquer l'évolution future des coûts de construction. Dans un autre ouvrage, l'auteur tire les conséquences politiques possibles des deux travaux cités ci-dessus⁹. Ces travaux constituent un complément indispensable permettant d'approfondir le sujet.

Une autre étude relativement récente sur le coût de l'assainissement énergétique en Suisse est fournie par le bureau McKinsey. Il estime le potentiel en Suisse de 4.35 MT CO₂/an pour un coût d'environ 50 euros / (t/an), en tenant compte de l'économie d'énergie de chauffage¹⁰. Il existe également des scénarios d'économie d'énergie, par exemple dans le cadre du programme Energie2000¹¹. Cet ouvrage examine surtout l'effet des interventions politiques sur le marché immobilier et sur l'activité de rénovation énergétique.

Malgré ces études, il manque toujours dans la discussion politique un montant chiffré: combien coûterait l'assainissement du parc immobilier existant? Pour trouver les moyens politiques ou économiques de financer cette tâche, il est indispensable de connaître ce montant au moins approximativement.

Notre étude CEPIC cherche à combler cette lacune. Elle donne une estimation des investissements financiers nécessaires pour l'assainissement énergétique du parc immobilier du canton. Elle jette ainsi les bases pour l'établissement d'un concept de financement. Contrairement au travail de Jakob, elle n'examine pas en détail les coûts de chaque mesure, mais elle essaie de chiffrer le montant global nécessaire pour l'assainissement du parc immobilier jusqu'à une qualité énergétique donnée.

Il n'existe pas de méthode généralement acceptée pour relever les données énergétiques des bâtiments d'une région, et encore moins une méthode d'estimation des coûts de rénovation énergétique. Étant donné qu'un relevé des données dans le terrain est bien trop onéreux, les méthodes dépendent en règle générale des données déjà disponibles dans la

⁴ Sturm A. et al.; Energieperspektiven 2050 der Umweltorganisationen, Ellipson, Bâle 2006.

⁵ Sturm A., N. Egli; Prognoseskizze Energie 2000 – Zusatzuntersuchung sur Studie 'Energieperspektiven 2050 der Umweltorganisationen', Ellipson, Bâle 2006.

⁶ Koschenz M., A. Pfeiffer; Potential Wohngebäude, Faktor-Verlag, Zurich 2005.

⁷ Jakob M. et al; Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden, OFEN 2002.

<http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000007537.pdf&name=220160.pdf> ou <http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung/index.html?lang=fr&publication=10428>

⁸ Jakob M et al.; Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten, OFEN, 2006.

<http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000010428.pdf&name=000000260043> ou http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung/index.html?lang=fr&project=100278#suchen_ergebnisse

⁹ Jochem E. et M. Jakob; Kosten und Nutzen : Wärmeschutz bei Wohnbauten, OFEN 2004.

¹⁰ relevé du graphique dans: Bättig R., M. Ziegler; Swiss greenhouse gas abatement cost curve, McKinsey, Zurich jan. 2009 p.11.

¹¹ Bürki T. et P. Chuard; Programme Energie2000: groupe d'action combustibles; Lausanne mai 1993.

région concernée. Une étude comparative sur la possibilité de relever des données énergétiques dans différents cantons montre que le canton de Genève dispose de données d'une qualité suffisante pour permettre des estimations globales de consommation d'énergie¹².

Pour ces raisons, après avoir consulté les milieux intéressés, milieux de l'énergie, des bâtiments, des ingénieurs, etc., nous avons développé une méthode adaptée au canton de Genève. L'étude est fondée sur les trois sources suivantes:

les bases de données du patrimoine immobilier du Système d'information du territoire genevois (SITG),

le registre des consommations d'énergie du Service cantonal de l'Énergie (ScanE),

l'expérience professionnelle d'architectes experts.

Le travail contient une base de données englobant chaque immeuble du canton. Il est en principe facile à mettre à jour lors de l'apparition de nouvelles valeurs de référence. La méthode peut également être transmise à d'autres cantons, sous condition qu'ils disposent d'une base de données en 3D de leur patrimoine bâti et des données sur la consommation d'énergie d'un grand nombre de bâtiments.

Depuis plusieurs années, le marché immobilier est devenu tendu dans les villes suisses et particulièrement à Genève. Les rapports entre les associations des locataires et les milieux immobiliers sont devenus difficiles. Nous nous sommes efforcés de rester factuels dans la présente étude, afin que les résultats puissent servir à tous les milieux pour développer leur stratégie d'économie d'énergie dans le secteur immobilier. Ainsi, nous avons évité de faire une réflexion sur la responsabilité du financement des assainissements, car cet aspect comporte trop d'implications d'ordre politique.

Nous espérons que les résultats de ce travail contribuent à l'élaboration de scénarii d'assainissement, à l'établissement de plans financiers ou encore à une concrétisation du plan directeur énergétique.

¹² Dettli R. et al.; Vorstudie zur Erhebung von Energiekennzahlen von Wohnbauten, OFEN 2007.

2 Le principe de l'étude

L'étude estime le surcoût énergétique des rénovations de la totalité des bâtiments situés sur le territoire du canton de Genève. L'estimation est basée sur les propriétés spécifiques de chaque bâtiment qui figurent dans les bases de données officielles. À partir de ces données, nous calculons un coût global qui correspond à la somme des coûts des bâtiments individuels.

Afin d'estimer le coût spécifique des mesures de protection du patrimoine, nous estimons, par analogie, également un surcoût de protection du patrimoine.

Pour pouvoir calculer deux variantes d'exigence énergétique et pour chacune des deux variantes le surcoût de protection du bâtiment, nous estimons pour chaque bâtiment 5 variantes qui tiennent compte de la qualité énergétique actuelle, de deux différents degrés de qualité d'assainissement énergétique ainsi que de deux degrés de protection du patrimoine bâti.

Mis à part les coûts, notre étude estime également l'économie d'énergie attendue par les travaux d'assainissement, en évaluant la différence entre la consommation estimée avant et après l'opération, en tenant compte des deux niveaux d'assainissement énergétique.

L'étude se limite strictement aux coûts des réalisations techniques en excluant tout frais financier. Il s'agit d'une "photographie" de l'état du parc immobilier et non pas d'un scénario d'assainissement. Nous avons retenu tous les types d'immeubles sans aucune exception. Les bâtiments de logement sont en général plus uniformes et mieux documentés que d'autres types de bâtiments (ateliers, industrie) et les résultats de cette catégorie de bâtiments seront alors plus précis et plus fiables que sur les autres types de bâtiments.

2.1 Les surcoûts énergétique et de protection du patrimoine (définitions)

Par surcoût énergétique, nous entendons le montant supplémentaire à investir permettant de transformer une rénovation « ordinaire » en une rénovation « énergétique » du bâtiment. Nous imaginons que deux devis de travaux soient établis pour chaque bâtiment. Le premier prévoit une rénovation du bâtiment sans modification des propriétés énergétiques. Ce devis indique le **coût des travaux non énergétiques**. Le second devis prend en compte les mêmes travaux, mais en plus une remise aux propriétés énergétiques selon divers standards définis dans notre étude. Nous définissons le **surcoût énergétique** comme la différence entre ces deux devis.

Dans des cas simples, le surcoût représente uniquement le prix de la matière isolante supplémentaire, mais il peut également contenir l'élimination ou l'assainissement de ponts thermiques, ou – dans des immeubles protégés – une isolation intérieure.

Le surcoût de protection du patrimoine est la différence entre une rénovation qui tient compte de l'actuelle pratique, et une rénovation qui ne tient compte de la protection du patrimoine que pour les bâtiments classés ou inventoriés.

Définitions: par "**rénovation**", nous entendons la remise à neuf d'une partie d'un bâtiment. Par contraste, la "**réhabilitation**" désigne sa remise en état, tandis que la "**restauration**" indique une remise en l'état initial, p.ex. pour des monuments historiques. Par souci de la construction durable, notre étude est basée sur des travaux de rénovation et non pas de réhabilitation. Nous appelons "**rénovation énergétique**" une rénovation qui améliore les propriétés énergétiques de l'immeuble à un nouveau standard¹³.

Dans la pratique, les assainissements énergétiques se font généralement non pas de

¹³ Les dossiers du Stap du Calvados, 2007. http://www.sdap-calvados.culture.gouv.fr/pages%20htm%20hors%20menus/dossier_rehabilitation.htm

manière isolée mais dans le cadre d'une rénovation générale. Dans notre étude, nous partons de cette hypothèse.

Nos estimations se font aux prix actuels sans tenir compte d'un éventuel changement des prix entre aujourd'hui et une date hypothétique des travaux. Une éventuelle amélioration de la technologie n'est pas anticipée non plus. Ainsi, de nouveaux matériaux d'isolation performants arrivant sur le marché peuvent baisser sensiblement les coûts d'assainissement de bâtiments protégés (exemple Aérogel¹⁴).

2.2 Les travaux non énergétiques

Bien que les travaux non énergétiques n'entrent pas directement en jeu pour l'estimation de la plus-value énergétique, nous avons tout de même estimé leurs coûts, car la plus-value énergétique est définie comme la différence entre les frais de rénovation et les frais d'une rénovation sans amélioration énergétique. Il est donc important d'estimer ces frais afin de pouvoir chiffrer les frais énergétiques sans ambiguïté.

