



UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN

LOUVAIN SCHOOL OF MANAGEMENT

Réduire les émissions de gaz à effet de serre du secteur résidentiel

Rénovation ou démolition

Promoteur : **Thierry Bréchet**

Mémoire-recherche présenté par

Younes Dennoune

en vue de l'obtention du titre de

Master en ingénieur de gestion

ANNEE ACADEMIQUE 2014 - 2015

Pour commencer, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mon Directeur de mémoire, le professeur Bréchet, pour les redirections et les conseils avisés qu'il m'a prodigués tout au long de ce travail.

Ensuite, mes remerciements vont à ma famille : mes grands-mères, mes parents, mes deux frères ainsi que mon oncle Youssef. Je tiens à leur exprimer ma reconnaissance pour le soutien et les apaisements reçus durant mon parcours académique. Merci d'avoir toujours été là pour moi.

Enfin, je remercie ma cousine Fouzia pour sa relecture et ses précieux conseils. Egaleme nt mes amis pour leurs encouragements.

Table des matières

TABLE DES MATIERES	V
TABLE DES TABLEAUX	VII
TABLE DES FIGURES	VII
LISTE DES ACRONYMES	VIII
INTRODUCTION	1
PARTIE I : LE SECTEUR RESIDENTIEL ET L'ENERGIE	5
Chapitre 1 : L'Europe, la Belgique et le climat	5
Section I : Cadre européen sur l'efficacité énergétique	5
§1 : Innovation dans le système énergétique	7
Section II : Les objectifs de la Belgique	8
Section III : Les potentialités du secteur résidentiel	9
Chapitre 2 : Consommation et émissions des résidences	10
Section I : La création de logement en Belgique	10
§1 : L'État et la construction	10
§2 : Le parc de bâtiments résidentiels et l'ancienneté	12
Section II : La consommation et les émissions associées	14
§1 : De la production à la consommation d'énergie	14
§2 : La consommation finale du secteur résidentiel	15
§3 : La consommation énergétique des ménages	17
§4 : Les émissions de GES du secteur résidentiel	19
§5 : Quantifier les émissions de GES	21
Section III : L'année de construction, un indicateur pour la consommation	21
§1 : L'ancienneté du stock	22
PARTIE II : CADRE THEORIQUE	25
Chapitre 3 : Théorie et freins des investissements en efficience énergétique	25
Section I : Introductions et définitions	25
Section II : Théorie relative aux freins de l'adoption	27
§1 : Le Paradoxe énergétique	27
§2 : Typologie des différents freins	27
Chapitre 4 : Comparaison théorique : rénovation ou démolition	30
Section I : Pour une remise à niveau du parc résidentiel	30
Section II : La rénovation, le modèle de référence	30
§1 : Les bâtiments à cibler pour la rénovation	31
§2 : Avantages de la rénovation	31
§3 : Les coûts à prendre en compte	32
§4 : Les incitants	33
Section III : La démolition/reconstruction, une alternative	34
§1 : Les bâtiments à démolir	34
§2 : Les avantages d'une démolition/reconstruction	35

§3 : Les coûts de la démolition/reconstruction, une principale limite	36
Section IV : Apport de la comparaison.....	37
PARTIE III : MODELISATION DE LA RENOVATION ET DE LA DEMOLITION. POUR UNE PROJECTION DES EMISSIONS DE GES A L'HORIZON 2050.....	41
Chapitre 5 : Modélisation des consommations et des émissions des maisons wallonnes à l'horizon 2050	41
Section I : Présentation de l'outil	42
§1 : Données de base.....	42
§2 : Aménagement des classes énergétiques.....	43
Section II : Création du modèle général sur Excel	44
§1 : Évolution physique du parc.....	45
§2 : Calcul de la consommation annuelle du parc	45
§3 : Calcul des émissions de GES annuelles du parc	46
§4 : Calibrage du modèle aux objectifs européens.....	48
Section III : Définition des scénarios et hypothèses de recherche.....	48
§1 : Hypothèse de recherche.....	48
§2 : Scénario « Statu quo »	49
§3 : Scénario « Rénovation »	49
§4 : Scénario « Démolition ».....	50
Section IV : Résultats.....	51
§1 : Scénario « Statu quo »	51
§2 : Scénario « Rénovation »	52
§3 : Scénario « Démolition ».....	53
§4 : Confrontation des scénarios	55
§5 : Test de sensibilité	57
Section V : Analyse de coût des deux options.....	57
§1 : Coût financier.....	58
§2 : Effet sur la facture énergétique du parc.....	61
§3 : Bilan environnemental	61
Section VI : Les limites de notre modèle.....	63
Section VII :Récapitulatif des résultats	64
Section VIII : Discussion et recommandations	66
CONCLUSION GENERALE	68
BIBLIOGRAPHIE.....	71
ANNEXES	1
Annexe 1 : Organigramme de la méthodologie du chapitre 1.	1
Annexe 2 : Consommation des logements wallons.	2
Annexe 3 : Consommation du chauffage des logements Wallons par source et type. ...	2
Annexe 4 : Facteur de conversion en énergie primaire (PEB)	4
Annexe 5 : Illustration de l' « l'histoire du mur ».	5
Annexe 6 : Plus de facteurs influençant la consommation des ménages.....	6
Annexe 7 Exemple de gain financiers pour une rénovation.	8
Annexe 8 : Modélisation des consommations résidentielles Wallonnes en fonction de l'ancienneté et du type. (Données de base)	8
Annexe 9 : Les tableaux de projection de la croissance physique du parc	10
Annexe 10 : Calculs de la consommation annuelle et des émissions de GES.	15
Annexe 11 : Taux de rénovations et démolitions annuels du parc.	18
Annexe 12 : Modélisation de la rénovation et de la démolition	18

Annexe 13 : Calibrage selon les calculs de l'étude « Vers une Wallonie bas carbone en 2050 »	20
Annexe 14 : Résultats du scénario « statu quo »	21
Annexe 15 : Résultats du scénario « rénovation »	22
Annexe 16 : Résultats du scénario « démolition »	22
Annexe 17 : Résultat du test de sensibilité.....	23
Annexe 18 : Coût des rénovations.....	24
Annexe 19 : Evolution de la facture énergétique du parc	24

Table des tableaux

TABLEAU 1 : EVOLUTION DU NOMBRE DE MAISONS RESIDENTIELLES (2004-2014) EN BELGIQUE ...	12
TABLEAU 2 : FACTEURS D'EMISSION PAR COMBUSTIBLE	21
TABLEAU 3 : CONSOMMATION MOYENNE D'UNE MAISON EN FONCTION DE SON ANCIENNETE	23
TABLEAU 4 : BARRIERES A L'EFFICACITE ENERGETIQUE AU CONTEXTE DES BATIMENTS : TYPES ET EXEMPLES	29
TABLEAU 5 : TYPE DE RENOVATION ET PART DE GAINS ET COUTS ASSOCIES.....	33
TABLEAU 6 : RECAPITULATIF : RENOVATION OU DEMOLITION	39
TABLEAU 7 : DEFINITION DES CLASSES D'ANCIENNETE	43
TABLEAU 8 : CLASSES DE TYPES DE RENOVATION AVEC EFFICIENCE ET CIBLE	44
TABLEAU 9 : CLASSE DE DEMOLITION/RECONSTRUCTION AVEC EFFICIENCE ET TYPE	44
TABLEAU 10 : ÉVOLUTION DU MIX ENERGETIQUE UTILISE PAR LES LOGEMENTS WALLONS POUR LE CHAUFFAGE	47
TABLEAU 11: TAUX DE RENOVATIONS ANNUELS ET CONSTANTS PAR CLASSE (POUR LE TYPE 4 FAÇADES)	50
TABLEAU 12: TAUX DE DEMOLITIONS ANNUELS ET CONSTANTS PAR CLASSE (POUR LE TYPE 4 FAÇADES)	50
TABLEAU 13: TABLEAU D'EVOLUTION DE LA CONSOMMATION EN TWh – STATU QUO	51
TABLEAU 14: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION EN TWh – RENOVATION.	52
TABLEAU 15 : ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION EN TWh (2010-2050) – DEMOLITION.	54
TABLEAU 16 : CALCUL DU COUT DE L'OPTION RENOVATION EN €	58
TABLEAU 17 : CALCUL DU COUT DE L'OPTION DEMOLITION EN €	59
TABLEAU 18 : CALCUL DE LA VAN POUR LES DEUX OPTIONS EN €	60

Table des figures

FIGURE 1 : EVOLUTION DU NOMBRE DE LOGEMENTS NEUF DANS LES BATIMENTS RESIDENTIELS PAR FILIERE DE PRODUCTION	11
FIGURE 2 : REPARTITION DES LOGEMENTS WALLONS EN FONCTION DE LEUR EPOQUE (2001).....	13
FIGURE 3 : BATIMENTS RESIDENTIELS NECESSITANT UNE REMISE A NIVEAU EN FONCTION DE L'AGE	13
FIGURE 4 : EVOLUTION DE LA CONSOMMATION FINALE BELGE PAR SECTEUR EN TWh (1990 – 2013).....	16
FIGURE 5 : ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION DU LOGEMENT EN WALLONIE ENTRE 1985 ET 2013.....	17
FIGURE 6 : CONSOMMATION PAR USAGE DES LOGEMENTS WALLONS EN (%) EN 2005.....	18
FIGURE 7 : UTILISATION DES DIFFERENTES SOURCES D'ENERGIE EN BELGIQUE EN (%) EN 2005 POUR LE CHAUFFAGE.....	18
FIGURE 8 : ÉVOLUTION DES EMISSIONS DE GES ET CO ₂ PAR RAPPORT A 1990 (REFERENCE 100)20	

FIGURE 9 : % LOGEMENTS WALLONS AYANT DES MURS ISOLES EN FONCTION DE LEUR EPOQUE DE CONSTRUCTION.....	23
FIGURE 10 : LES CINQ LEVIERS DES INVESTISSEMENTS EN EFFICIENCE ENERGETIQUE.....	26
FIGURE 11 : METHODOLOGIE GENERALE – UTILISATION DES DONNEES.....	43
FIGURE 12 : ORGANIGRAMME DE LA METHODE D'ESTIMATION DES GES.....	47
FIGURE 13 : EVOLUTION DES EMISSIONS DE GES (1990 - 2050) – STATU QUO.	52
FIGURE 14: EVOLUTION DES EMISSIONS DE GES (1990 - 2050) – RENOVATION.	53
FIGURE 15 : EVOLUTION DES EMISSIONS DE GES (1990 - 2050) -- DEMOLITION.....	54
FIGURE 16 : ÉVOLUTION DES EMISSIONS DE GES POUR LES TROIS SCENARIOS	56

Liste des acronymes

ACED :	Centre d'Anvers pour l'Evolution Démographique.
ADEME :	Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
AWAC :	Agence Wallonne de l'Air et du Climat.
BPIE :	Buildings Performance Institute of Europe.
C :	Carbone.
CE (EC) :	Conseil Européen.
CPEB :	Certificat de Performance Energétique des Bâtiments.
CH ₄ :	Méthane.
CO ₂ :	Dioxyde de Carbone.
CPDT :	Conférence Permanente du Développement Territorial.
DGSIE :	Direction Générale Statistique et Information Economique.
DGRTE :	Direction Générale des Technologies de la Recherche et de l'Energie
DGRNE :	Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement
DGOATLPE :	(DGO4+) Direction Générale Opérationnelle de l'Aménagement du Territoire, du Logement, du Patrimoine et de l'Énergie. (Remplace la DGRTE et la DGRNE)
FIEEC :	Fédération des Industries Electriques, Electroniques et de Communication.
FRNB :	La Fédération Royale du Notariat Belge.
GES :	Gaz à Effet de Serre.
GIEC :	Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat.
ICEDD :	Institut de Conseil et d'Etude en Développement Durable.
ICEB :	Institut pour la Conception Écoresponsable du Bâti.
IEA :	Agence Internationale de l'Energie.
IEE :	Investissement en Efficience Energétique.
IWEPS :	Institut Wallon de l'Evaluation, de la Prospective et de la Statistique.
J :	Joules (GJ, Giga Joules : MG, Méga Joules).

kWh :	Kilowatt-heure.
MRW :	Ministère de la Région Wallonne.
NACE :	Nomenclature statistique des Activités Economiques dans la Communauté Européenne.
PICC :	Projet Informatique de Cartographie Continue.
Nzeb :	Nearly zero energy buildings pour bâtiments à consommation quasi nulle.
Tep :	Tonne équivalent pétrole.
TWh :	Térawatt-heure.
UE :	Union Européenne.

Introduction

A l'aube du vingt et unième siècle, le changement climatique et ses répercussions pour l'humanité sont sans nul doute l'un des plus grands défis pour la société. Heureusement, les Etats et leur population en prennent conscience et des plans d'actions de plus en plus concrets s'articulent au niveau international.

D'ailleurs, c'est en décembre 2015 que se tiendra la COP 21. Ce terme fait référence à la vingt et unième Conférence des Parties à la Convention¹ cadre des Nations unies qui aura pour but de conduire à un nouvel accord climatique. A moins de six mois de sa tenue, le président des Etats-Unis dévoilait son plan d'action pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. L'Union européenne, s'était quant à elle déjà attelée à la question en 2011, notamment, en fixant des objectifs de 80 à 90% de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour 2050². Et ce, de façon à restreindre l'augmentation de la température à 2°C pour la fin du siècle.

Les activités humaines nécessitent toujours plus d'énergies pour satisfaire la croissance économique, nécessaire au développement des pays. Pourtant ce sont les principales sources d'émissions des gaz à effet de serre. Dès lors, un défi d'une telle ampleur ne peut se faire qu'à travers l'adoption d'une politique drastique d'économie d'énergie, surtout concernant le secteur résidentiel qui représente près de 40% de la demande mondiale.

Par conséquent, s'intéresser aux opportunités existantes à un niveau national afin de réduire la demande énergétique du secteur résidentiel se justifie. C'est dans cette optique que nous nous sommes demandés *comment répondre aux objectifs européens à l'horizon 2050*.

Dans un premier temps, nous avons tenté *d'établir les faiblesses inhérentes aux logements* vis-à-vis de leurs consommations d'énergies. La moyenne d'âge des bâtiments résidentiels s'est révélée être une caractéristique importante du pays. Nous nous sommes alors interrogés sur la relation entre la vétusté des bâtiments et leur consommation. Sachant que l'utilisation du chauffage dans la consommation des ménages compte pour 70% et que les technologies d'isolation des murs ont commencé à se développer après 1945. Nous en avons conclu que s'attaquer à l'ancienneté du parc résidentiel revenait à saisir l'opportunité de satisfaire les

¹ La Convention cadre des Nations unies pour le réchauffement climatique était adoptée en 1992, au Sommet de

² Par rapport au niveau d'émission de 1990

objectifs européens. C'est alors que nous avons envisagé les techniques de rénovation et de démolition pour une remise à niveau de celui-ci.

Dès lors, *étudier le contexte dans lequel s'inscrit la rénovation et la démolition dans la thématique de l'efficacité énergétique était opportun*. Cela nous a permis de développer les freins théoriques relatifs à leur adoption pour enfin réaliser une comparaison théorique des deux méthodes. Enfin, nous avons voulu démontrer de manière empirique cette fois, dans quelle mesure chacune des options permettra l'atteinte des objectifs au niveau national et plus précisément, au niveau régional. Notre question de recherche se présentait ainsi ; *laquelle des options entre la rénovation et la démolition/reconstruction des bâtiments ayant plus de 30 ans à l'heure actuelle pour 2050 satisferaient les objectifs européens*.

A nos yeux, cette problématique se justifie par les récents problèmes budgétaires rencontrés en Belgique, au niveau des incitants à la rénovation. En Wallonie par exemple, la popularité des primes et subsides relatifs à l'installation de panneaux photovoltaïques a épuisé le budget y étant consacré. Elles ont d'ailleurs été réformées afin de permettre des travaux de rénovations pour tous les ménages. Ces faits soulignent l'attention particulière accordée par l'Etat à notre problématique.

La méthodologie poursuivie dans les différents chapitres s'organise comme suit ; dans le **chapitre 1**, nous présenterons la vision générale et les objectifs de l'Europe visant à redessiner le modèle énergétique à long terme.

Dans le **chapitre 2**, nous démontrerons l'ancienneté des bâtiments résidentiels belges. Ce constat sera établi communément par l'industrialisation précoce, la périurbanisation³ ainsi que le retrait progressif de l'État dans la production de nouveaux logements. En outre, nous démontrerons également que la principale source de consommation en énergie du ménage est le chauffage (75%). En partant du postulat qu'un immeuble plus vieux aura profité de technologies moins efficaces en termes d'isolation, agir sur l'état physique du parc de logements semble donc pertinent afin de répondre aux objectifs.

Dans le **chapitre 3**, nous définirons l'efficacité énergétique inhérente au secteur des bâtiments et ses freins. Nous présenterons premièrement les cinq principes d'efficacité énergétique afin de les contextualiser à notre étude. Ensuite, nous nous intéresserons la théorie concernant les investissements en efficacité énergétique des bâtiments résidentiels. En outre, un paradoxe

³ Fait de la migration des travailleurs en banlieue résidentielle

semble avoir été confirmé par différents auteurs. En effet, malgré des bénéfices équivalents, sinon supérieurs à d'autres alternatives, ceux-ci ne sont toujours pas adoptés par les ménages.

Dans le **chapitre 4**, nous comparerons d'une manière théorique les deux méthodes : la rénovation et la démolition/reconstruction. Nous discuterons pour chacune, des bâtiments à cibler et des avantages aussi bien financiers, énergétiques et environnementaux qui les accompagnent.

Dans le **chapitre 5**, nous tenterons de déterminer d'une manière empirique laquelle des options entre rénovation et démolition permettra d'atteindre les objectifs de réduction de GES. Pour ce faire, nous créerons un outil basé sur une modélisation des consommations énergétiques des maisons wallonnes, en fonction de leurs années de construction. L'outil permettra l'étude de trois scénarios jusque 2050, visant à comparer les deux alternatives. Le scénario « **Statu quo** », servira de repère pour comparer la rénovation et la démolition par rapport à la situation où aucune action physique n'est menée sur le parc. Le scénario « **Rénovation** » et enfin, le scénario « **Démolition** », dans lesquels nous modéliserons l'évolution physique du parc jusque 2050 pour ensuite projeter l'évolution de la consommation et des émissions de GES.

Ceci-étant, un exercice de projection sur un horizon temporel aussi long demande des sacrifices afin d'être réalisé à notre échelle. La thématique, large, ne permet pas une prise en compte de tous les facteurs essentiels à l'estimation des émissions des GES. Ainsi, la projection des sources d'énergies utilisées pour le chauffage des ménages jusqu'à 2050 reflète une dimension en partie subjective. Pourtant ces faits impacteront la réponse que nous donnerons à notre problématique. En outre, afin de répondre à notre question de recherche, nous avons calibré notre modèle aux émissions réellement observées en 1990. La conséquence en est une interprétation faussée des années 1990 à 2010. C'est donc avec modestie que nous présenterons notre modèle empirique en espérant interpréter les résultats avec le plus de discernement afin d'alimenter la discussion dans la direction idoine.

PARTIE I : LE SECTEUR RÉSIDENTIEL ET L'ÉNERGIE

Nous exposerons dans cette première partie, l'état des lieux du secteur résidentiel belge. Cela permettra de poser un cadre commun autour de sa consommation énergétique et des objectifs climatiques de l'Union Européenne (UE). A ces fins, nous décrirons le parc de bâtiments résidentiels pour en aborder la consommation. Nous en dégagerons les faiblesses afin d'en apprécier les opportunités quant à la réduction de 80 à 90%⁴ de ses émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) pour 2050. Mais avant de traiter de ces sujets, revenons d'abord sur l'objectif relatif au climat de l'Europe en général et de la Belgique en particulier.

Chapitre 1 : L'Europe, la Belgique et le climat

Dans ce chapitre, nous décrirons la vision à long terme de l'UE sur la thématique du climat. Nous présenterons les documents ayant inspirés les premières réflexions faisant suite aux directions prises. Ensuite, de façon à se contextualiser à un horizon temporel important, nous discuterons brièvement des innovations du système énergétique. Enfin, nous décrirons comment ces objectifs s'articulent à un niveau national pour finir avec une brève description des potentialités qu'offre le secteur résidentiel quant à des mesures d'économie d'énergie.

Section I : Cadre européen sur l'efficacité énergétique

L'UE s'est fixé comme objectif la réduction de façon sensible des émissions de GES de façon à restreindre l'augmentation de la température terrestre à 2°C pour 2100. Cette volonté se traduit⁵ par un objectif de réduction des émissions polluantes d'ici à 2050 de plus de 80% à 90% par rapport à leur niveau en 1990. Ce résultat ne peut être atteint qu'à travers l'adoption d'une politique drastique d'économie d'énergie ainsi qu'avec le changement de système énergétique, de l'énergie fossile qui ne tardera pas à s'épuiser, à l'énergie renouvelable.

La Commission Européenne (CE) a présenté dans le paquet « énergie - climat » en 2014 ses objectifs pour l'horizon 2030. Les propositions sont une réduction de 40% des émissions de

⁴ Par rapport aux niveaux des émissions en 1990

⁵ Les scientifiques déterminent qu'une réduction des émissions mondiales de GES de 50 % à l'horizon 2050 peut éviter une augmentation des températures de 2° C pour 2100. (UE, COM 2011)

GES par rapport au niveau d'émissions de 1990, ainsi que l'atteinte d'un minimum de 27% d'énergie renouvelable dans la part de la demande finale européenne (UE, 2014)⁶.

Afin d'accompagner les pays de l'union dans une transition de longue haleine, la commission a publié le 15 décembre 2011 sa « Feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050 ». L'objectif de celle-ci concerne une réduction de 80 à 95% des émissions de GES, avec une proposition de paliers intermédiaires de 25% en 2020, 40% en 2030 et 60% en 2040, par rapport au niveau de 1990 toujours. Ajoutons que la contribution évalue également les défis et les opportunités qui se présentent à l'Europe pour y arriver (UE, 2011).

Plus récemment, c'est le paquet « Union de l'énergie » qui a été publié le 25 février 2015 à Bruxelles. L'adoption du paquet contribue à la volonté de la Commission à « offrir une énergie abordable, sûre et durable à l'Europe et ses citoyens » (UE, 2015).

Sachant que la consommation d'énergie du secteur résidentiel est estimée à 40% de la consommation globale européenne (BPIE, 2011) ; le Conseil et le Parlement européen ont adopté la directive sur la performance énergétique et le climat intérieur des bâtiments en 2002⁷, en vue d'évaluer leurs performances énergétiques (UE, 2002). Celle-ci a été remplacée en 2010 par la directive concernant la performance énergétique des bâtiments (UE, 2010) qui vise à renforcer et élargir la précédente. En outre, nous y sommes informés quant aux dispositions visant à « couvrir les besoins en énergie pour le chauffage des locaux, la production d'eau chaude, le refroidissement, la ventilation et l'éclairage des bâtiments neufs et existants, qu'ils soient résidentiels et non résidentiels » (UE, 2010). Pour y arriver, la directive propose une méthode de calcul des performances énergétiques des bâtiments harmonisée, une fixation des exigences minimales (pour les bâtiments neufs ainsi que pour ceux existants), des objectifs de performance énergétique des bâtiments quasi nulle à partir de 2020 (réglementation « Nzeb⁸ »), et les Certificats de Performance Energétique (CPEB), (UE, 2010).

À travers ces textes, nous remarquons l'importance qu'accorde l'UE, non seulement à la lutte contre le carbone, mais également au secteur résidentiel du vieux continent.

⁶ Communiqué de presse. *Objectifs pour 2030 en matière de climat et d'énergie en faveur d'une économie de l'UE compétitive, sûre et à faibles émissions de carbone*. Bruxelles, le 23 octobre 2014, Consulté sur : http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/fr/ec/145364.pdf

⁷ A la suite du protocole de Kyoto (1997)

⁸ Nzeb pour Nearly zero energy buildings. Se réfère à la directive PEB, concernant la norme des nouvelles constructions établies à partir de 2020. La norme est une consommation quasi nulle de 15kWh/m²/an

§1 : Innovation dans le système énergétique

S'intéresser à des objectifs sur un horizon de temps aussi long mérite de porter une attention aux perspectives visant les politiques de transition durable qu'amorce l'UE.

De ce point de vue, la transition pour un système énergétique durable se définit comme étant un processus complexe défini par la création et la diffusion de technologies nouvelles (Cabaret, Picard, 2015, pp. 33-69). Plusieurs cadres sont envisageables afin d'analyser de tels processus ayant pour source la théorie de l'innovation (Markard, Truffer, 2008, pp. 596-615). Cette dernière représente, d'une manière générale, des auteurs issus de domaines assez hétérogènes et ayant pour similitude d'avoir toujours pris en considération la question de l'évolution et de la transformation des sociétés ainsi que de leurs institutions économiques dans leur travaux. (Cabaret, Picard, 2015, pp. 33-69).