Ci-après, nous donnons trois cas de figure où le prix des travaux non énergétiques entre en ligne de compte. Notre étude ne tranchera pas dans ces cas. Elle considère uniquement les surcoûts énergétiques. Mais grâce à l'évaluation des coûts non énergétiques, elle permet au lecteur l'estimation de ces coûts, sous diverses hypothèses de futures obligations légales ou de modèles de financement.

Exemple 1: une façade avec isolation et crépi est amortie en 40 ans. Si des travaux d'assainissement énergétiques étaient obligatoires après 30 ans déjà et nécessitaient l'enlèvement des anciens éléments de façade, alors un quart du prix actualisé de l'ancienne façade (y compris l'échafaudage) pourrait incomber aux frais d'assainissement énergétique.

Exemple 2: dans un immeuble, le chauffage doit être remplacé. Pour éviter de surdimensionner la nouvelle installation, le maître d'ouvrage décide d'assainir l'enveloppe et de remplacer les fenêtres avant terme. Comment répartir le montant d'assainissement des éléments pas encore entièrement amortis entre travaux non énergétiques et surcoût énergétique ?

Exemple 3: le remplacement des fenêtres est obligatoire depuis 1996, avec pour date butoir l'année 2016 (selon une certaine lecture de la loi). Il peut être judicieux d'assainir en même temps l'enveloppe du bâtiment. Comment répartir dans ce cas le montant de remplacement de l'enveloppe pas encore complètement amorti ?

¹⁴ <http://fr.wikipedia.org/wiki/A%C3%A9rogel>

3 Méthode

3.1 En résumé

Le calcul des **coûts** se fonde sur deux sources d'informations:

Les dimensions géométriques ainsi que l'année de construction des bâtiments avec leurs destinations (leurs usages). Ces données se trouvent pour chaque bâtiment dans les bases de données 2D et 3D du Système d'information du territoire genevois (SITG).

Les prix unitaires de rénovation énergétique et non énergétique des différents éléments des bâtiments. Ils sont estimés par nos architectes experts, sur la base de leur expérience professionnelle.

En appliquant les estimations sur les éléments des bâtiments, nous calculons pour chaque objet l'estimation du coût de la rénovation non énergétique et du coût de la rénovation énergétique. Les estimations sont différenciées selon le type du bâtiment (catégorie de destination et époque de construction). Notre estimation porte sur plusieurs variantes concernant la qualité de rénovation et des conditions de protection du patrimoine bâti.

Pour le calcul de la **consommation d'énergie**, nous nous basons sur la base de données du ScanE. Nous déterminons pour chaque type de bâtiment un indice de consommation énergétique (ICE) caractéristique. À l'aide de la surface de référence énergétique (SRE) des objets nous estimons leurs consommations actuelles et pouvons alors calculer l'économie d'énergie attendue par rapport aux variantes définies au point 5.4. Le schéma de la figure 2 résume les diverses sources d'information utilisées dans les calculs.

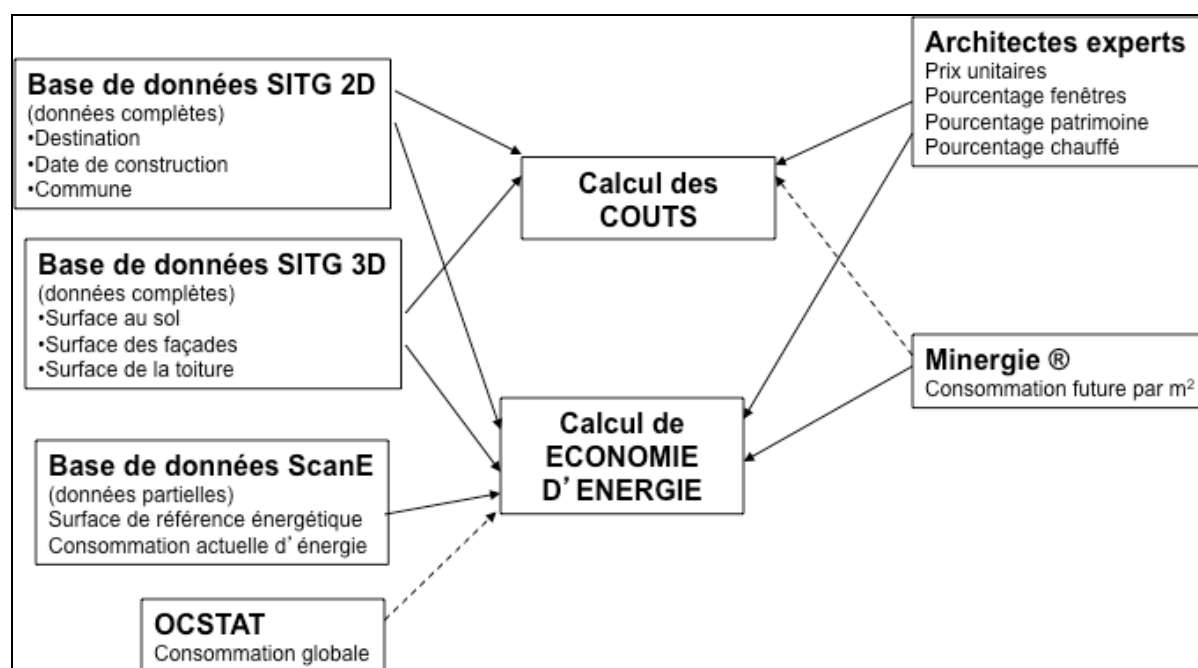


Fig.2: Les sources des données utilisées.

En résultat, nous disposons d'une estimation pour chaque immeuble du canton. Nous pouvons regrouper ces estimations librement, par exemple par commune ou par type d'immeuble¹⁵. Ci-après nous décrivons les principes généraux de la méthode de calcul.

¹⁵ Les calculs sont exécutés dans un fichier Excel-2010, capable de travailler avec des fichiers qui contiennent plus de 65'536 (=2¹⁶) lignes.

3.2 Les propriétés des bâtiments

Dans un premier volet de l'étude, nous avons inventorié les éléments constructives touchées par une rénovation énergétique dans tous les bâtiments du canton. Les informations sont tirées sans exception des bases de données du SITG en 2D et 3D qui répertorient la totalité des plus que 80'000 objets situés dans le canton. Pour chaque objet, nous avons relevé les informations suivantes:

De la base 3D:

la surface au sol;

la surface des façades;

la surface de la toiture.

De la base 2D:

un intervalle de date de construction;

la destination (usage) de l'objet;

un identificateur du bâtiment;

La commune (qui peut servir à l'interprétation des résultats).

La surface de référence énergétique (SRE) n'est malheureusement pas répertoriée dans les bases du SITG. Pour les bâtiments qui ne figurent pas dans la base du ScanE, nous avons estimé la SRE selon la procédure décrite en chapitre 5.6.

Les valeurs défaillantes ou zéros ont été corrigés comme suit: surface au sol: 1 m²; surface des façades: 2 fois la surface au sol; surface de toiture: égale à la surface au sol. Il s'agit en grande majorité de petits objets comme des remises, des cabanes ou encore des cabines téléphoniques. Par cette simplification, nous évitons l'élimination arbitraire d'un certain nombre de bâtiments insignifiants. Dans une analyse de sensibilité, nous avons vérifié que cette simplification a une influence négligeable sur le résultat.

Définitions: les différentes destinations figurant dans la base du SITG sont regroupées en **13 catégories**: les 12 catégories définies dans la norme SIA380/1 auquel nous avons ajouté la catégorie "habitation – activité". Les diverses dates de construction qui figurent dans la base SITG étaient regroupées en **5 périodes**, ce qui nous donne en tout **65 types** de bâtiments à considérer.

13 catégories *)	5 périodes
01 - habitat collectif	-1945
02 - habitat individuel	1946 à 1980
02 a-mixte habitation - activités	1981 à 2000
03 - administration	> 2000
04 – écoles	inconnu
05 - commerce	
06 - restauration	
07 - lieux de rassemblement	
08 - hôpitaux	
09 - industrie	
10 – dépôts	
11 - installations sportives	
12 - piscines couvertes	

*) selon SIA 380/1

Tab.1: Les catégories et périodes retenues

3.3 L'estimation des prix unitaires d'assainissement

Un deuxième volet de l'étude consiste en l'estimation des prix moyens unitaires de rénovation des éléments énergétiques des bâtiments. L'estimation du prix unitaire se fait pour chaque élément de bâtiment retenu, par m² de la surface appropriée. Les éléments retenus sont les suivants:

les façades, subdivisées en murs, fenêtre et obscurcissement: estimation par m²;

l'isolation de la toiture: par m² de toiture;

l'isolation vers le sol ou le sous-sol: par m² de surface au sol;

le chauffage, y compris les panneaux solaires thermiques: par m² SRE;

l'installation de ventilation ou installations équivalentes: par m² SRE.

Mis à part les prix, certaines autres propriétés étaient également estimées pour chaque type d'immeuble.

Le pourcentage de la surface de fenêtres dans les façades;

Le pourcentage d'immeubles soumis à la protection du patrimoine bâti;

Le pourcentage de bâtiments non chauffés;

Le pourcentage de bâtiments déjà construit en haute performance énergétique

L'estimation est différenciée selon le type du bâtiment et selon la variante considérée. Comme mentionné plus haut, l'estimation portait sur deux "devis": l'un pour une rénovation sans amélioration énergétique et l'autre pour une rénovation avec assainissement énergétique.

Le travail d'estimation était conçu comme suit: partant de l'estimation sur les types les plus habituels (habitation collective, 1945 à 1980) les estimations sont adaptées à d'autres catégories et d'autres époques ainsi qu'aux quatre variantes de rénovations considérées. Pendant toute la procédure d'estimation, l'idée des deux devis était bien gardée en tête, afin de pouvoir bien distinguer le coût de rénovation et le surcoût énergétique. Pour certaines catégories comme les bâtiments industriels ou divers, l'estimation est forcément très imprécise. L'influence de cette imprécision sur le résultat final est analysée dans la discussion.

Cette tâche était effectuée par un groupe de travail de spécialistes bénéficiant de larges connaissances et d'expériences approfondies. Il était composé d'un architecte expert en évaluation immobilière, d'un architecte spécialisé en construction durable et de notre collaborateur architecte. Le résultat de leurs réflexions est documenté en annexe.

Nous avons renoncé à une enquête statistique auprès d'un grand nombre d'architectes pour évaluer ces prix, car l'effort d'estimation de prix est assez important et il nous semblait plus adéquat de charger un petit groupe d'architectes à mener une réflexion approfondie à ce sujet au lieu de mener un grand nombre d'estimations forcément plus sommaires.

Nous avons également renoncé à une vaste enquête de marché pour évaluer ces prix parce que ces derniers sont volatils. Ils changent de manière imprévisible avec la conjoncture, mais également en fonction de nouvelles technologies. La recherche d'une grande précision sur ce paramètre nous semble alors inutile. Nous recherchons plutôt des prix cohérents entre eux. Notre étude est en plus conçue de telle manière que les prix puissent facilement être adaptés à l'avenir. Une telle étude du marché suisse est déjà effectuée par Jakob et collaborateurs¹⁶.

¹⁶ Jakob M. et al. 2002, op cit.

3.4 Les variantes

Notre estimation portait sur différentes variantes de qualité finale des rénovations. Pour chaque objet, nous avons défini deux niveaux d'objectifs de qualité énergétique, et nous avons imaginé les alternatives que l'objet soit soumis ou non soumis à des contraintes de protection du patrimoine bâti. L'estimation était complétée par une variante de référence, soit une rénovation des parties énergétiquement relevantes, sans amélioration des propriétés énergétiques. Dans le tableau 2 sont répertoriées ces conditions plus en détail.

La combinaison des qualités finales énergétiques et de protection du patrimoine bâti donne alors pour chaque bâtiment cinq variantes énumérées dans le tableau 3:

Code	Nom	Description
E0	Référence	Rénovation (remise à neuf) des parties énergétiquement relevantes sans amélioration des propriétés énergétiques . Cette variante sert comme référence pour définir les coûts non énergétiques des travaux. Pour certains éléments, la qualité existante n'est plus disponible sur le marché (par exemple les fenêtres). Pour l'estimation du prix, nous choisissons alors la qualité la plus proche de l'existant.
E-	Exigence énergétique faible	La rénovation est accompagnée d'une amélioration à un niveau énergétique équivalent au standard " Minergie rénovation " (Minergie pour les bâtiments datant d'avant 2000), différent pour chaque catégorie de bâtiments.
E+	Exigence énergétique accrue	Rénovation et adaptation à un niveau énergétique équivalent à " Minergie neuf " (Minergie pour bâtiments datant d'après 2000) même s'il s'agit d'un bâtiment antérieur à 2000. ¹⁷
P-	Sans protection du patrimoine	Rénovation sans aucune contrainte de protection du patrimoine.
P+	Avec protection de patrimoine	Rénovation sous l'hypothèse que le bâtiment soit protégé . (Les coûts supplémentaires pour les objets protégés sont pour l'essentiel les suivants: fenêtres de plus haute qualité esthétique, isolation intérieure ou extérieure plus soignée, crépis plus chers, diverses améliorations).

Tab.2: la définition des qualités finales des 5 variantes.

	Protection actuelle des bâtiments	Protection restreinte des bâtiments
Sans amélioration énergétique	E0	
Exigence énergétique accrue	E+P+	E+P-
Exigence énergétique faible	E-P+	E-P-

Tab.3: les cinq variantes avec leurs codes

Les coûts pour ces cinq variantes sont évidemment différents. Pour les deux variantes énergétiques E- et E+, l'économie d'énergie diffère également. Nous assumons par contre qu'il soit possible d'assainir même les bâtiments protégés, mais que le coût d'assainissement soit plus élevé.

En utilisant les résultats des variantes, nous avons calculé la somme des coûts de

¹⁷ Exigences MINERGIE® (Norme SIA 380/1:2009). http://www.minergie.ch/minergie_fr.html#les-exigences

rénovation sous deux hypothèses de réglementation de la protection du patrimoine:

Protection restreinte des bâtiments: sous cette hypothèse, seuls les bâtiments classés, ou inventoriés bénéficient des mesures de protection, les autres bâtiments seront assainis sans contraintes de protection de patrimoine. Cette variante correspond à une réglementation allégée par rapport à celle qui est en vigueur aujourd'hui.

Protection actuelle des bâtiments: en plus des bâtiments protégés ci-dessus, un certain pourcentage de tous les autres bâtiments bénéficie également de l'estimation avec protection. Le pourcentage estimé est répertorié dans le paragraphe "pourcentage patrimoine". Cette estimation correspond approximativement à la réglementation actuellement en vigueur.

3.5 Panneaux solaires thermiques

Bien que la nouvelle loi exige obligatoirement la réalisation de panneaux thermiques, ces derniers ne sont pas encore généralisés. Leur coût est alors explicitement retenu dans notre estimation. Nous n'avons par contre pas retenu l'installation d'éventuels panneaux photovoltaïques.

3.6 Les données énergétiques

La **consommation énergétique avant les travaux** est estimée avec un grand soin, en nous appuyant sur la base de données du ScanE. Cette base nous donne pour environ 11'000 objets la consommation en énergie, corrigée par rapport aux conditions météorologiques. Pour les objets qui figurent dans cette base, nous avons retenu la consommation d'énergie qui y figure.

Pour les autres objets, ni la SRE, ni l'indice de la consommation (ICE) ne sont disponibles. Nous avons alors passé par des estimations, séparément pour chaque type de bâtiment à l'aide de la surface d'enveloppe énergétique (SEE)¹⁸, qui est disponible pour tous les objets. Nous estimons d'abord pour chaque objet sa surface de référence énergétique $SRE(n)$:

$$SRE(n) = SEE(n) / FME(moyen) \quad (1)$$

$SRE(n)$ = approximation de la surface de référence énergétique de l'objet n

$SEE(n)$ = surface d'enveloppe énergétique de l'objet n

$FME(moyen)$ = facteur moyen d'enveloppe du type de bâtiment concerné

objet n = un objet de la base de données (complète) du SITG

avec

$$FME(moyen) = \sum SEE(m) / \sum SRE(m) \quad (2)$$

objet m = un objet de la base de données (incomplète) du ScanE

Ensuite nous avons calculé une estimation de l'ICE, $ICE(moyen)$, pour chaque type de bâtiment:

$$ICE(moyen) = \sum cons(m) / \sum SRE(m) \quad (3)$$

$cons(m)$ = consommation de l'objet m

La consommation approximative de chaque objet $cons(n)$ est finalement

$$cons(n) = SRE(n) * ICE(moyen) \quad (4)$$

Remarque: certains types de bâtiments sont absents dans la base du ScanE. Nous avons alors complété les données manquantes (facteur moyen d'enveloppe et ICE) par les données de la même catégorie, mais d'une période voisine.

¹⁸ Norme SIA 180

La **consommation après** la rénovation est donnée par les prescriptions des deux variantes retenues de la norme Minergie¹⁹.

La différence est l'**énergie économisée**:

$$\text{Énergie économisée} = \text{consommation après rénovation} - \text{consommation avant rénovation} \quad (5)$$

¹⁹ Exigences MINERGIE®, op cit.

4 Résultats

Ci-après nous donnons les résultats sur la consommation énergétique actuelle et pour les diverses versions de renouvellement énergétique, ainsi que leurs coûts.

En annexe 10.1 et 10.2 on trouve les principales informations tirées des 3 bases de données qui servaient comme base pour les calculs quantitatifs, soit la base 2D du SITG, la base 3D du SITG ainsi que la base du ScanE.

L'autre base pour les calculs, soit les estimations des prix de rénovation retenus avec leur justification se trouvent en annexe 10.3 et les autres estimations en 10.4.

4.1 Les résultats globaux financiers et énergétiques

Les données cadres de l'étude figurent dans le tableau 4:

Nombre d'objets total	81'157
SRE totale	55'023'450 m ²
coût non énergétique total	15'270 mio Frs
énergie consommée avant rénovation	20'335 TJ/an
coût non énergétique par m² de SRE	278 Frs/m ²
Energie consommée avant rénovation par m² de SRE	370 MJ/m ²

Tab.4: les données-cadres de l'étude

Le Tableau 5 montre les résultats globaux financiers et énergétiques de l'étude. A titre d'information nous avons ajouté aussi les coûts non énergétiques.