Afin d'analyser les mécanismes à l'œuvre au niveau de la politique européenne de l'énergie au cours de la dernière décennie, il faut donc adopter une approche en termes de « Systèmes Technologiques d'Innovation » en considérant aussi bien leur dimension structurelle que fonctionnelle (Bergek, Carlson, Jacobsson, Lindmark, Rickne, 2008, pp. 407-429 ; Hekkert, Harmsen, Heimeriks, Negro, 2011). En bref, la politique énergétique européenne se dessine autour des « Smart Grids » (SG). Ce concept ayant vu le jour en 2005 vise à gérer de façon optimale la consommation et la production électrique, à améliorer l'efficacité énergétique et intégrer des sources d'énergies renouvelables dans les réseaux existants (Battaglini, Lilliestam, Haas, Patt, 2009). Afin d'y parvenir, cet ensemble de solutions se destine à remodeler le réseau électrique européen en apportant une réponse aux challenges actuels en y intégrant notamment les opportunités relatives aux technologies arrivantes (UE, 2006).

Les technologies SG permettent d'adresser deux fonctions sociétales principales : d'une part une consommation d'énergie propre, avec un réseau de distribution d'électricité connecté à des sites de production décentralisés, produisant à partir d'énergie renouvelables, d'autre part une efficacité énergétique grâce à une consommation raisonnée et maîtrisée avec notamment le déploiement de système d'information interactif⁹(UE, 2011).

⁹ Par exemple les compteurs intelligents, qui permettent aux ménages de maîtriser la consommation et donc modifier leurs comportements. Ce sont les premiers pas pour une efficacité énergétique

Section II : Les objectifs de la Belgique

Avec la structuration fédérale particulière à notre pays, l'instauration de politiques environnementales est compliquée. En effet, de par le caractère multidisciplinaire de la thématique, elle dépasse la notion d'environnement au sens strict. Celle-ci s'applique notamment à travers la gestion de l'énergie, de la fiscalité, des transports ou encore de la structuration du territoire. Avec différentes autorités en étant responsables, une coordination complexe est nécessaire (Climat.be, 2015)¹⁰.

Concernant les objectifs de réduction de GES belges, c'est le niveau fédéral qui en est chargé. Ces objectifs découlent des engagements internationaux comme la ratification du protocole de Kyoto, et européens notamment avec l'adoption du paquet « climat, énergie » (Climat.be, 2015)¹¹.

À long terme, l'objectif de la Belgique quant aux politiques climatiques s'accorde avec la vision stratégique de développement durable de l'UE. La Belgique s'aligne donc aux objectifs de l'Europe pour l'horizon 2050 qui est l'adoption de « stratégies de développement bas carbone »¹² afin de réduire l'émission de GES d'au moins 80 à 95% pour 2050 par rapport à leur niveau en 1990.

En outre, au niveau national toujours l'objectif à court terme est d'évoluer vers des bâtiments presque zéro énergie se référant à la Directive PEB¹³ (UE, 2010) et se traduisant par la publication de plan d'action au niveau régional comme « Le plan d'action Nzeb » pour la Wallonie. Selon ces déclarations, les constructions résidentielles¹⁴ entreprises à partir de 2020 devront enregistrer une consommation presque nulle. Le gouvernement fédéral veut enclencher sa transition vers de nouveaux modes de production et de consommation, afin d'y parvenir, il faudra compter sur des actions à un niveau régional. Cependant, est ce que s'attarder sur les nouvelles constructions uniquement s'avèrera suffisant quant aux objectifs de réduction ?

¹⁰ « Climat.be » est le site fédéral belge pour une information fiable sur les changements climatiques. Disponible en ligne ; <http://www.climat.be/fr-be/politiques/politique-belge/politique-nationale/competences>

¹¹ Ibidem.

¹² Objectif LCDS pour « Low Carbon Development Stratégies »

¹³ La norme demande une consommation de 15kWh/m²/an, critère pour l'appellation passive d'une maison. Ce sont les entreprises de conseil PEB qui réalisent les calculs afin de délivrer un certificat PEB (le CPEB)

¹⁴ Les bâtiments publics devront satisfaire la norme pour 2018

Section III : Les potentialités du secteur résidentiel

L'objectif est une réduction des émissions de GES des bâtiments de 87 à 100 % en 2050 (par rapport à 1990 toujours).

Le secteur résidentiel¹⁵ dispose de fortes potentialités dans la lutte contre l'émission de GES. Pour s'y atteler, ce dernier est incité, outre à adopter une consommation d'énergie renouvelable, mais également opter pour les technologies adéquates comme nous l'avons souligné dans la volonté de l'UE. Également, des travaux doivent être envisagés. L'amélioration de l'isolation pour un chauffage optimal et moins gourmand¹⁶.

Porter une attention particulière à l'adaptabilité des investissements présents et à venir, et surtout les accompagner d'un changement de mode de consommation qui est tout aussi essentiel que l'innovation technologique en elle-même (Cabaret et al., 2015). Les standards doivent être appliqués aux nouvelles constructions, cependant se concentrer uniquement sur celles-ci pourrait ne pas s'avérer suffisant vis-à-vis des objectifs. Il est nécessaire de combiner les efforts appliqués sur les nouvelles constructions à une attention particulière au renouvellement du parc immobilier existant. Le potentiel d'économie du secteur résidentiel (UE, 2010).

- Les intérêts du secteur résidentiel :
 - Garantir la sécurité dans l'approvisionnement énergétique ;
 - Réduire les coûts énergétiques pour l'utilisateur final ;
 - Contribuer à une réhabilitation durable des infrastructures ;
 - Création d'emplois,
 - Amorcer une transition des modes de production et de distribution d'énergie.
- Durant sa vie, le bâtiment est responsable en Europe de :
 - 50% du total des ressources naturelles exploitées ;
 - 40% des déchets produits ;
 - 42% des consommations d'énergie ;
 - 30% des émissions de CO₂,
 - 16% des consommations d'eau.

¹⁵ Rappelons que ce dernier n'est pas régi par le système d'échange de droits d'émissions (non - ETS). ETS pour "Emission Trading Scheme". Voir le site de référence au niveau fédéral pour plus d'informations : www.Climat.be

¹⁶ C'est sur cet axe que la suite de notre travail sera dirigée.

Chapitre 2 : Consommation et émissions des résidences

Dans ce chapitre, nous décrirons premièrement l'état général du parc de bâtiments résidentiels belges. Nous mettrons en évidence le caractère de l'ancienneté et étudierons donc la structure d'âge des bâtiments. La seconde section consistera à définir et introduire à la consommation d'énergie des bâtiments, des ménages et des émissions de GES qui leur sont associées. Dans la dernière section, un lien sera établi entre l'âge et la consommation énergétique de la maison à travers l'isolation. Aborder ces différents aspects nous permettra de définir un axe de recherche pour la suite du travail.

Section I : La création de logement en Belgique

Cette section nous servira à apporter une vue généralisée de l'évolution de la création de logements en Belgique. Nous mettrons en évidence le caractère de l'ancienneté et étudierons donc la structure d'âge des bâtiments résidentiels. Pour déterminer les causes de ce constat, il nous faudra avant tout s'intéresser à l'histoire de la construction, et plus précisément à l'implication de l'Etat dans cette dernière.

§1 : L'État et la construction

La mutation territoriale des espaces résidentiels a commencé dans les années 1970, suite à la crise provoquée par le choc pétrolier. L'Etat a encouragé la décentralisation urbaine lors de la période d'industrialisation. C'est au début du 19^{ème} siècle que naît le mouvement de périurbanisation¹⁷. Celle-ci est caractérisée comme étant forte et éclatée par rapport aux autres pays européens (Halleux, Brück, Mairy, 2002, pp. 333-354).

En effet, l'Etat a financé une grande part des travaux de construction dans les années 1950 en ayant pour objectif de relancer l'industrie de la construction (Dessouroux, Romainville, 2011). La participation financière s'est faite à travers divers aides, primes, garanties, aides fiscales et subventions érigées par la loi dite de Taeye¹⁸. Ce qui a permis le développement de nouvelles filières de production, comme la construction individuelle qui constitue une caractéristique spécifique de la Belgique. Aujourd'hui, c'est la maison individuelle qui représente 75% du parc résidentiel du pays (Halleux, 2005, pp. 161-174).

¹⁷ Se caractérise par la déconcentration urbaine des résidences, évoque l'apparition et de la popularité de la banlieue résidentielle. Fait de la migration des travailleurs en banlieue résidentielle

¹⁸ Le 29 mai 1948

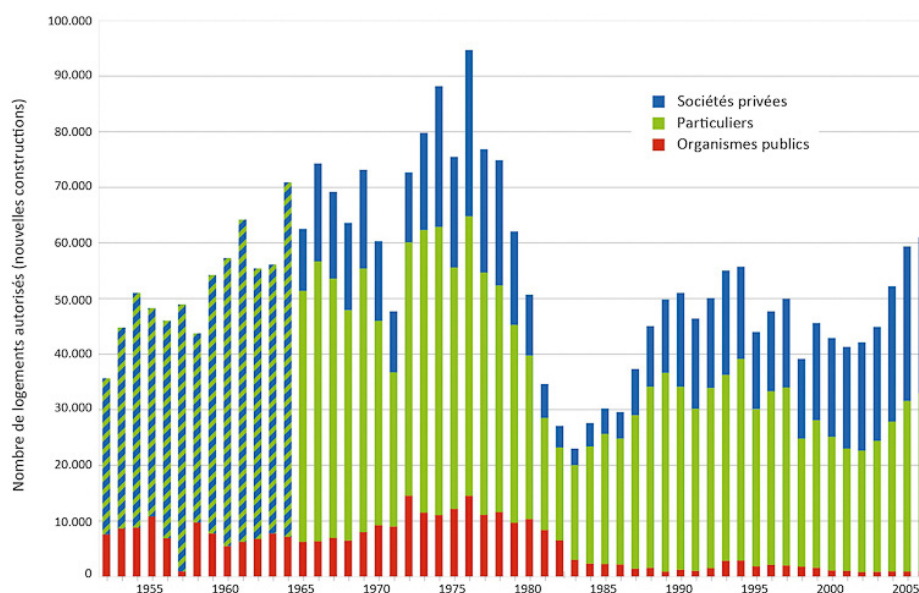


Figure 1 : Evolution du nombre de logements neufs dans les bâtiments résidentiels par filière de production
(Source : DGSIE., Dessouroux et al., 2011)

Sur la figure ci-dessus, nous constatons les conséquences de la crise de 1970 avec la diminution des investissements immobiliers en passant de 90 000 nouvelles constructions en 1975 pour finir à 25 000 en 1985 (Figure 1). Ensemble, les acteurs publics et privés diminuent leurs investissements et font chuter le volume de nouvelles constructions. Dans les années 1990, l'Etat s'est tourné vers le renouvellement du parc existant et ce, au détriment de la production de nouvelles résidences. Dans les quartiers les plus anciens, le processus de transformation des bâtiments existant va jouer un rôle moteur. (Dessouroux et al., 2011). C'est donc à travers les mouvements des populations lors de la périurbanisation que s'explique l'ancienneté de certains quartiers urbains.

Par la suite, l'acteur public s'est progressivement retiré de la construction. La part de logements produits par celui-ci passait de 20% en 1972 pour arriver à 1,5% en 2006 (Dessouroux et al., 2011). A l'inverse, les entreprises privées prennent une place importante sur le marché de la construction. (Louvot, 2001, pp. 29-50).

Nous avons décrit ici les effets du retrait progressif de l'acteur public dans la création de logements. Les conséquences sont une diminution considérable du nombre de nouveaux bâtiments résidentiels construits chaque année malgré une demande croissante dictée par l'évolution démographique du pays (Gouv. Wallon 1999 ; De Decker, 2001, pp. 17-39).

Ces faits soulignent l'importance de l'Etat pour le secteur. Les propositions de réponses que nous voulons apporter pourraient donc être acquises comme un travail de conseil à apporter à ce dernier, qui peut toutefois redevenir un acteur indirect de la construction en promouvant la démolition et construction des maisons les plus anciennes.

§2 : Le parc de bâtiments résidentiels et l'ancienneté

	# en 2004	Part en 2004	# en 2014	Part en 2014	Evolution 2004-2014
Flandre	2 069 182	60,08%	2 209 107	60,12%	6,9%
Bruxelles	157 177	4.56%	161 771	4,4%	2,9%
Wallonie	1 217 751	35.36%	1 303 369	35,48%	7%
Belgique	3 444 110	100%	3 674 247	100%	6,7%

Tableau 1 : Evolution du nombre de maisons résidentielles¹⁹ (2004-2014) en Belgique
(Source : ACED, DGSIE)

La Direction Générale Statistique et Information Economique (DGSIE) fournit les chiffres pour 2014. Sur une base cadastrale, le nombre total de bâtiments résidentiels en Belgique revient à 3 674 247. Nous comptabilisons cette année 2 209 107 logements en Flandre. 1 303 369 en Wallonie et 161 771 en région bruxelloise. Le parc de bâtiments résidentiels croît de 6,7% en moyenne entre 2004 et 2014 avec la plus grande croissance enregistrée pour la Wallonie (Tableau 1) (DGSIE, 2014).