	Exigence énergétique accrue	Exigence énergétique faible
Résultats financiers		
coût non énergétique	15'270 mio sfr (278 sfr/ m ²)	15'270 mio sfr (278 sfr/ m ²)
surcoût avec protection actuelle du patrimoine	40'220 mio sfr (731 sfr/ m ²)	25'585 mio sfr (465 sfr/ m ²)
surcoût avec protection restreinte du patrimoine	35'753 mio sfr (650 sfr/ m ²)	21'594 mio sfr (392 sfr/ m ²)
Résultats énergétiques		
Consommation actuelle d'énergie	20'335 TJ/an (370 MJ/ m ² /an)	20'335 TJ/an (370 MJ/ m ² /an)
Economie d'énergie après rénovation	13'317 TJ/an (242 MJ/ m ² /an)	9'558 TJ/an (174 MJ/ m ² /an)
Pourcentage d'énergie économisée	65%	47%

Tab.5: Les coûts financiers et gains énergétiques pour les deux versions. En parenthèse les valeurs par m² SRE.

Dans figure 3 sont représentés les résultats financiers sous forme graphique. On voit entre autres que les coûts pour la protection du patrimoine bâti sont bien plus faibles que ceux qui sont pour l'économie d'énergie. Dans la figure 4 nous avons transformé les résultats énergétiques en émission de CO₂ et reporté ces dernières sur le graphique de l'évolution des émissions de CO₂ à titre de comparaison. Nous avons assumé que le chauffage serait après la rénovation à 100 % au gaz naturel.

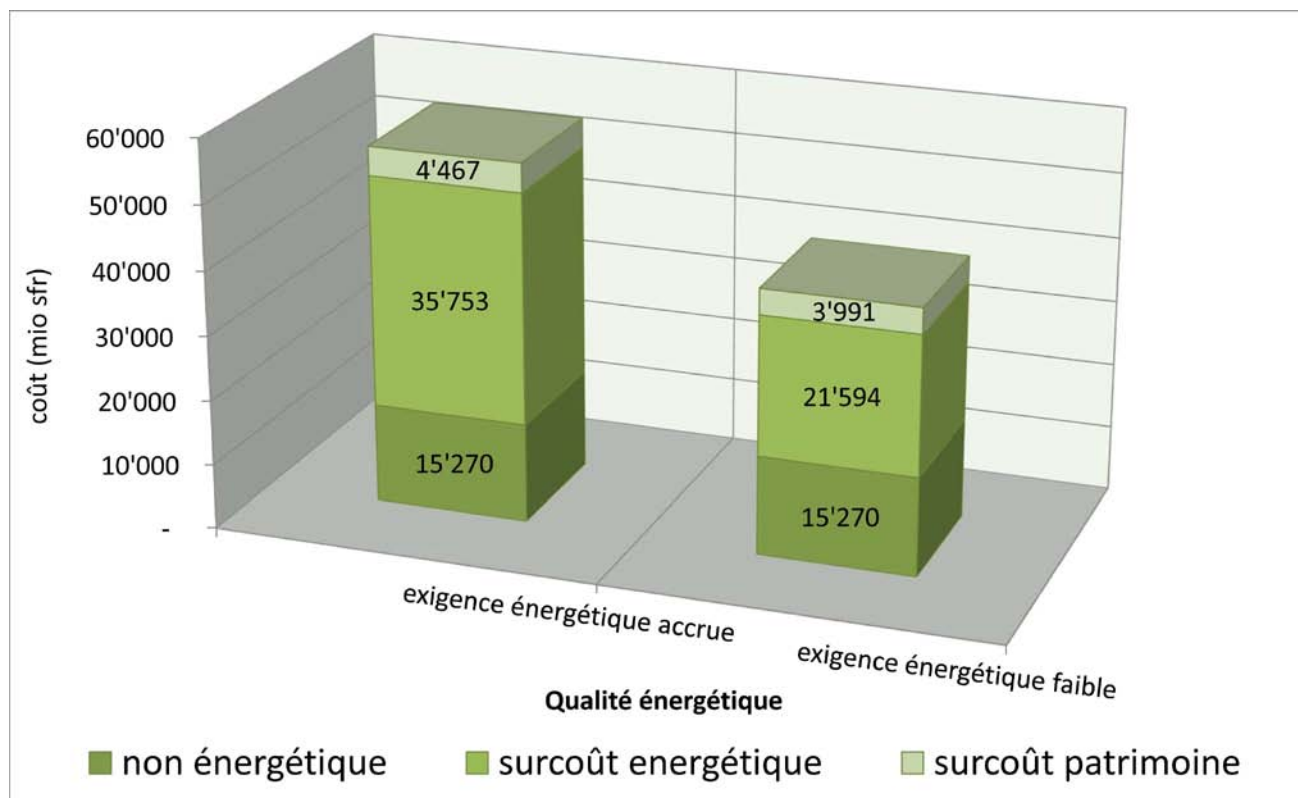


Fig. 3: Les coûts globaux pour les deux versions énergétiques.

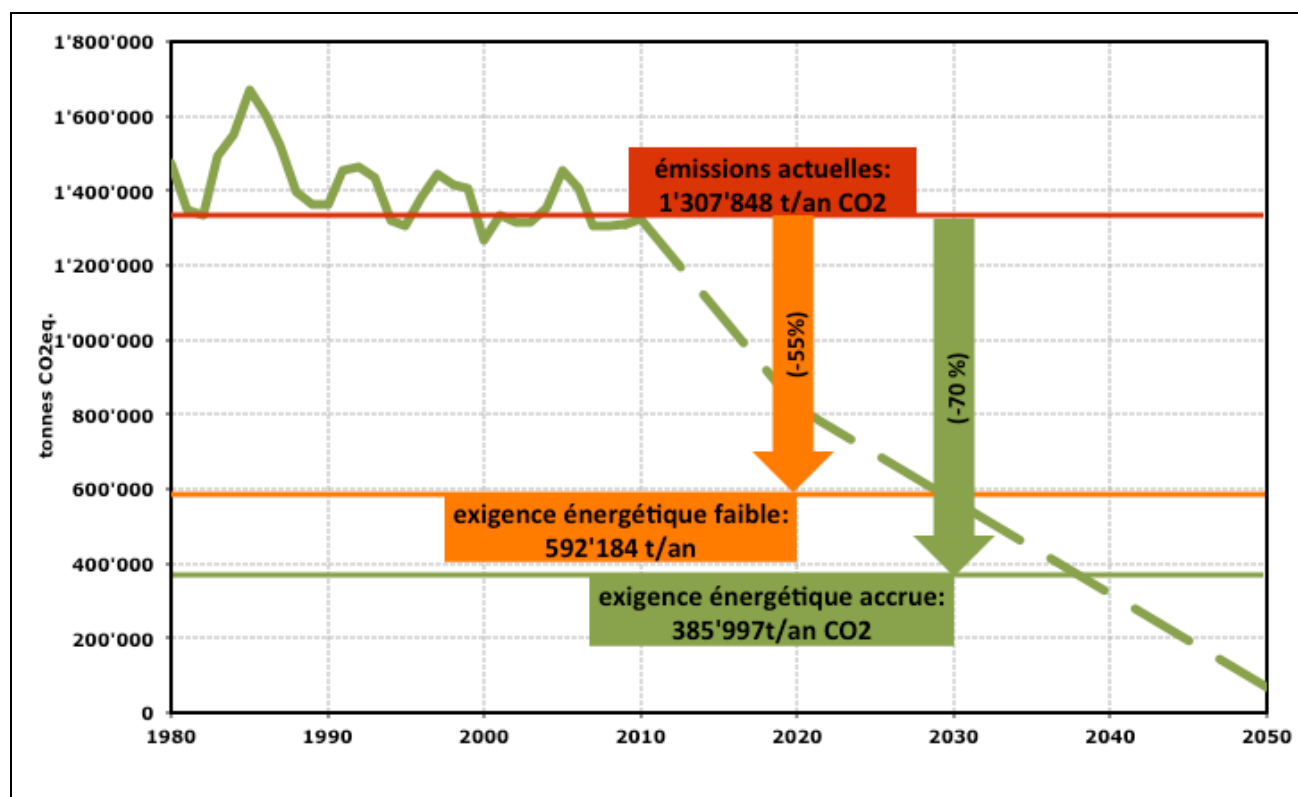


Fig.4: Les émissions actuelles de CO2 et celles des deux versions énergétiques, superposées sur le graphique de l'évolution des émissions de CO2 (fig.1). Les émissions sont indiquées en t/an CO2 et les gains sont exprimés en pourcent des émissions actuelles.

4.2 Les résultats en détail

4.2.1 Par catégorie de bâtiment

Le tableau 6 donne les résultats pour les 5 catégories de bâtiment les plus importantes. Le plus grand potentiel d'économie se trouve dans l'habitat individuel. Les 5 catégories énumérées représentent à elles seules les 80% du coût global.

4.2.2 Par type de commune

Le tableau 7 donne les résultats pour 4 types de communes. A noter que le potentiel des communes périurbaines est plus grand que celui de la ville.

	sans amélioration énergétique		exigence énergétique accrue			exigence énergétique faible		
	coût (mio frs)	consommation d'énergie (TJ/an)	surcoût énergétique (mio frs)	surcoût patrimoine (mio frs)	économie d'énergie (%)	surcoût énergétique (mio frs)	surcoût patrimoine (mio frs)	Economie d'énergie (%)
habitat individuel	4'831	6'238	11'126	1'404	67%	6'564	1'252	48%
habitat collectif	3'627	4'820	8'161	1'072	66%	5'013	929	46%
habitation - activité	2'610	3'616	6'014	898	65%	3'723	769	47%
administration	1'269	1'543	3'053	341	49%	1'844	319	30%
industrie	839	798	2'011	210	73%	1'196	202	45%
autres *)	2'094	3'320	5'387	543	70%	3'254	521	56%
total général	15'270	20'335	35'753	4'467	65%	21'594	3'991	47%

Tab.6: Extrait des résultats financiers et énergétiques par catégorie de bâtiment. *) autres = écoles, commerce, restauration, lieux de rassemblement, hôpitaux, dépôts, installations sportives, piscines couvertes.

	sans amélioration énergétique		exigence énergétique accrue			exigence énergétique faible		
	coût (mio frs)	consommation d'énergie (TJ/an)	surcoût énergétique (mio frs)	surcoût patrimoine (mio frs)	économie d'énergie (%)	surcoût énergétique (mio frs)	surcoût patrimoine (mio frs)	Economie d'énergie (%)
Ville	3'730	5'040	8'736	1'040	66%	5'250	937	47%
1ère couronne	3'263	4'154	7'522	869	66%	4'477	793	47%
2ème couronne	3'289	4'414	7'911	926	68%	4'706	841	49%
Périurbain	4'988	6'727	11'584	1'633	64%	7'161	1'420	46%
Total général	15'270	20'335	35'753	4'467	65%	21'594	3'991	47%

Tab.7: Les résultats par type de commune. 1^e couronne: Carouge, Chêne-Bougeries, Chêne-Bourg, Grand-Saconnex, Lancy, Onex, Vernier; 2^e couronne: Bernex, Confignon, Meyrin, Perly-Certoux, Plan-les-Ouates, Puplinge, Thônex, Versoix, Veyrier; périurbain: toutes les autres communes.

4.2.3 Par année de construction

Enfin le tableau 8 regroupe les mêmes données selon l'année de construction des bâtiments.

	sans amélioration énergétique		exigence énergétique accrue			exigence énergétique faible		
	coût (mio frs)	consommation d'énergie (TJ/an)	surcoût énergétique (mio frs)	surcoût patrimoine (mio frs)	économie d'énergie (%)	surcoût énergétique (mio frs)	surcoût patrimoine (mio frs)	Economie d'énergie (%)
>2000	499	831	1'669	7	57%	827	9	37%
-1945	3'016	5'167	8'207	1'549	67%	5'084	1'302	50%
1946 à 1980	4'519	6'201	10'151	1'161	68%	6'260	1'051	51%
1981 à 2000	2'961	2'763	5'166	657	63%	3'068	586	43%
inconnu	4'275	5'373	10'559	1'093	63%	6'354	1'043	44%
Total général	15'270	20'335	35'753	4'467	65%	21'594	3'991	47%

Tab.8: Les résultats par année de construction

4.2.4 En résumé

En Fig.5 nous avons représenté les surcoûts énergétique et de patrimoine cumulés pour la version d'exigence énergétique accrue selon 3 critères différents. On voit que les 3 formes d'habitat couvrent à eux seuls environ 70% du surcoût. Il est étonnant que le surcoût pour le périurbain est plus important que celui de la ville. Enfin on voit que le gros des travaux concerne les immeubles construits avant 1980, avec une grande partie d'immeubles dont la date de construction est inconnue.

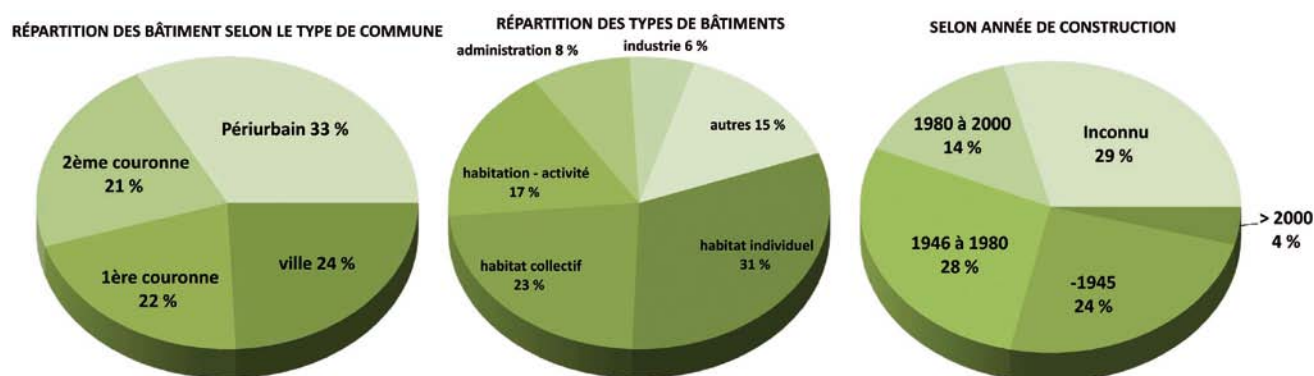


Fig.5: les surcoûts énergétiques et de patrimoine cumulés pour l'exigence énergétique accrue ventilée selon 3 critères différents.

4.3 Analyse de sensibilité

L'exactitude de nos chiffres dépend évidemment dans une grande mesure de la qualité de nos estimations des prix et des autres paramètres. En annexe 10.5 nous donnons une réflexion sur la robustesse de nos résultats en fonction des erreurs d'estimation.

5 Discussion

Les coûts annoncés sont calculés sur la base des prix actuels. En pratique, les travaux seront échelonnés par exemple sur 30 à 50 ans. Pour l'option avec exigence énergétique accrue et maintien des mesures de protection du patrimoine, on obtient alors un surcoût énergétique annuel de 0.8 à 1.3 milliards de francs sous l'hypothèse d'un coût constant du bâtiment et sans tenir compte d'éventuelles nouvelles technologies moins chères.

Sur le plan énergétique, il est évident que seule la version avec économie accrue d'énergie est apte à satisfaire les exigences du climat dans le domaine du bâtiment. Il serait regrettable de se contenter de rénovations énergétiques superficielles et de constater dans quelques décennies que l'effort était insuffisant et qu'il faudra reprendre les travaux à des coûts totaux bien supérieurs.

Les résultats montrent également que les surcoûts dus à la protection du patrimoine ne représentent que 12 à 18% du surcoût énergétique. Dans ce domaine, ce sont surtout les méthodes techniques et architecturales qu'il faut développer. Notons encore que l'estimation du taux des immeubles soumis aux mesures de protection du patrimoine est vraiment grossière, car les données de base permettant une estimation plus précise ne nous ont pas été accessibles.

Il est bien évident que, aux coûts actuels de l'énergie, la seule économie de l'énergie ne suffit pas comme base de financement des travaux. Sur cette base, on obtiendrait un temps de retour moyen sur investissement proche de 100 ans ! Une augmentation massive du prix de l'énergie serait bien sûr à même de raccourcir sensiblement cette durée, mais le financement ne serait alors pas facilité pour autant.

En plus de l'influence positive sur le réchauffement climatique et l'économie d'énergies non renouvelables, les rénovations énergétiques produisent diverses autres améliorations importantes dont la valeur doit être prise en compte (les gains externes) :

Diminution des frais de chauffage.

Meilleur confort pour les habitants, un habitat plus sain, meilleure protection contre le bruit, parfois amélioration de l'aménagement des logements.

Diminution de la pollution de l'air.

Les assainissements énergétiques créent de l'emploi local sur une large gamme de branches, allant du manœuvre jusqu'à l'ingénieur-e. Ces activités peuvent difficilement être délocalisées dans des pays à bas salaire.

Certains de ces gains sont clairement chiffrables (exemple: diminution des frais de chauffage) alors que pour d'autres, il n'existe même pas de méthode généralement acceptée de quantification (exemple: réchauffement climatique).

La somme de tous ces gains est sans doute considérable. Elle ferait clairement pencher la balance en faveur des rénovations énergétiques en profondeur. Celles-ci deviennent alors profitables non seulement pour l'avenir de la planète mais également sur le plan économique.

Le tableau 11, ci-dessous, donne les gains d'énergie de chauffage économisée en impliquant deux types de coûts externes selon une soigneuse estimation de Jakob et collaborateurs.

	Mazout	gaz
Coût de l'énergie économisé	2.5 ct	2.5 ct
Coût externe pour polluants classiques	2.4 ct	0.8 ct
Coût externe effet de serre	6.0 ct	4.5 ct
Coût total	10.9 ct	7.8ct
Retour sur investissement (ans)	27 ans	39 ans

Tab.11: L'internalisation des coûts externes selon Jakob et al.²⁰ Les coûts approximatifs sont indiqués par kWh énergie thermique.

Le coût de l'énergie a une tendance durable à la hausse et les coûts de rénovations risquent bien de baisser, dès que ces travaux se généralisent.

Bien que la présente étude veuille rester strictement factuelle, il est difficile d'énoncer des coûts globaux si élevés sans faire quelques réflexions quant à leur financement. Les surcoûts peuvent être mis en relation avec le produit cantonal brut annuel qui est de l'ordre de 40 milliards²¹ ou encore avec les dépenses actuelles pour la construction qui sont d'environ 3 milliards de francs par an dont un milliard est consacrée aux rénovations²². Dans le canton de Genève, les transactions immobilières en 2009 représentaient un montant de 3'960 millions de francs²³.