Suivant la figure ci-après, nous pouvons constater que la Belgique dispose de plus de résidences anciennes que de nouvelles constructions. A titre indicatif, près de 75% des résidences du parc immobilier belge datent d'avant 1970. 1/3 du parc date d'avant 1945. 17% ont entre 70 et 95 ans contre une moyenne de 11,5% pour le reste de l'Europe (ESE²⁰, Vanneste, Thomas, Goosens, 2001, pp. 10 ss.).

Pour la Wallonie (figure ci-après), la situation est davantage alarmante. Retenons que plus de 50 % des logements ont été construit avant la seconde guerre mondiale. 86,6 % de ces derniers datent d'avant la première réglementation thermique (1985) (CPDT, 2011). Les explications à ces constats sont le développement des constructions durant la période d'industrialisation et les mutations engendrées par les mouvements de périurbanisation (CPDT, 2011). Rajoutons qu'à l'échelle de la Région, il y a eu peu d'actions de démolition/reconstruction (CPDT, 2011).

¹⁹ Les bâtiments résidentiels reprennent : les maisons 4 façades, les maisons 3 façades, les maisons 2 façades ainsi que les immeubles à appartements

²⁰ ESE pour Enquête Socio-Economique

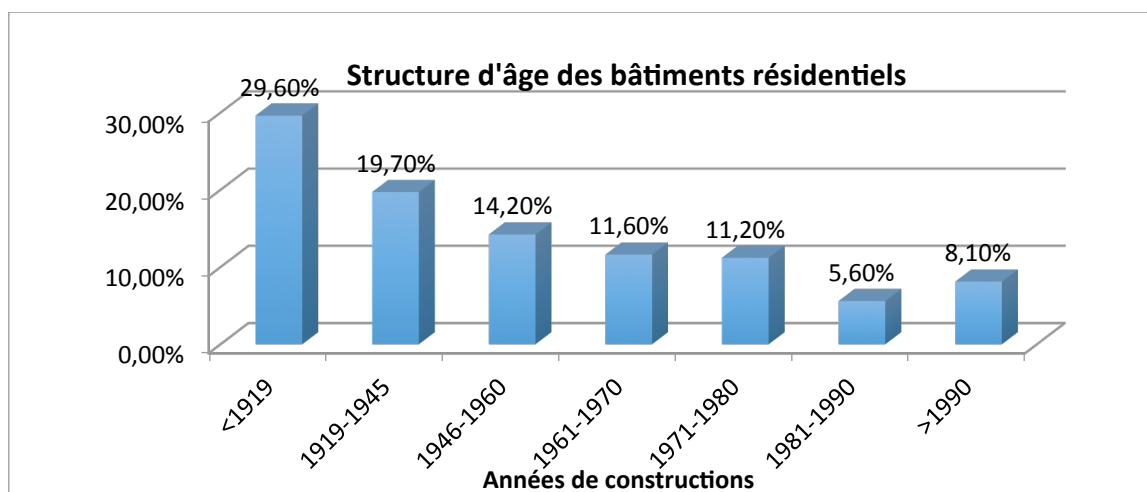


Figure 2 : Répartition des logements wallons en fonction de leur époque (2001)
(Source : De Herde, 2011 ; DGSIE)

En 2050, ces dernières auront plus de 65 ans. Ce qui est conséquent compte tenu d'un cycle de vie moyen compris entre 60 et 90 ans pour une maison (citée par Dubois, Allacker, Debacker, De Troyer, Janssen, Putzeys, Geerken, 2010). Cela souligne l'importance d'une attention à porter concernant la remise à niveau du parc pour, à la fois satisfaire les objectifs européens, mais aussi s'attaquer dès aujourd'hui à une faiblesse du parc, qui nécessitera tôt ou tard une intervention.

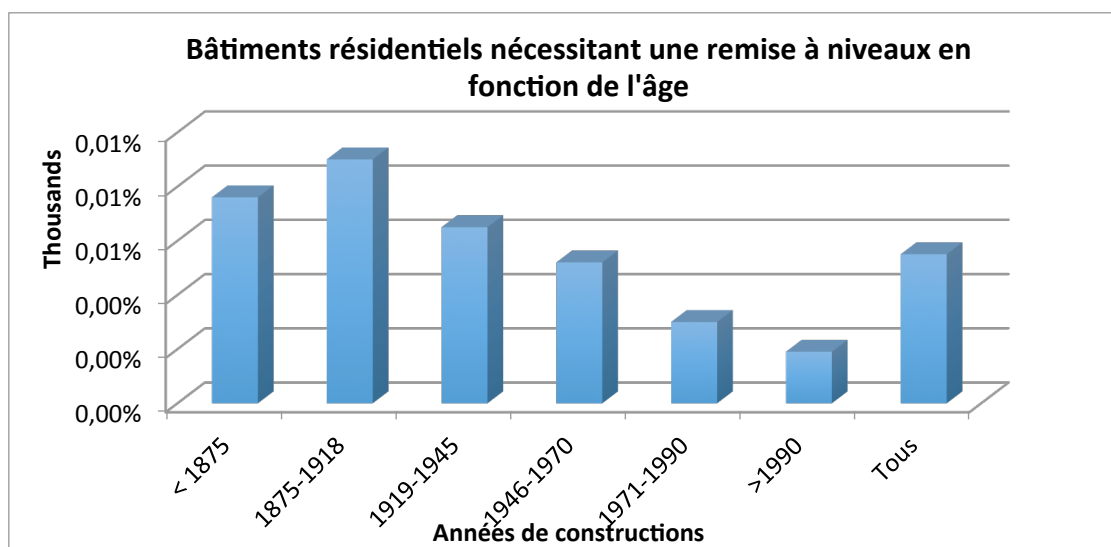


Figure 3 : Bâtiments résidentiels wallons nécessitant une remise à niveau en fonction de l'âge
(Source : Kints, 2008 ; Enquête quali., MRW²¹, 2007)

²¹ MRW pour Ministère de la Région Wallonne

Sur la figure ci-dessus, sont représentés les bâtiments nécessitant des travaux en fonction de leur âge. Nous pouvons apprécier la tendance générale, semblable à celle du tableau de l'ancienneté des maisons (Tableau 1).

Nous retiendrons pour le développement suivant. Avec le retrait progressif de l'acteur public dans la construction pendant la crise de 1970. Nous remarquons une baisse générale dans le secteur. Cela démontre l'importance de ce dernier pour la construction et explique la vétusté des bâtiments. Dans la section suivante, nous définirons les bases nécessaires à la compréhension de la consommation énergétique des bâtiments afin d'en relever les facteurs et plus particulièrement concernant l'effet de l'ancienneté du parc sur sa consommation.

Section II : La consommation et les émissions associées

La section précédente a exposé l'état du parc résidentiel. Nous en tirons une conclusion de la vieillesse des bâtiments. Il reste désormais à quantifier la consommation d'énergie du parc immobilier et les émissions qui en découlent. Pour cela, nous décrirons les principales évolutions relatives à la demande énergétique du secteur et définirons comment celle-ci influe sur les GES. Enfin, nous passerons en revue les différents critères liés à la forte consommation des maisons pour s'attarder à l'impact de la vétusté.

§1 : De la production à la consommation d'énergie

L'énergie primaire correspond à une forme d'énergie directement disponible dans la nature, représentée par des produits énergétiques bruts. Nous retrouvons le charbon, le pétrole, le gaz naturel, le bois, le vent, le rayonnement solaire, l'énergie hydraulique, géothermique. Pour la consommation d'électricité, nous considérons comme électricité primaire celle produite par les centrales thermiques classiques utilisant la fission (centrales nucléaires), les énergies fossiles (le gaz et le pétrole principalement) et géothermique (énergie de la terre) (Wikipédia, 2015).

La consommation en énergie primaire est ainsi définie par :

$$E_{\text{primaire}} = f_p \cdot Q_{\text{finale}}$$

Avec Q_{finale} = consommation finale en énergie ;

Avec f_p le facteur de conversion en énergie finale ;

- 1 kWh de gaz naturel ou de mazout final équivaut à 1 kWh d'énergie primaire

- 1 kWh d'électricité finale équivaut à 2.5 kWh d'énergie primaire²²

La consommation finale représente quant à elle la consommation brute d'énergie. C'est donc l'énergie consommée par l'ensemble des utilisateurs finaux en y incluant les pertes sur le réseau et dans la production (rendement des installations) (Energie+²³, DGO4)²⁴. Elle représente donc, pour une maison, la consommation énergétique globale pour le chauffage, le refroidissement ainsi que la consommation en électricité qui sera facturée à l'utilisateur dans un ménage.

L'utilisation d'1 kWh d'électricité finale nécessite plus d'énergie que l'utilisation d'1 kWh de gaz naturel. En effet, la production d'électricité entraîne des pertes lors de la production et de la transformation des sources d'énergies premières. Le facteur élevé²⁵ traduit donc le fait qu'1 kWh électrique utilisé aie nécessité 2,5 kWh de combustible pour sa transformation²⁶ (Energie+, DGO4).

L'unité utilisée pour quantifier l'énergie finale est la tonne d'équivalent pétrole (tep)²⁷ et est mesurée en Joules. Cette unité mesure l'énergie dégagée par la combustion d'1 tonne de pétrole moyen, soit 42 Giga Joules (GJ). Le kilowatt-heure (kWh) est une autre unité de mesure représentant l'énergie consommée par un appareil de 1 000 watts (1 kW) de puissance pendant une durée d'une. Elle vaut 3,6 mégajoules (MJ) (Wikipédia, 2015). En effet, l'énergie est définie comme étant le rapport de la puissance par le temps ($E=P/T$). Elle est souvent utilisée pour mesurer l'énergie électrique mais la définition de cette unité s'applique à toutes les énergies. Nous utiliserons cette dernière pour représenter la consommation énergétique des ménages puisque les sources d'énergies utilisées aux niveaux de la maison sont multiples comme nous le verrons ci-après. La conversion entre la Tep et TWh est fixé par :

- 1 TWh = 0,086 Mtep

§2 : La consommation finale du secteur résidentiel

D'après les données recensées par le Service Public Fédéral Economie (SPF Economie), la consommation d'énergie finale représente 494 TWh en 2010 et 487 TWh en 2012. Les

²² Conformément à la réglementation PEB, consulté sur : <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16927>

²³ Site internet : Portail de l'énergie en région Wallonne

²⁴ DGO4+ (DGOATLPE) pour Direction Générale Opérationnelle Aménagement du territoire, Logement, Patrimoine et Energie. (Remplace désormais la DGRNE et la DGRTE)

²⁵ Voir annexe 4, page A4.

²⁶ Cela traduit le mauvais rendement de la production d'électricité

²⁷ La tep (tonnes équivalent pétrole) mesure l'énergie dégagée par une tonne de pétrole moyen, soit 42 GJ, le mégawattheure (MWh) mesure quant à lui l'énergie fournie par une source d'énergie d'1MWh pendant 1 heure, soit 3,6 GJ. Par calcul, cela donne 1 TWh +/- 0,086 Mtep

secteurs sont catégorisés en suivant la base NACE (Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne), système reposant sur la classification des activités économiques (SPF Économie, 2010 et 2012). Celle-ci offre une vue détaillée des différents secteurs. Cependant, afin de pouvoir étudier plus précisément le secteur « domestique et équivalent » qui englobe les logements, le tertiaire et l'agriculture, il vaudra mieux se référer au niveau régional où des données plus précises sont récoltées afin d'étudier les consommations du logement.