²⁰ Jakob M. et al. 2002, op cit., pp. 264

²¹ OCSTAT. http://www.ge.ch/statistique/domaines/04/04_02/tableaux.asp#1

²² OCSTAT. http://www.ge.ch/statistique/domaines/09/09_04/tableaux.asp#10

²³ OCSTAT. http://www.ge.ch/statistique/domaines/05/05_05/aperçu.asp

6 Conclusions

Les chiffres qui précèdent laissent penser que le financement des rénovations énergétiques pourrait être problématique. Cependant, il se situe dans l'ordre du possible: une gestion financière saine du parc immobilier permettrait de financer les rénovations énergétiques sans avoir recours à un impôt climatique et un subventionnement démesuré. Il serait certainement nécessaire de créer des instruments logistiques et financiers pour accomplir cette grande tâche dans un temps utile sur l'ensemble du canton. En modifiant les règles de comptabilité ou en créant un système de financement de projets qui permette l'internalisation ou la réalisation de gains externes, il serait possible de créer les conditions économiques nécessaires pour l'accomplissement de la tâche.

Le but de notre étude était de chiffrer le coût des rénovations et les résultats énergétiques que l'on peut en attendre. Nous ne poursuivons pas ici la réflexion au sujet du financement et de la réalisation pratique des rénovations énergétiques. Ce travail est pourtant de première urgence. Il incombe aux instances politiques, au premier chef au gouvernement, ainsi qu'à toutes les parties prenantes. Il est indispensable si notre canton veut contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique et pour une société durable.

7 Remerciements

Nos chaleureux remerciements vont tout d'abord à nos deux architectes experts, MM St. Fuchs et F. Hiltbrand, qui ont consacré à titre gracieux de nombreuses heures de travail et de discussion pour l'estimation des prix unitaires et pour donner d'innombrables idées pour la réalisation de ce travail. Sans leur contribution, ce travail n'aurait pas été possible.

Merci également au ScanE et au SITG pour la mise à disposition de leurs données et l'aide pour le transfert ainsi qu'à Olivier Lutz pour le travail informatique et à Jean-Philippe Schopfer pour leur collaboration, ainsi qu'à toute l'équipe de Noé21 pour leur soutien et conseils.

Nos remerciements vont également au groupe d'accompagnement, notamment à R. Camponovo qui nous a beaucoup soutenus ainsi qu'à M Chr. Freudiger du ScanE pour l'intérêt témoigné à ce travail.

Nous remercions enfin la Ville de Genève et son service de l'énergie pour sa contribution financière destinée à l'impression de notre travail.

8 Annexes

8.1 Base de données du SITG

La base contient 81'157 objets, que nous avons répartis en 65 types, caractérisés chacun par une catégorie et une époque. Les tableaux suivants donnent pour chaque type le nombre d'objets et la surface énergétique totale. On voit que ces paramètres varient énormément entre les types. Le type le plus nombreux est les habitats individuels entre 1946 et 1980, et les habitats collectifs de la même période présentent la plus grande surface de référence énergétique (tab. 12 et 13).

Époque catégorie	-1945	1946 à 1980	1981 à 2000	> 2000	inconnu	Total général
habitat collectif	2'007	3'420	1'884	695	677	8'683
habitat individuel	7'451	9'013	7'242	1'858	17'529	43'093
habitation - activité	2'299	1'795	846	53	323	5'316
administration	289	167	76	38	1'493	2'063
Écoles	102	105	34	51	429	721
commerce	35	13	9	20	547	624
restauration	79	25	7	4	188	303
lieux de rassemblement	62	30	7	10	374	483
Hôpitaux	55	48	33	6	123	265
Industrie	70	52	28	47	2'699	2'896
Dépôts	110	64	48	55	16'117	16'394
installations sportives	9	20	10	13	256	308
piscines couvertes					8	8
Total général	12'568	14'752	10'224	2'850	40'763	81'157

Tab.12: nombre d'objets de la base du SITG selon catégorie et époque.

époque catégorie	-1945	1946 à 1980	1981 à 2000	> 2000	inconnu	Total général
habitat collectif	2'594'622	5'466'468	2'446'694	842'845	797'693	12'148'321
habitat individuel	5'046'386	3'255'859	2'644'890	676'651	3'468'158	15'091'944
habitation – activité	3'264'513	3'844'558	1'595'339	82'098	421'446	9'207'954
administration	564'790	651'508	252'981	169'486	3'875'797	5'514'561
Écoles	193'629	457'632	103'232	74'083	515'771	1'344'347
commerce	51'279	18'579	15'770	171'857	801'353	1'058'839
restauration	37'875	120'355	11'304	5'091	311'415	486'039
lieux de rassemblement	89'532	95'211	18'353	224'899	332'702	760'698
Hôpitaux	119'780	170'636	94'638	5'630	201'428	592'111
Industrie	142'670	95'643	153'923	329'660	2'311'643	3'033'538
Dépôts	95'478	131'832	25'587	33'036	3'543'917	3'829'849
installations sportives	11'272	200'008	113'548	169'113	1'426'316	1'920'257
piscines couvertes					34'991	34'991
Total général	12'211'824	14'508'289	7'476'260	2'784'449	18'042'629	55'023'450

Tab.13: Surfaces énergétiques de référence totale estimée, selon catégorie et époque en m².

8.2 Base de données du ScanE

Cette base nous donne pour 11'597 objets la SRE et la consommation d'énergie (état 2010). Elle couvre 19'768'515 m² de surface énergétique, ce qui représente les 36 % de la surface énergétique totale estimée par notre étude. Elle totalise une consommation de 9'594 TJ/an soit les 47 % de la consommation totale retenue par l'étude. Les tableaux 14 et 15 donnent le nombre de bâtiments répertoriés par type, ainsi que les ICE moyens de tous les types calculés selon l'équation 3 du chapitre 5.6. Pour les catégories importantes, on voit une belle progression vers le bas.

époque catégorie	-1945	1946 à 1980	1981 à 2000	> 2000	inconnu	Total général
habitat collectif	1'255	3'150	1'635	393	123	6'556
habitat individuel	68	215	158	7	15	463
habitation - activité	1'483	1'634	738	33	64	3'952
administration	78	58	20	8	194	358
écoles	7	9	2	1	11	30
commerce	9	3	1	2	54	69
restauration	3	1	2		9	15
lieux de rassemblement	2	2			7	11
hôpitaux	5	12	8		7	32
industrie	7	10	7		52	76
dépôts	3	9	6		13	31
installations sportives	1	3				4
piscines couvertes						
Total général	2'921	5'106	2'577	444	549	11'597

Tab.14: nombre d'objets de la base du ScanE selon catégorie et époque.

catégorie	Époque	-1945	1946 à 1980	1981 à 2000	> 2000	inconnu
habitat collectif		508	531	454	374	386
habitat individuel		562	561	485	405	429
habitation - activité		480	518	438	385	412
administration		427	388	374	230	330
écoles		592	634	537	350	517
commerce		839	380	119	303	351
restauration		474	434	465	465 *)	747
lieux de rassemblement		706	459	459 *)	459 *)	532
hôpitaux		616	667	537	537 *)	504
industrie		559	433	286	286	314
dépôts		491	626	322	322 *)	510
installations sportives		414	478	478 *)	478 *)	478 *)
piscines couvertes		500 **)	500 **)	500 **)	500 **)	500 **)

Tab.15: les ICE moyens relevés dans la base de donnée du ScanE en MJ/m²/an. *) Chiffre issu de la catégorie voisine. **) Pas de données disponibles, chiffre arbitraire.

8.3 Les prix retenus et leur justification

Dans ce chapitre figurent des tableaux des estimations pour les **habitats collectifs construits entre 1981 et 2000**. Les différences pour d'autres catégories ou d'autres époques sont mentionnées dans les commentaires.

Toutes les estimations seront majorées de 25 % d'honoraires, taxes et frais d'étude, soit 10 % pour honoraires d'architecte, 8 % de TVA, 3 % pour l'ingénieur énergétique et 4 %

pour divers et imprévus. Les estimations sont d'ailleurs proches des coûts du devis final d'une rénovation réelle d'un bâtiment d'habitation typique pour le parc immobilier genevois, étudiée en détail²⁴.

Les habitations individuelles constituent de petits chantiers. Nous avons majoré leur prix de 10 % par rapport aux habitations collectives.

8.3.1 Fenêtres

La rénovation des fenêtres comporte les travaux suivants: dépose, évacuation, nouvelles fenêtres, pose, embrasures, part d'échafaudage couvrant les fenêtres (soit 35.-/m2) et petites finitions. Selon les graphiques de Jakob²⁵, les prix varient entre 350 et 1000 Frs/m2, avec une moyenne située autour de 600 à 800 Frs.

Variante *)	Coût /m2 de fenêtre	Explication et remarques
E0	735.-	Les fenêtres actuellement sur le marché correspondent toutes à la qualité au moins E-. À partir de 2000: 35.-. Les fenêtres n'ont pas besoin d'être remplacées.
E-P-	735.-	Même prix que la variante 0. À partir de 2000: 35.-
E+P-	835.-	À partir de l'an 2000: 485.- au lieu de 835.-. Les fenêtres sont de meilleure qualité énergétique. On ne change que les verres, mais pas les menuiseries.
E-P+	935.-	À partir de l'an 2000: 835.- au lieu de 935.- pour la même raison.
E+P+	1135.-	À partir de l'an 2000: 935.- au lieu de 1135.- pour la même raison.

Tab.16: Lex coûts unitaires des fenêtres. Nous avons admis le même prix pour toutes les époques et catégories. *)Les désignations E0, E+, P+, E- et P- se réfère aux variantes décrites au chapitre 5.4.

8.3.2 Protection solaire

Travaux: analogue aux fenêtres. Avant 1980 on rencontre surtout des stores à rouleau qui demandent une isolation accrue. Après 1980 ce sont surtout des stores à lamelles dont le caisson se trouve à l'extérieur et qui ne demandent pas une isolation supplémentaire.

Variante	Coût /m2 de fenêtre	Explication et remarques
E0	250.-	- Voir remarque en introduction.
E-P-	250.-	- Même prix que la variante E0. - Avant1980: isolation accrue:+ 30 %, donc 325.-
E+P-	250.-	- Même prix que la variante E0 - Avant1980: isolation accrue:+ 30 %, donc 325.-
E-P+	350.-	- Travaux plus compliqués, 100.- plus cher que variante E0. - À partir de 2000, seulement 50.- plus cher que variante E0, donc 300.- - Avant1980: isolation accrue:+ 30 %, donc 455.-
E+P+	350.-	- Travaux plus compliqués, 100.- plus cher que variante E0. - À partir de 2000, seulement 50.- plus cher que variante E0, donc 300.- - Avant1980: isolation accrue:+ 30 %, donc 455.-

Tab.17: Lex coûts unitaires des protections solaires

²⁴ Khoury J., communication personnelle (2012)

²⁵ Jakob M. et al. 2002, op cit p 137.

8.3.3 Parois extérieures, échafaudage

Échafaudage (la part des murs seulement pour les fenêtres c'est compté à part), isolation, crépi et peinture. Pour les versions P+, isolation intérieure, isolation extérieure haute performance ou solution équivalente.

Variante	Coût par m2 du mur	Explication et remarques
E0	85.- (115 pour P+)	- Échafaudage 35.-, crépi et peinture 50.- - Les immeubles P+ ont un crépi plus cher à 80.-. Pour ces immeubles, la variante 0 est donc 115.-.
E-P-	370.-	Idem, plus 16 cm isolation à 285.-
E+P-	440.-	Idem, plus 25 cm isolation à 355.-
E-P+	470.-	Échafaudage 35.-, crépi 80.-, réalisation équivalent à une isolation de 16 cm (p.ex. isolation intérieure ou isolation extérieure haute performance) à 355.-
E+P+	565.-	Échafaudage 35.-, crépi 80.-, réalisation équivalent à une isolation de 16 cm (p.ex. isolation intérieure ou isolation extérieure haute performance) à 450.-

Tab.18: Les coûts unitaires des parois extérieures

8.3.4 Sous-sol: isolation

Variante	Coût / m2 de surface	Explication et remarques
E0	0.-	Aucun travail nécessaire, evtl. couche de peinture.
E-P-	100.-	15 cm isolation (ou équivalent)
E+P-	120.-	20 cm isolation (ou équivalent)
E-P+	120.-	15 cm isolation, finitions plus soignées
E+P+	130.-	20 cm isolation, finitions plus soignées

Tab.19: Les coûts unitaires de l'isolation des sous-sols. Même prix pour toutes les époques et catégories.

8.3.5 Toiture: isolation

Isolation et étanchéité. On estime que le prix unitaire moyen est à peu près égal pour les toits plats ou en pente.

Variante	Coût par m2 de toiture	Explication et remarques
E0	250.-	
E-P-	500.-	15 à 20 cm isolation
E+P-	700.-	20 à 30 cm isolation
E-P+	700.-	15 à 20 cm isolation, travail plus soigné
E+P+	900.-	20 à 30 cm isolation, travail plus soigné

Tab.20: Les coûts unitaires des toitures

8.3.6 Chauffage:

Le chauffage doit être remplacé environ tous les 25 ans. Les frais sont comptés parmi les frais d'entretien et n'entrent pas en ligne de compte pour notre estimation. Nous comptons seulement les vannes thermostatiques et l'isolation des conduites.

Variante	Coût /m2 SRE	Explication et remarques
E0	0.-	
E-P-	20.-	- Vannes thermostatiques - À partir de 2000: 0.- (vannes thermostatiques déjà installées)
E+P-	40.-	- Vannes thermostatiques + meilleure isolation des conduites - À partir de 2000: 20.- (vannes thermostatiques déjà installées)
E-P+	20.-	- Vannes thermostatiques - À partir de 2000: 0.- (vannes thermostatiques déjà installées)
E+P+	40.-	- Vannes thermostatiques + meilleure isolation des conduites - À partir de 2000: 20.- (vannes thermostatiques déjà installées)

Tab.21: Les coûts unitaires pour les chauffages

8.3.7 Technique domestique

Équivalent à une ventilation simple flux pour E- et double flux pour E+

Variante	Coût /m2 SRE	Explication et remarques
E0	0.-	
E-P+	40.-	= 30.- + 25% petits travaux. Simple flux.
E+P-	100.-	80.- + idem. Double flux.
E-P+	70.-	56.- + idem. Simple flux.
E+P+	120.-	96.- + idem. Double flux.

Tab.22: Les coûts unitaires pour la technique domestique

8.3.8 Panneaux thermiques

1 m2 de panneau thermique est chiffré à 2000.-. Pour E-, - nous comptons ½ m2 de panneau par habitant et pour E+ 1 m2/habitant. Nous comptons 40 m2 de SRE par habitant. P+ exige de meilleures finitions: nous estimons un surcoût de 20 %. Pour tous les objets qui ne contiennent pas d'habitat (sauf piscines couvertes), nous divisons ces chiffres par 4.

Variante	Coût /m2 SRE	Explication et remarques
E0	0.-	
E-P+	25.-	Voir ci-dessus
E+P-	50.-	Voir ci-dessus
E-P+	30.-	Voir ci-dessus
E+P+	60.-	Voir ci-dessus

Tab.23: Les coûts unitaires pour les panneaux solaires thermiques

8.4 Les autres paramètres retenus

Pour l'évaluation des coûts de rénovation ou de l'énergie consommée, d'autres paramètres étaient encore estimés:

8.4.1 Taux de bâtiments Minergie

Après 2000 une part non négligeable de bâtiments correspondent à la norme Minergie. Pour ces bâtiments, les hypothèses et normes de la présente étude ne sont pas applicables. Ces bâtiments ont déjà à l'état neuf des propriétés énergétiques égales ou supérieures à nos exigences. Ces bâtiments sont considérés de faire partie du patrimoine neuf et sont exclus

de notre étude.

Il n'était pas possible d'exclure ces bâtiments individuellement. Nous avons déduit du coût total de rénovation estimé le pourcentage de bâtiments réputés correspondre aux normes Minergie.

Avant 2000: 0 %

Après 2000:

	Nombre d'objets total	Nombre d'objets Minergie	Pourcentage du SRE correspondant à la norme Minergie
hab. collect.	746	42	22.2%
Villas	1864	52	3.3%
Admin.	36	10	67.2%
Écoles	51	10	14.8%
Commerce	20	1	1%
Lieux rass.	10	1	1.8%
Industrie	45	1	6.6%
Dépôt	13	1	18.2%

Tab.24: Les objets Minergie construits après 2000

8.4.2 Protection du patrimoine bâti

Il n'existe pas d'inventaire de tous les bâtiments protégés dans le canton. La base de données du SITG mentionne seulement si un bâtiment est classé ou figure dans l'inventaire, fait partie d'un ensemble industriel à protéger ou encore fait partie d'un site protégé.

Dans la variante avec **protection actuelle des bâtiments**, nous considérons que tous les bâtiments classés ou inventoriés sont protégés. De plus, un certain pourcentage des autres objets est également considéré comme protégé. Le pourcentage est estimé pour chaque type de bâtiment par nos experts. Cette estimation est en plus soumise au Service cantonal de monuments et sites pour une prise de position.

Dans la variante avec **protection restreinte des bâtiments**, nous considérons que seuls les bâtiments classés ou inventoriés sont protégés. Les autres objets peuvent être rénovés sans contrainte de protection du patrimoine.

Nos experts estiment donc deux coûts différents pour chaque type d'objets, l'un avec protection du patrimoine et l'autre sans cette dernière.

Nous avons considéré que les bâtiments suivants sont protégés:

bâtiments classés;

bâtiments faisant partie de l'inventaire;

un certain pourcentage de tous les autres bâtiments, en fonction de leur âge.

Nb: les bâtiments faisant partie d'un site protégé sont comptés parmi les autres bâtiments. L'appartenance à un site protégé ne sous-entend pas obligatoirement que le bâtiment lui-même soit protégé.

Estimation du pourcentage de bâtiments soumis à la protection du patrimoine

Avant 1945: 65 %

1946 à 2000: 30 %

Après 2000: 1 %

Le Service de protection du patrimoine n'était pas en mesure de préciser ces chiffres, car il ne détient pas d'inventaire complet sur les bâtiments du canton. Selon ce service, tout

pourcentage entre 30 % et 100 % est possible pour les bâtiments construits avant 1945²⁶. Il se trouve que notre estimation de 65 % correspond à la moyenne arithmétique entre ces deux valeurs extrêmes.

8.4.3 Pourcentage chauffé

Nous avons considéré que 50 % des dépôts ne sont pas chauffés.

8.4.4 Part de fenêtres dans la façade

Le pourcentage de la surface vitrée dans une façade varie selon le type de bâtiment. Selon Jakob et al., la proportion de fenêtres dans l'habitat collectif monte de 15 % à 20 % entre 1900 et 1980. Dans le même intervalle, l'augmentation se situe entre 15 % et plus de 30 % pour les maisons individuelles. Malheureusement, la série se termine en 1985. Les proportions sont bien plus faibles que l'estimation de nos architectes qui se chiffre dans l'intervalle de 1920 à 2000 de 30 à 60 %.