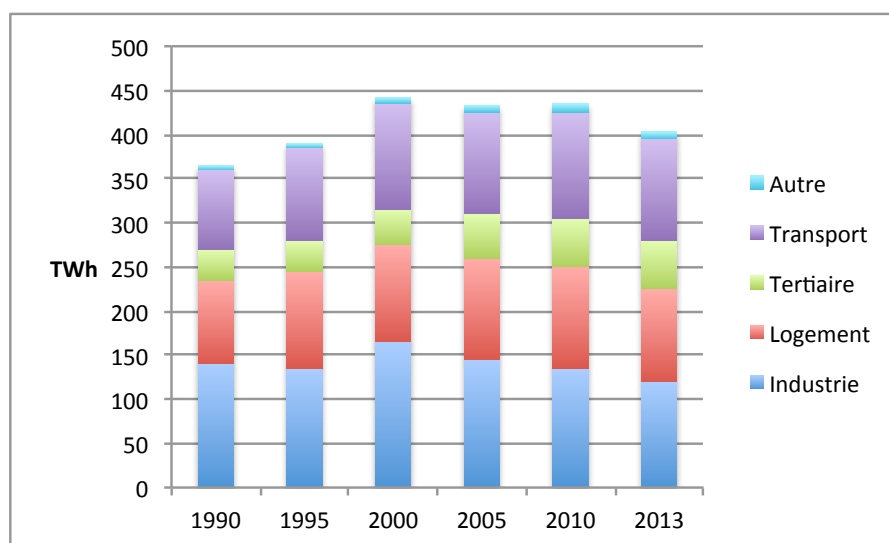


Figure 4 : Evolution de la consommation finale belge par secteur en TWh (1990 – 2013)
(Source : APERe²⁸)

La figure ci-avant offre un aperçu de l'évolution des consommations finales par secteur entre de 1990 à 2013 en Belgique. En 2013, celle-ci s'élevait à près de 405 TWh. Elle est répartie par principaux secteurs d'activités: L'industrie pour 30%, transport pour 28%, le logement pour 26%, le tertiaire avec 14% et le secteur autre, reprenant entre autre l'agriculture avec moins de 2%. On remarque l'importance du secteur résidentiel même si la part de l'industrie est prédominante sur la dizaine d'année.

Au niveau régional, les données de l'Institut du Conseil et d'Etudes en Développement Durable (ICEDD), la Wallonie enregistre une consommation de 34,18 TWh pour le logement, uniquement en 2010. En 1990, celle-ci était de 32,27 TWh. Cela revient à une augmentation de 5,9% sur une période de 20 ans pour la région (IWEPS).

²⁸ APERe (Association pour la Promotion des Énergies Renouvelables) est une ASBL menant des actions de conseils et d'éducation quant aux énergies renouvelables principalement.

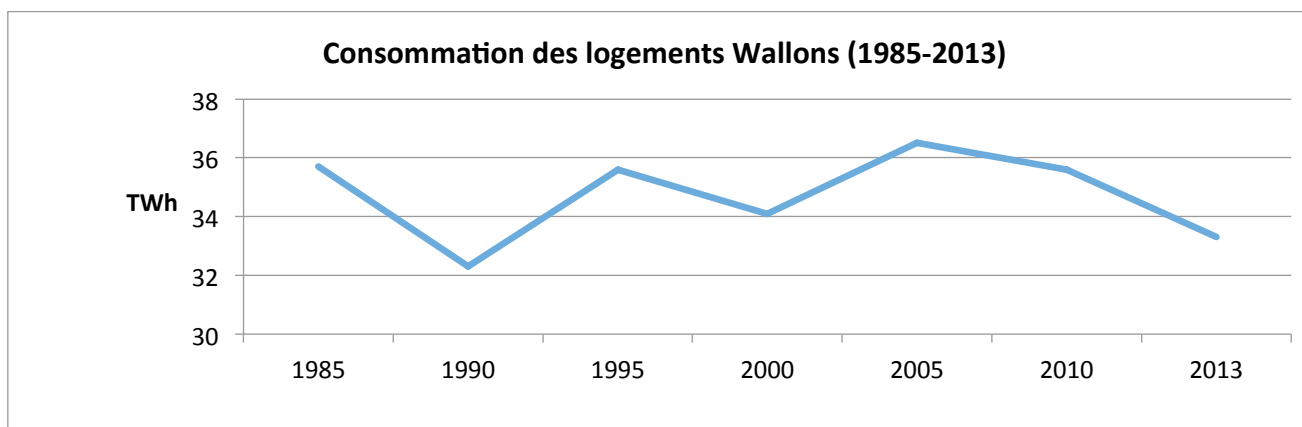


Figure 5 : Évolution de la consommation du logement en Wallonie entre 1985 et 2013
(Source : ICEDD – IWEPS)

Même si la consommation du secteur est assez volatile depuis les années 1990, elle connaît une certaine stabilité et même une diminution depuis les années 2005. Cette baisse est due non seulement à l'amélioration qualitative du bâtiment mais également à une diminution de la taille des ménages ainsi qu'à une typologie des bâtiments bien différente avec notamment l'augmentation du nombre d'appartements. Cependant, il ne faut pas oublier les hausses de prix des combustibles qui ont eu pour conséquence une modification dans la manière de consommer des ménages (Boulangier, Bréchet, Henry, Marenne, Venderstraeten, Meesen, Vermeulen, 2015, pp. 85 ss.).

§3 : La consommation énergétique des ménages

Nous allons à présent nous intéresser à la consommation énergétique finale d'une maison en particulier. Celle-ci se caractérise par l'utilisation par les ménages de différents combustibles nécessaire au confort de la maison. La figure ci-après nous démontre la répartition de la consommation d'énergie d'un ménage, une consommation répartie entre chauffage, eau chaude et sanitaires, électro-ménagers et cuisson. Les bilans énergétiques démontrent l'importance du chauffage dans la consommation du ménage (75%).

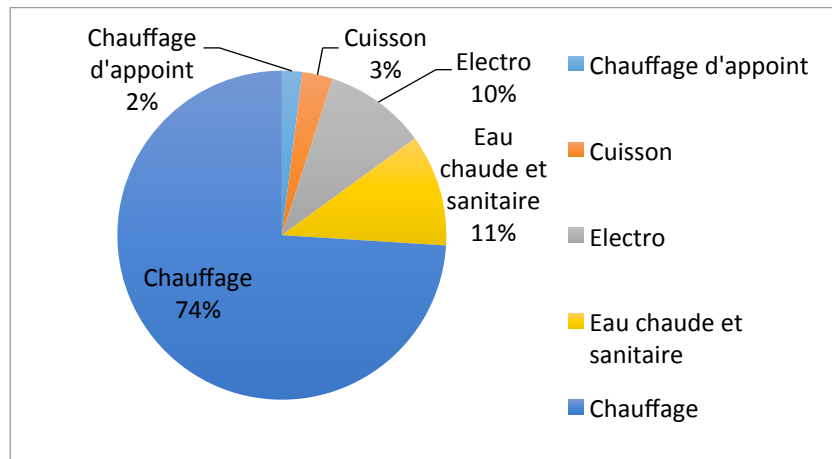


Figure 6 : Consommation par usage des logements wallons en (%) en 2005
(Source : Kints, 2008 ; ICEDD)

La principale source de consommation du ménage est donc reflétée dans sa consommation nécessaire en chauffage (figure 6). Celle-ci se justifie pour satisfaire le confort intérieur des maisons. Nous pouvons dès lors nous intéresser à l'isolation de ces dernières qui, intuitivement se révèle être un facteur important de la consommation de chauffage.

Sur la figure suivante, nous constatons que le mazout et le gaz sont les principales sources d'énergies utilisées pour le chauffage ménager (Kints, 2008). Le secteur résidentiel belge n'utilise le chauffage électrique que pour 2% des habitations (DGO4, 2001). En outre, nous avons souligné la prédominance du pétrole à plus de 40%, du gaz naturel à hauteur de 27,5% en consommation d'énergie primaire du pays. Nous remarquons qu'il en est de même au niveau du ménage.

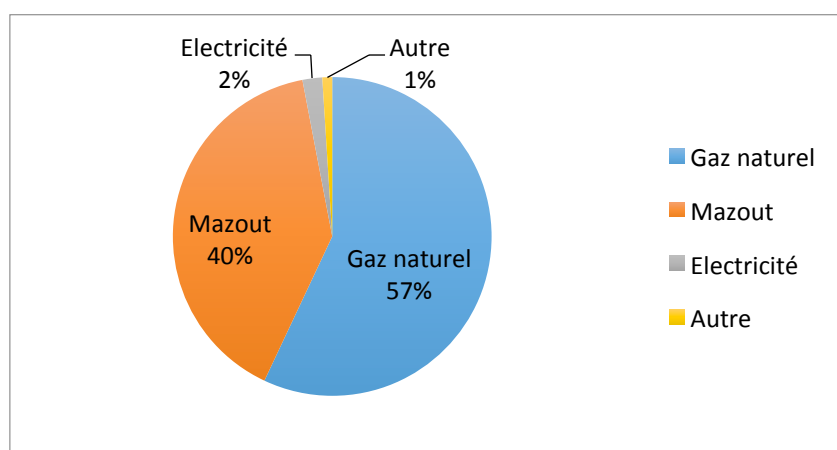


Figure 7 : Utilisation des différentes sources d'énergie en Belgique en (%) en 2005 pour le chauffage.
(Source : Kints, 2008)

Les descriptions établies jusqu'ici nous permettent donc de synthétiser les informations suivantes. L'énergie consommée par un ménage est qualifiée d'énergie finale. Ce concept ne

prend pas en compte les pertes liées à la production primaire de l'énergie. Nous avons souligné la différence relative entre l'énergie issue des combustibles fossiles et l'électrique, qui sont chacune utilisée par les ménages. En outre, nous avons mis en évidence la prédominance du chauffage dans la répartition par usage de la consommation du logement. Pour ce qui est du chauffage à proprement parler, c'est le mazout et le gaz naturel qui en sont les principales sources aujourd'hui. Cependant, adopter une vision de long terme et envisager le développement de technologies permettant une utilisation efficace du chauffage électrique est envisageable, d'autant plus que des innovations voient le jour quant à la conservation et le stockage de l'énergie électrique.

§4 : Les émissions de GES du secteur résidentiel

Les Gaz à Effet de Serre (GES) sont définis comme étant: « (...) *des composants gazeux qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et contribuant à l'effet de serre. (...) L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est l'un des facteurs d'impact à l'origine du récent réchauffement climatique (...)* » (Wikipédia, 2015).

Le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat) distingue une quarantaine de gaz différents. Afin de comptabiliser les émissions d'un combustible, on utilise le carbone (C) ou le dioxyde de carbone (CO₂) comme format pivot²⁹. C'est la raison pour laquelle nous parlerons de tonnes d'équivalent CO₂ pour quantifier les émissions. Le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄) sont les principaux (respectivement 86% et 13%)³⁰. Même s'ils sont présents dans l'atmosphère naturellement, ce sont les activités de l'homme qui en intensifient la concentration dans l'atmosphère. Nous considérerons le CO₂ comme principal gaz à effet de serre dans notre étude.

En 2010, le SPF Économie a fait état d'émissions de CO₂ de 111 millions de tonnes équivalent CO₂³¹. Elles sont donc en augmentation de 7% par rapport à 2009 ainsi que de 2,3% par rapport au niveau atteint en 1990. Cette augmentation s'explique par la hausse généralisée de la consommation de l'ensemble des combustibles fossiles (SPF Economie, 2010). A l'échelle mondiale, les émissions de CO₂ provenant des bâtiments se sont intensifiées à un taux annuel moyen de 1,8% sur la période 1971-2002 (IEA, 2006).

²⁹ Pour plus d'informations: <http://www.greenit.fr/article/energie/combien-de-co2-degage-un-1-kwh-electrique-925>

³⁰ Selon l'IWEPS

³¹ Sur base de la méthode dite de référence qui ne permet pas de détailler les émissions sectorielles

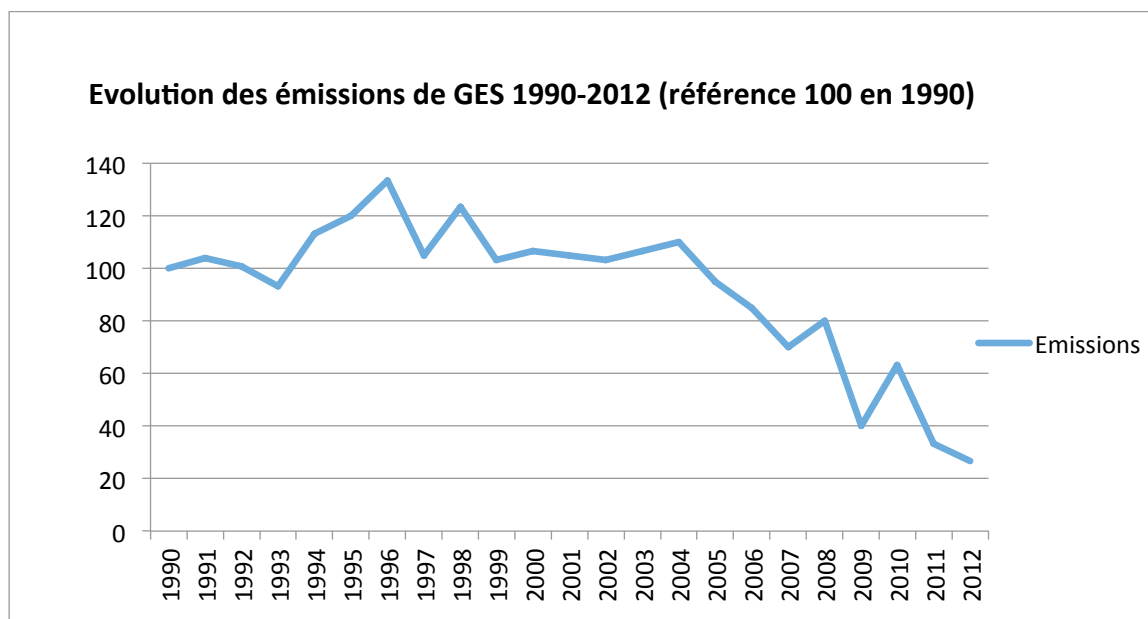


Figure 8 : Evolution des émissions de GES et CO₂ (1990-2012) (référence 100)
(Source : Climat.be)

Sur la figure ci-dessus, nous pouvons remarquer une baisse notable en 2008, attribuable à la crise économique de la même année. En outre, nous constatons que depuis les années 1997 à 2000, qui correspondent au lancement du protocole de Kyoto, les émissions ont relativement baissé.