Nos experts ont estimé les pourcentages presque deux fois plus élevés, indépendants du type de bâtiment, basés sur des exemples de dossiers du bureau ATBA. Un grand immeuble construit en 1963 et typique pour son époque présente d'ailleurs un pourcentage encore plus élevé, soit 53%²⁷.

Nous avons néanmoins retenu les données de Jacob et al. car elles sont le résultat d'une recherche systématique à ce sujet. Au-delà de 1980 nous avons assumé une forte augmentation qui s'approche à l'estimation de nos experts. (Fig.6, lignes pointillées). Les chiffres pour l'habitat collectif étaient utilisés pour toutes les autres catégories de bâtiments, sauf pour les dépôts. Ces derniers ont certainement un moindre pourcentage de fenêtres. Pour cette catégorie, nous avons pris la moitié des chiffres pour l'habitat collectif. Le tableau 25 présente les pourcentages retenus. L'analyse de sensibilité montre que ce pourcentage n'a qu'une faible influence sur le résultat final (voir ch. 6.3.1).

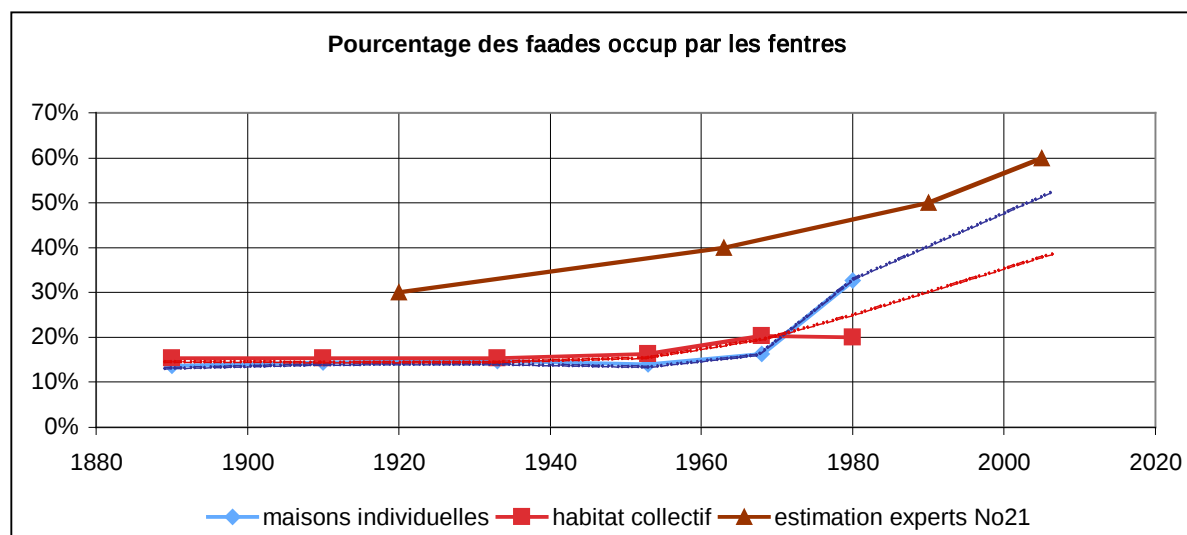


Fig.6: Pourcentage des façades occupé par des fenêtres. Carrés et losanges: Selon Jakob et al. Triangles: estimation de nos experts, en pointillé: les données retenues dans l'étude.

²⁶ Lovisa M., directeur du service des monuments et sites, communication personnelle.

²⁷ Khoury J., communication personnelle (2002)

période	estimation experts Noé21	valeurs retenues		
		habitat individuel	dépôts	autres catégories
Avant 1945	30%	15%	7.5%	15%
1946 à 1980	40%	21%	9.5%	19%
1981 à 2000	50%	35%	12.5%	25%
après 2000	60%	43%	14.0%	28%
inconnu		21%	9.5%	19%

Tab.25: les pourcentages retenus des fenêtres sur les façades.

8.4.5 Dépôts

Nous avons assumé 50 % des dépôts non chauffés.

8.5 Analyse de sensibilité

Mise à part l'incertitude de l'estimation des coûts des travaux, les plus grandes incertitudes de notre étude concernent:

Les erreurs dans les bases de données SITG et ScanE

L'erreur sur le pourcentage des immeubles touchés par les mesures de protection du patrimoine;

L'erreur sur le pourcentage de surface des fenêtres dans les façades;

L'influence des petits objets et des objets inhabituels sur le résultat global.

8.5.1 Bases de données SITG et ScanE

Nous considérons que les erreurs globales sur les chiffres des bases de données du SITG et du ScanE sont négligeables.

8.5.2 Protection du patrimoine

L'influence d'une erreur sur l'estimation du pourcentage d'immeubles touchés par les mesures de protection du patrimoine est facile à estimer. Il suffit de comparer les résultats pour les variantes avec ou sans ces dernières mesures. Si nous avons surestimé ce pourcentage, la réalité se trouverait entre les résultats de ces variantes. Si par contre nous avons sous-estimé le pourcentage, les coûts totaux seraient encore plus élevés que notre estimation.

8.5.3 Pourcentage de fenêtres

L'estimation du pourcentage de surfaces de fenêtres par façade est d'une grande incertitude. Le tableau 9 compare les coûts sous l'hypothèse d'une augmentation de 50 % des surfaces vitrées. Cette importante variation influence effectivement le coût de la variante de référence, mais sa répercussion sur les surcoûts énergétiques est négligeable.

	Sans amélioration énergétique	Surcoût avec exigence énergétique accrue et maintien des mesures de protection du patrimoine	Surcoût avec exigence énergétique faible et sans mesures de protection du patrimoine
Pourcentage de surfaces retenu	15'270 mio Sfr	40'220 mio Sfr	21'594 mio Sfr
Surfaces de fenêtres augmentées de 50 %	18'819 mio Sfr	39'838 mio Sfr	20'574 mio Sfr
Variation en %	23%	-1%	-1%

Tab.9: Variation des coûts en augmentant la surface des fenêtres de 50 %.

8.5.4 Petits objets et objets inhabituels

La base de données SITG répertorie également de tout petits objets comme des installations techniques des SIG, des cabines téléphoniques, etc. Dans le souci de ne pas négliger ces petits objets, nous les avons comptés avec les mêmes coûts par m² que les grands. Dans le tableau 10 nous avons exclu à la 2^e ligne les objets avec une surface énergétique inférieure à 50 m². On voit que l'influence de cette modification sur le résultat final est négligeable.

	Sans amélioration énergétique	Surcoût avec exigence énergétique accrue et maintien des mesures de protection du patrimoine	Surcoût avec exigence énergétique faible et sans mesures de protection du patrimoine
Standard	15'270 mio Sfr	40'220 mio Sfr	21'594 mio Sfr
Objets avec SRE< 50 m2 exclus	15'220 mio Sfr	40'086 mio Sfr	21'520 mio Sfr
Variation en %	-0.3%	-0.3%	-0.3%

Tab.10: Variation des coûts en excluant les petits objets avec SRE < 50 m2

Les quatre catégories les plus importantes (habitation individuelle, habitation collective, habitation activité mixte et administration) présentent à elles seules 80 % des coûts de rénovation (voir tableau ch. 4.7). Les autres catégories n'influencent guère le résultat global. Même si nous avons considérablement surestimé les prix de rénovation de ces bâtiments, le résultat final n'en serait influencé que faiblement. En réalité l'estimation du coût de rénovation pour ces objets est très difficile et nous l'avons faite de manière assez sommaire.

8.6 Consommation énergétique actuelle

Selon notre estimation, la consommation actuelle s'élève à 25'114 TJ/an. Ce chiffre est d'environ 20 % supérieur à celui issu des ventes d'énergie fossile relevé par l'OCSTAT qui s'élève à 20'355 TJ/an²⁸ (données de 2010, ventes de mazout, gaz de chauffage et gaz de chauffage à distance, calculé par nos soins en utilisant les facteurs de conversion de l'OFEV²⁹). Cette différence n'est pas étonnante, vu la façon très différente pour leur obtention. Nous pensons que les relevés de l'OCSTAT sont plus fiables et nous avons ramené nos estimations de manière linéaire à ce dernier chiffre.

²⁸ Tiré de la statistique officielle des ventes

http://www.ge.ch/statistique/domaines/08/08_02/tableaux.asp#4

²⁹ OFEV: "Contenu énergétique et facteurs d'émissions de CO2 des agents fossiles".

<http://www.bafu.admin.ch/klima/09570/index.html?lang=fr>



**Noé21 est l'acronyme de Nouvelle Orientation Economique pour le 21^e siècle
ONG indépendante spécialisée dans les solutions au changement climatique
Membre du Bureau européen de l'environnement et du Réseau action climat Europe CAN-E
Accrédité à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques**

**Cet ouvrage peut-être commandé auprès de:
Noé21 - Quai Charles Page 19 - 1205 Genève – Suisse
Tel : +41 22 329 51 36 - www.noe21.org - info@noe21.org**

Dans la même collection:

- Plan Climat cantonal, Septembre 2009
- Plan climat cantonal: 1 an après, où en est-on? Janvier 2011