En ce qui concerne les émissions de CO₂, les bâtiments sont responsables de 36% de celles-ci en Europe. Ces dernières sont assez dépendantes des combustibles utilisés (BPIE 2011). En effet, comme nous le verrons dans le point suivant, les émissions dégagées pour une consommation donnée sont calculées en fonction des différents combustibles utilisés. Ces derniers n'ont pas tous les mêmes facteurs d'émissions qui dépendent de leur teneur en carbone.

L'IWEPS (Institut Wallon de la Prospective et de la Statistique) indique l'émission de 47,8 millions de tonnes équivalente CO₂ pour l'année 2004 en Wallonie. Le secteur du logement correspond à 13% de cette quantité, soit un peu plus de 6 millions de tonnes équivalent CO₂. Pour 2004, les chiffres de la DGRTE³² (Direction Générale des Technologies de la Recherche et de l'Energie) sont de 51,8 millions de tonnes équivalentes CO₂ pour la Wallonie avec une part de 14% pour le logement.

³² DGRTE : Direction Générale des Technologies de la Recherche et de l'Energie. DGRNE : Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement. DGOATLPE (DGO4) : Direction Générale Opérationnelle de l'Aménagement du Territoire, du Logement, du Patrimoine et de l'Énergie (Remplace la DGRTE et la DGRNE)

Il apparaît que les émissions du secteur sont assez stables par rapport aux années 1990, et cela, malgré une augmentation considérable de la consommation. Cela est dû au transfert de combustible solide (-68%) vers le gaz naturel et le mazout, à l'amélioration technologique des chaudières et les innovations en matière d'isolation des bâtiments (Boulanger et al., 2015).

§5 : Quantifier les émissions de GES

Les émissions de CO₂ sont directement proportionnelles à la consommation des combustibles fossiles. Pour les principaux combustibles du ménage nous retenons les facteurs d'émissions :

Principaux combustibles pour le chauffage	Facteur d'émissions en Kg de CO ₂ /kWh
Gaz naturel	0,198
Mazout	0,264
Electricité	0,7
Electricité SER	0,055

Tableau 2 : Facteurs d'émission par combustible. (Source : DGO4, ADEME)

Pour ce qui est de l'électricité issue de Source d'Energie Renouvelable (SER), celle-ci n'émet pas de GES par leur utilisation. Cependant, leur fabrication a mené à des émissions à travers leur cycle de vie notamment via leur production. L'ADEME³³ (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) définit un facteur de 55 gr équivalent CO₂ par kWh sur base du cycle de vie de la technologie.

Section III : L'année de construction, un indicateur pour la consommation

Nous avons précédemment souligné la vétusté des bâtiments résidentiels belges, et en avons esquissé les causes. Nous avons également démontré la prédominance du chauffage dans la consommation énergétique des ménages (75%).

Le type, la taille, le confort, l'équipement, mais également l'ancienneté sont des facteurs à prendre en compte pour établir la consommation énergétique du secteur résidentiel. La consommation élevée d'énergie dépend entre autre de l'état du bâtiment, qui dépend souvent de son ancienneté. En effet, un immeuble plus vieux demandera davantage d'énergie pour le chauffage qu'un immeuble neuf, puisqu'il aura bénéficié de technologies moins efficaces au niveau de son isolation. La typologie des résidences et leur situation doivent également être

³³ L'ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, est l'opérateur de l'État Français pour accompagner la transition écologique et énergétique. Consulté en ligne : http://www3.ademe.fr/bretagne/actions_phares/energie_maitrise/bilan-carbone.asp ; <http://www.operationcarbonelycee.org/index.php?rubrique=postes&page=elec-1>

prises en compte dans la consommation nécessaire. Enfin, il y a le facteur humain, lié notamment à l'évolution démographique³⁴.

§1 : L'ancienneté du stock

Un immeuble plus ancien dont l'isolation présentera des lacunes nécessitera davantage d'énergie pour le chauffage. Comme le souligne l'étude réalisée par BPIE (Buildings Performance Institute of Europe) par la publication « *Europe's Buildings under the Microscope* » en 2011, l'ancienneté du stock est un facteur important lié au niveau élevé dans la consommation en énergie des bâtiments. En effet, une grande partie des bâtiments n'ont pas entamés de rénovation portant sur leurs consommations, cet aspect est déduit des taux de rénovations annuels européens qui sont relativement bas (1% d'après BPIE, 2011). Pourtant, la tendance à la rénovation a le vent en poupe en Belgique. Batibouw prévoit une croissance de 3,4% sur le secteur par rapport à 2014 (Le soir, *Batibouw 2015 ; la rénovation à l'honneur*, 2015).

Avec le temps, le toit peut faire entrer de l'air et nuit à l'efficacité de l'isolation thermique de cette partie. Il en est de même des murs, des châssis qui se ferment mal et qui de plus, ne sont pas aux normes³⁵. C'est donc l'enveloppe du bâtiment, qui permet d'isoler ce dernier aux variations des températures extérieure qui pose question. La vétusté du matériel et des technologies peut également être source de perte de rendement énergétique. La rénovation permettrait de contenir la chaleur et ainsi baisser significativement la consommation pour le chauffage qui représente 75%.

Ces vingt dernières années ont connues des évolutions considérables en matière d'isolation thermique. Notamment pour ce qui est de la composition des murs extérieurs.

Avant 1945, les murs étaient souvent constitués de matériaux massifs, épais³⁶. Ce n'est qu'après 1945 que l'on voit apparaître la généralisation des « murs creux ». A la suite des premières crises énergétiques, l'isolation du « creux » se généralise. Vient ensuite dans les années 1950/1960 le « mur creux de deuxième génération ». Dans ce type de mur, des barrières d'étanchéité étaient placées entre les parois extérieures et intérieures du mur creux de manière à empêcher la pénétration d'humidité vers l'intérieur. Le « mur creux de 3^{ème} génération » fait son apparition dans les années 70. Vient ensuite le mur creux isolé dans les

³⁴ Pour ces derniers facteurs de la consommation résidentielle, voir les faits remarquables et développés en annexe 6, page A6

³⁵ Normes qui dépendent des technologies disponibles. Exemple : le double ou triple vitrage.

³⁶ Voir illustration des différents types de murs : Annexe 5, page A5

années 80 et en 1985 les premières réglementations thermiques entrent en vigueur (Rénovation durable.eu, 2015)³⁷.

La figure suivante nous démontre l'état de l'isolation selon l'ancienneté des bâtis.

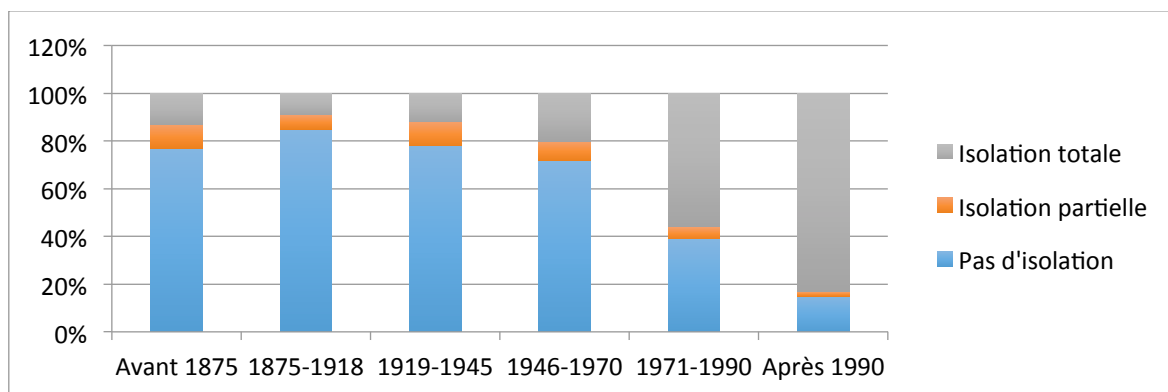


Figure 9 : % logements wallons ayant des murs isolés en fonction de leur époque de construction.
(Source ; Enquête-qualité (2007) ; DGTRE³⁸, 2008)

Nous pouvons remarquer une exception pour les logements les plus anciens. Ce qui s'explique par des rénovations de l'isolation et des châssis de ces derniers. Par contre, la post-isolation des murs restes rares (DGRTE, 2008). Nous pouvons, grâce à l'année de construction du bâtiment, associer un niveau d'isolation, une estimation de ses besoins en énergies pour le chauffage.

Période de construction	Consommation moyenne (kWh/m ² /an)
Avant 1945	407,8
De 1945 à 1970	343,7
De 1971 à 1985	328,5
De 1986 à 1996	203,8
Après 1996	172,3

Tableau 3 : Consommation moyenne d'une maison en fonction de son ancienneté.
(Source : CPDT, 2011)

³⁷ Voir annexe 5 page A5: illustration de l'évolution du mur

³⁸ Etude menée en collaboration avec la cellule architecture et climat de l'UCL. « La rénovation énergétique et durable des logements Wallons ». (DGTRE, 2008) : <http://energie.wallonie.be/fr/particuliers.html?IDC=8159>

PARTIE II : CADRE THÉORIQUE

Le secteur résidentiel constitue près de 40% de la consommation énergétique mondiale pour 25% des émissions de CO₂ (IEA, 2007). Une très grande part de cette consommation est attribuée au chauffage de la maison (75%), chauffage proprement dit et eau chaude demandée pour le confort. Mais bien que cette consommation soit nécessaire, elle n'est pas toujours légitime. En effet, elle peut être réduite en investissant dans des transformations structurelles mais aussi fonctionnelles afin d'en réduire l'intensité. La littérature entretient la théorie sur les freins de ces investissements que nous passerons en revue dans le chapitre 3. Nous évaluerons dans le chapitre 4, les voies s'offrant à nous afin de remettre le stock de bâtiments à niveau suite aux constats établis en partie 1. La structure d'âge du parc de bâtiments résidentiels belge étant un facteur important de sa consommation, nous confronterons la méthode de la rénovation à celle de la démolition/reconstruction d'une façon théorique. Nous tenterons dans la suite de ce travail, de répondre à la question : Quelle méthode entre rénovation et démolition/reconstruction constitue le meilleur choix afin de remettre le stock de bâtiment à jour, d'en amoindrir la consommation et ainsi atteindre les objectifs européens concernant la réduction des GES ?

Chapitre 3 : Théorie et freins des investissements en efficience énergétique

Dans ce chapitre, nous introduirons dans un premier temps, brièvement la théorie relative aux investissements en efficacité énergétique et en particulier leurs freins. Nous tenterons en même temps de les contextualiser aux deux moyens que sont la rénovation et la démolition pour enfin établir une comparaison entre celles-ci dans le chapitre suivant.

Section I : Introductions et définitions

L'efficience énergétique ou l'efficacité énergétique peut être définie de façon générale comme le rapport entre la performance et l'énergie dissipée pour un service. Le défi est d'améliorer le service rendu avec une consommation énergétique constante, voire diminuée. Les investissements en efficience énergétique tournent autour de cinq leviers représentés sur la figure suivante (Robillard, 2011, pp. 11ss.).



Figure 10 : Les cinq leviers des investissements en efficacité énergétique
(Source : Robillard, 2011)

Deux voies sont envisagées afin de résoudre le problème énergétique (cité par Boulanger, Lovins, 1976) : d'une part, la voie « dure » consistant à se pencher sur les problèmes de production énergétique à base des ressources fossiles, et d'autre part, la voie « soft » empruntant les chemins de la reconversion, de l'utilisation rationnelle, de l'efficacité et des énergies renouvelables (Boulanger, 2007, pp. 49-62). Considérons donc l'utilisation consciencieuse de l'énergie, sans gaspillage et de façon intelligente. A ce titre, l'utilisation de matériaux technologiques d'étanchéité permettra par exemple d'effectuer une économie d'énergie.

Les investissements en efficacité énergétique de notre point de vue sont des dépenses en modification (rénovation ou démolition/reconstruction) qui améliorent la qualité énergétique du bâtiment par rapport à sa situation initiale principalement à travers l'isolation des murs, du toit et le remplacement des châssis. Ce sont donc des modifications structurelles telles que l'enveloppe du bâtiment dans le cas d'une rénovation ou encore revoir complètement les murs en rasant le bien pour une reconstruction qui offrira un bâtiment efficient, répondant aux normes de la Directive PEB³⁹. Des modifications fonctionnelles sont également entrevues mais non étudiées dans le cadre de ce travail. A ce titre, citons en exemple le remplacement de système de chauffage, de refroidissement, l'équipement du bâtiment par des sources d'énergies renouvelable ou encore la modification des comportements de consommation.

³⁹ Notamment, concernant la norme de consommation quasi nulle ($15\text{kWh/m}^2/\text{an}$) pour les constructions établies à partir de 2020 (2018 pour les bâtiments publics)

Section II : Théorie relative aux freins de l'adoption

Dans cette section, nous présentons les freins relatifs à l'efficacité énergétique du secteur. En effet, la littérature évoque un paradoxe quant à l'adoption d'investissement en efficacité énergétique en pratique malgré les bénéfices aussi divers qu'ils procurent. Nous définirons donc ce paradoxe selon certains auteurs, et présenterons comment la littérature l'explique à travers une typologie des différents freins y étant rattachés.

§1 : Le paradoxe énergétique

Les auteurs (cité par Charlier, Jaffe, Stavins, 1994 ; Boulanger, 2007) évoquent la notion de « paradoxe énergétique » selon laquelle il existe des moyens technologiques qui permettent à la fois de réduire la consommation énergétique des bâtiments tout en dégageant une rentabilité financière, en investissant dans une rénovation de la toiture par exemple.

La nature du paradoxe provient du fait que les consommateurs ne sont pas attirés par ces investissements, pourtant, leur rendement est supérieur à d'autres alternatives. La rationalité économique aidant à la décision des ménages et des entreprises semble ne pas s'appliquer pour ces investissements (cité par Charlier, Jaffe et al., 1994, DeCanio 1998, Webber 1997). En outre, il a été démontré que dans une majorité des cas, ces investissements étaient justifiables d'un point de vue économique grâce à une analyse de coût sur le cycle de vie du bâtiment (cité par Dubois, IEA, 2006). Le paradoxe s'explique donc par une attente de rentabilité supérieure de la part des investisseurs. Ils attendent un taux d'actualisation supérieur à la moyenne des investissements ordinaires. Les raisons sont inhérentes au marché de l'efficacité énergétique, caractérisé par un placement des incitants compliqués, une mauvaise circulation des informations, des dimensions financières importantes et un pouvoir du marché difficile à gérer. Avec par exemple les réglementations visant la concurrence⁴⁰ et la question des monopoles sur les fournisseurs d'énergie (Charlier, 2012).

§2 : Typologie des différents freins

Selon divers auteurs, la raison principale de ce constat provient de la défaillance liée au partage des informations entre les parties prenantes (Charlier, 2012). Il semble donc qu'il y ait des problèmes de compréhension sujets à l'adéquation entre bénéfices environnemental et économique. Par exemple, dans le secteur résidentiel, la perception selon laquelle l'efficacité énergétique requiert des sacrifices importants persiste (Varenio, 2010)

⁴⁰ Par exemple la production de panneaux photovoltaïques et la concurrence chinoise

Afin d'améliorer la compréhension des raisons pour lesquelles les entreprises et les ménages laissent échapper ces occasions, la théorie présente les barrières de marché que l'on segmente en deux catégories ; les défaillances de marché et les barrières économiques (Boulanger, 2007 ; Charlier, 2012). Les premières se caractérisent comme étant dans l'incapacité d'orienter l'économie vers l'optimum social. Le marché n'arrive donc pas à allouer au mieux l'intérêt individuel et collectif.

Il semblerait qu'une intervention des pouvoirs publics soit opportune dans le cas des défaillances de marché. Cependant, agir sur les barrières de marché se révélerait inefficace. En effet, ces dernières ne constituent pas réellement un dysfonctionnement économique mais plutôt des caractéristiques du marché ne lui permettant pas d'atteindre l'optimum économique et énergétique (Boulanger, 2007).

Ainsi, nous présentons dans le tableau suivant, une synthèse typologique des différents freins en les contextualisant au secteur des bâtiments à l'aide d'un exemple concret sans en approfondir l'analyse ici.

Type	Frein	Exemple
Barrières économiques	Coût caché	Ils sont liés au degré de nouveauté de la technologie adoptée. Ainsi ces coûts cachés peuvent se définir par : de la recherche d'information sur la technologie ou les primes et autres subsides disponibles, de la perte de confort pendant les travaux, une fiabilité incertaine, une rentabilité incertaine, etc.
	Accès au capital	Caractérisés comme étant de petite taille et dispersé dans le temps, il est délicat d'apprécier les bénéfices des IEE's. Les organisations financières sont donc moins aptes à accorder des prêts ou alors, avec des taux d'intérêts assez élevés.
	Hétérogénéité	Il y a dans la décision d'un IEE des composantes liées aux valeurs même de l'acteur. Ainsi, chacun n'est pas conscientisé au même degré à la problématique selon la nature de l'investissement et son environnement.
Défaillance des marchés	Information imparfaite	Les informations concernant les économies d'énergie ont les mêmes caractéristiques que le bien public. C'est à dire la non exclusivité et la non rivalité dans la consommation. Il semble donc impossible d'empêcher un individu d'en consommer alors que sa consommation par individu supplémentaire n'a pas d'impact sur sa consommation. Cette caractéristique explique le fait qu'il n'y ait pas d'intérêt à partager l'information.
	Asymétrie de	Les vendeurs ou propriétaires du bien ont une information supérieure des coûts énergétique d'utilisation. Pour contrer ce

	l'information	problème, les systèmes de labélisation énergétique sont introduits avec la directive 92/75/EC et PEB 2010.
	Incitations divergentes	La partie responsable du paiement des factures énergétiques est différente de la partie qui s'occupe des décisions d'amélioration sur le bien. Autrement dit, un agent n'a aucun intérêt à passer l'investissement tandis que l'autre en reçoit tous les bénéfices sans en avoir payé les coûts.
Risques associés	Taux d'actualisation	Les taux d'actualisation pour les IEE's sont supérieurs aux autres. Cela se traduit par l'attente d'un ROI supérieur de la part des ménages pour ce type d'investissement (Charlier, 2012). La cause est attribuable aux caractéristique même de ces investissements dont les coûts sont immédiats et les bénéfices potentiellement important mais visibles à plus long terme (Maurel, 2011)
	Irréversibilité	Plusieurs formes d'incertitudes sont envisageables. - L'incertitude sur les gains énergétique. Pour la rénovation, il est difficile d'estimer avec certitude les gains de l'adoption (cité par Charlier, Jakob, 2006 ; Carlsmith et al., 1990). - L'incertitude sur les futurs prix de l'énergie. Un investissement peut être rentable aujourd'hui et ne plus le devenir dans le futur suite à une augmentation des coûts de l'énergie. - Les incertitudes liées aux politiques publiques. Si les subventions et les crédits d'impôts ont tendance à augmenter dans le temps, cela peut conduire les ménages à repousser l'investissement afin d'en profiter.

Tableau 4 : Barrières à l'efficacité énergétique au contexte des bâtiments : types et exemples
(Source : Boulanger, 2007 ; Charlier, 2012)

Afin de contrôler les externalités engendrées par les défaillances de marché, la théorie économique suggère que l'action des pouvoirs publics peut améliorer l'efficacité économique. Quatre formes de régulations sont envisageables (Boulanger, 2007 ; Charlier, 2012) :

- Une régulation juridique par le biais de lois donc ;
- Une régulation informationnelle par la mise en place de normes techniques, de labels afin de garantir une certaine qualité ou encore de partager certaines informations inhérentes au bien (CPEB) ;
- Une régulation financière qui se définit par des aides pour promouvoir les externalités positives ou encore des taxes pour réduire les externalités négatives. (La taxe carbone ou encore les subsides et primes concernant les rénovations efficaces⁴¹),
- Les accords volontaires et les partenariats.

⁴¹ En fonction de la CPEB effectuée en amont des rénovations. Si celle-ci satisfait la norme, une aide est attribuée

Chapitre 4 : Comparaison théorique : rénovation ou démolition

Dans cette quête de diminution de la consommation du parc résidentiel, deux scénarios sont envisagés afin de s'attaquer à la vétusté des bâtiments et donc réduire les consommations. D'une part, la rénovation peut être une solution pour à la fois « rajeunir » le parc et satisfaire les objectifs de réduction des GES. Il s'agira avant tout de remédier aux problèmes d'isolation avec des travaux ciblés, notamment sur la toiture, le vitrage, et les matériaux de chauffage. D'autre part, une solution plus radicale consistera à démolir afin de pouvoir reconstruire et ainsi redessiner un parc qui répondra aux nouvelles normes énergétiques. En outre, cette dernière permettra d'adapter le parc aux avancées technologiques en matière d'approvisionnement énergétique et ainsi l'harmoniser à la volonté européenne visant le développement du système énergétique à long terme. Ce sont ces deux voies d'amélioration que nous exposerons ici.

Section I : Pour une remise à niveau du parc résidentiel

Comme nous l'avons exposé précédemment, le secteur résidentiel belge est vieux. Le taux de nouvelle construction s'est appauvri depuis ces cinquante dernières années, la population optant généralement pour les vieux immeubles à rénover.

En effet, les statistiques montrent que la Belgique dispose d'un des parcs résidentiels les plus vieux d'Europe (IEA, 2006 ; DGSIE, 2014). 80% des bâtiments ont plus de 20 ans comme nous l'avons décrit dans la partie précédente. Le fait est que les vieux immeubles sont mal isolés depuis leur construction mais également à cause de l'ancienneté qui en réduit les performances. Pour les immeubles construits avant 1945, l'isolation est inexistante. Nous nous donnons pour objectif de décrire ces deux méthodes que sont la rénovation et la démolition, pour enfin les comparer.

Section II : La rénovation, le modèle de référence

Chaque année, c'est près d'1% du stock de bâtiments européens qui est rénové ⁴² (cité par Dubois, Itard, 2008). Avant d'envisager la démolition, la rénovation est la première solution. En effet, il n'est pas facile d'imaginer démolir 65% des immeubles actuels en Belgique (ayant plus de 45 ans⁴³). D'ailleurs, ces immeubles ont pu déjà faire l'objet de réparation au fil des

⁴² A titre privé ou à titre locatif

⁴³ Les immeubles construits avant les années 1970, disposant de d'une isolation des murs de type 1^{ère} et 2^{ème} génération

années, mais bien que l'état du parc se soit amélioré au fil de ces renouvellements, ces derniers se révèlent insuffisants.

§1 : Les bâtiments à cibler pour la rénovation

Les bâtiments à rénover sont principalement les vieux bâtis qui ne sont pas encore dans un état de délabrement total. En effet, la relation est forte mais non exclusive entre l'ancienneté de l'unité et sa rénovation. La principale cause de l'ancienneté du parc de bâtiments belge est le taux de démolition et de rénovation assez bas (BPIE, 2011).

Ce sont les immeubles qui ont été construits il y a plus de cinquante ans, avant la seconde guerre mondiale (Power, A., 2008, pp. 4487-4501), ceux qui ont été construits avec des matériaux de l'époque et qui nécessitent un réajustement sur le plan de l'isolation. Soulignons que c'est 15% des logements belges construits avant 1919 qui ont déjà été rénovés depuis ces dix dernières années pour seulement 3% des logements construits après 1991 (Vanneste et al., 2001).

Même si en Europe en général et en Belgique plus précisément, beaucoup de politiques s'accordent à promouvoir la rénovation en efficacité énergétique. Il s'avère que le taux de pénétration de ces dernières est faible et laisse en apercevoir les lacunes. Certaines études suggèrent d'imposer ces politiques plutôt à l'échelle du quartier ou d'un lot de bâtiments (BPIE, 2011).

La part des bâtiments sociaux rénovés pourrait jouer un rôle moteur dans la rénovation du parc (cas de l'Allemagne). En Belgique, la réglementation concernant les entreprises de logements sociaux se dynamise. On voit, à travers le pays, de plus en plus de rénovations concernant des quartiers sociaux.

§2 : Avantages de la rénovation

Il est difficile d'évaluer les bénéfices financiers procurés par les investissements en efficacité énergétique (Jakob, 2006 ; Carlsmith et al., 1990) et donc, par la rénovation.⁴⁴

La rénovation aura un impact direct sur le confort, mais surtout sur la consommation de chauffage du secteur résidentiel. Outre la consommation de chauffage, la rénovation aura également un impact sur la consommation d'eau chaude et sur la consommation d'électricité ou de gaz quand des améliorations fonctionnelles sont entrevues.

⁴⁴ Voir annexe 7, page A8: exemple de gains financiers pour une rénovation

Une grande partie de la littérature qui traite la rénovation se concentre sur les rénovations lourdes (Dubois, 2015). Cependant, il apparaît qu'en Europe, la majorité de celles-ci sont légères et n'impactent pas de manière considérable l'efficacité énergétique du bâtiment (BPIE, 2011). En effet, chaque année, c'est 1,5% du stock européen qui est rénové (Eichhammer et al. 2009 ; BPIE, 2011). 85% de ces rénovations confèrent un gain de 15% d'efficacité énergétique. 10% sont des rénovations modérées qui engendrent un gain de 45% d'efficacité supplémentaire. 5% seulement sont des rénovations conséquentes qui améliorent l'efficacité énergétique du bâtiment d'au moins 75% (BPIE, 2011). La même étude distingue quatre⁴⁵ types de rénovations quant à leur efficacité et leurs coûts (voir tableau 6 ci-après).

D'autres avantages peuvent être considérés comme la création d'emploi. En effet, quelle politique ne rêve pas de voir croître le taux d'emplois à la faveur d'une baisse du taux de chômage tout en favorisant l'amélioration du parc de maisons?

En outre, les barrières sont moins importantes pour cette option face à l'option de la démolition. En effet, les coûts cachés sont en toute logique, moins importants. Le capital nécessaire en est également réduit.

§3 : Les coûts à prendre en compte

La rénovation a son coût, elle s'accompagne de l'achat de nouveaux matériaux afin d'améliorer l'efficacité énergétique de l'immeuble. Entrent généralement dans les frais l'achat de l'isolation de la toiture, l'installation de nouveau vitrage répondant aux normes d'isolation, l'installation de nouveaux matériaux de chauffage si cela s'avère nécessaire ainsi que l'isolation des murs qui est très coûteuse suivant la technique.

Rajoutons à cela les coûts de main d'œuvre que requièrent la revue de l'isolation qui fait, en général, partie inhérente de la structure du bâtiment bien que des techniques permettent sont amélioration par l'extérieur. C'est pour cela que les barrières commerciales peuvent constituer des freins à la rénovation énergétique mais toujours dans une moindre mesure que pour la démolition.

⁴⁵ Nous retiendrons 3 types uniquement pour notre étude

Type de rénovation ⁴⁶	Coût (€/m ²)	Efficiencia de la rénovacion
Type A	580	90%
Type B	150	50%
Type C	60	15%

Tableau 5 : Type de rénovation et part de gains et coûts associés
(Source : BPIE, 2011)

En outre, il est important de prendre en compte les coûts additionnels qui s'ajoutent aux coûts financiers. L'appel à un architecte et l'introduction d'un permis d'urbanisme en font parties. Il y a également le conseiller PEB qui, en fonction des rénovations prévues octroie le CPEB⁴⁷ qui servira alors pour reconnaître une maison aux normes. Pour les propriétaires de maisons mises en location, le revenu cadastral redéfinit. Celui-ci entrera en compte dans les impôts du propriétaire.

Le respect des critères de voisinage et la valeur d'héritage. En Europe, les murs des façades sont souvent en briques. Cela confère une identité culturelle et un patrimoine au pays ou à la région en question, c'est d'ailleurs dans cette optique qu'un permis d'urbanisme est nécessaire (BPIE, 2011; Dubois, 2015).

§4 : Les incitants

Il existe une panoplie d'aides financières pour la construction, la rénovation et même la démolition. A l'origine, ces aides expriment la volonté de l'État de permettre aux ménages d'acquiescer ou d'améliorer leur habitation. Les primes et subsides disponibles sont différents d'une région à l'autre. Il existe, en outre, des interventions au niveau des provinces, des communes et de gestionnaires de réseaux (DGO4+).

Afin de bénéficier d'une prime, il faut le plus souvent satisfaire à quelques conditions. Celles-ci concernent généralement le revenu imposable, le revenu cadastral, l'utilisation de l'habitation, la nature des travaux et pour les rénovations énergétiques, un seuil d'amélioration énergétique, quantifiable grâce aux différentes mesures définies dans le certificat de performance énergétique (CPEB) qui est dorénavant nécessaire à tout projet (DGO4+).

En outre, l'ancienneté de certains biens peut compliquer les projets de rénovation. Parfois, les fondations (élément sur lequel repose la structure du bâtiment) est trop faible pour permettre

⁴⁶ Inspirées de BPIE, 2011

⁴⁷ CPEB pour le Certificat de Performance Énergétique du Bâtiment

les transformations envisagées. Quand les maisons sont mitoyennes, ce frein est présent davantage et les coûts s'intensifient.

Des incitants existent donc, à la fois pour la rénovation et pour la démolition. Cependant, ces derniers sont plus importants et bien plus populaires pour la rénovation que pour la démolition. Il en découle un partage de l'information (un frein) bien plus compliqué pour la seconde méthode.

Section III : La démolition/reconstruction, une alternative

Une solution plus radicale consistera à démolir afin de pouvoir reconstruire un nouveau parc qui répondra aux normes d'isolation. Les études suggèrent que la principale cause de l'ancienneté du parc de bâtiments belge est un taux de démolition et de rénovation trop bas. Chaque année en Europe, c'est 1% du stock qui est démolit (BPIE, 2011). La méthode consiste à démolir la bâtisse ancienne et inefficace en ce qui concerne sa consommation, afin de reconstruire un nouveau bâtiment. La reconstruction sera caractérisée par des matériaux actualisés, une architecture qui permettra un gain énergétique par des moyens d'isolation efficace pour une consommation et une émission de GES amoindrie. En outre, les bâtiments démolis et reconstruits auront l'avantage de s'adapter aux nouvelles technologies susceptibles d'inonder le marché dans les années à venir.

§1 : Les bâtiments à démolir

Le remplacement des propriétés les plus dégradées et mal isolées semble être la manière la plus simple et rapide pour améliorer la situation du parc (cité par Dubois, ODPM, 2003). Nous avons démontré, dans le chapitre 2, la vétusté des maisons urbaines suite à la périurbanisation initiée lors de l'époque d'industrialisation. Cependant, la concentration de ces derniers pourrait poser problème quant aux maisons mitoyennes, pour lesquelles une intervention se révélera plus compliquée à mettre en œuvre.

Il est clair qu'il revient à bien sélectionner les cibles à démolir en fonction des entités qui en tireront un meilleur potentiel. Nous avons vu que les gains d'énergies qu'apportent les rénovations ne sont pas toujours satisfaisants (cité par Dubois, Weiss, 2009). La meilleure solution pour une réelle économie d'énergie reste la démolition/reconstruction (cité par Dubois, Boardman, Darby, Killip, Hinnels, Jardine, Palmer, Sinden, 2005).

Les bâtiments les plus concernés nécessitant un démontage complet sont sans nul doute les plus vieux. Ce sont principalement les immeubles centenaires qui ont été construits au début

du siècle dernier et dont la rénovation nécessiterait plus de moyens financiers qu'une nouvelle construction. Les bâtiments plus récents peuvent également être démolis et rénovés, néanmoins, les déchets de la démolition risquent de porter davantage sur l'état de l'environnement (la consommation de l'action de démolir). C'est dans cette optique qu'une évaluation des potentiels en fonction du cycle de vie du bâtiment se révèle opportune.

Ce sont ensuite les habitations unifamiliales dont la démolition n'emporterait pas le relogement de plus de familles. En effet, une démolition implique nécessairement le relogement qui n'est pas toujours facile à réaliser, surtout lorsqu'il s'agit d'immeubles sociaux avec plusieurs familles (également pour la rénovation, mais dans une moindre mesure). En outre, nous avons vu que cet aspect constitue une des barrières économiques à l'efficacité énergétique des bâtiments en tant que coût caché.

En outre, certaines maisons ne pourront pas être rénovées. Faute d'adaptation des structures, de faisabilité ou encore d'infection suite à des champignons comme la méréle⁴⁸.

Une autre piste intéressante l'adoption de projet de démolition/reconstruction à grande échelle (Power, 2008). D'une manière opposée, une autre approche consisterait à agir à scalpel. Seules les maisons les moins isolées et plus médiocres doivent être ciblées par la méthode (Mumford, Power, 2003).

Ces constats font de la démolition une technique assez coûteuse et impopulaire. La cible doit être justifiée pour soutenir le coût social, économique et environnemental. D'avantage, la méthode requière une gestion optimale des déchets afin de balancer les bénéfices environnementaux engendrés par la baisse de la consommation aux pollutions engendrées par l'action de démolition et reconstruction. Pour cela, nous définirons dans la partie 3, la notion d'« énergie grise ».

§2 : Les avantages d'une démolition/reconstruction

Le premier avantage de la méthode est le réel rajeunissement du parc résidentiel. Le bâtiment reconstruit redémarrera un nouveau cycle et permettra une actualisation du parc (Allacker et al., 2010). Une nouvelle construction impliquera l'utilisation de technologies actuelles et offrira une plus grande adaptabilité des technologies futures.

En outre, les dommages environnementaux d'un bâtiment le long de son cycle de vie sont distribués de la manière suivante : 75% de sa consommation vient de son usage quotidien,

⁴⁸ Champignon se nourrissant principalement de bois

c'est donc la consommation en chauffage principalement ; 13% provient de la maintenance et des réparations et 12% provient de la production nécessaire à la construction (Allacker et al., 2010).

Plus encore, elle permet une restructuration du territoire favorisant des synergies entre, par exemple, le secteur des transports et celui des résidences. Cet aspect semble intéressant à développer dans une optique de long terme comme la nôtre.

§3 : Les coûts de la démolition/reconstruction, une principale limite

Nous retrouvons tout d'abord les coûts financiers. Une des plus grosses barrières à la démolition est la perte d'un bâtiment et le coût d'en construire un nouveau. Cette barrière est la principale cause de l'impopularité de la démolition (Power, 2008). Le prix moyen de démolition est compris entre £17,000-£35,000⁴⁹ (ODPM, 2003). En effet, la démolition nécessite davantage de moyen qu'une rénovation en engageant deux processus : le démontage qui risque d'affecter l'environnement à travers la gestion des déchets, et ensuite la reconstruction qui engagera une finance considérable puisqu'il s'agira de rebâtir l'immeuble avec de nouveaux matériaux sans récupération ou très peu et à des normes plus strictes en terme d'efficacité énergétique.

La gestion d'un projet de démolition est assez compliquée (Power, 2008). En effet, la mise en œuvre de construction et surtout de démolition produit des déchets. Selon les matériaux, les déchets se caractérisent par une multitude de critères comme, la quantité, la nocivité, la difficulté de traitement en recyclage, etc. Ces déchets sont également présents lors de rénovation mais dans une moindre mesure. La technique demande donc une amélioration dans notre gestion de déchets (Dubois, 2015).

Il y a également les coûts pour l'environnement à prendre en compte. Yates en 2006 ont montré qu'une nouvelle construction consommait 4 à 8 fois plus d'énergie grise que pour une rénovation équivalente (cité par Dubois, Ireland, 2008; Yates, 2006). Cela est dû au fait que pour la rénovation, toute la structure et les matériaux de base du bâtiment sont conservés. Pour le cas de la démolition et de la reconstruction d'un nouvel immeuble, ces matériaux et cette structure doit être à nouveau produits et acheminés. L'ICEB (Institut pour la Conception Ecoresponsable du Bâti) définit la consommation d'énergie présente dans une action de

⁴⁹ £ 1 = 1,37 Euro, le prix d'une démolition en euro serait situé entre 23 000 et 50 000€

rénovation et de démolition. Ainsi, sur le cycle de vie d'un bâtiment, la rénovation représente 82 kWh/m²/an. Une démolition coûtera quant à elle 200 kWh/m²/an.

A l'image de la rénovation, des coûts cachés sont également enregistrés. En général, le délai pour la démolition et la reconstruction d'un nouveau bien dure un peu moins de 20 ans. Presque impossible en moins de 10 ans. Cela pose problème pour le relogement des habitants (cité par Dubois, Turcu, 2005). A cela rajoutons les freins importants au niveau de la réglementation et de l'administration ou encore de l'acceptabilité sociale. L'architecte, le conseiller PEB et le permis d'urbanisme sont également requis.

Section IV : Apport de la comparaison

Deux méthodes sont donc envisagées pour rajeunir le parc résidentiel belge, celles-ci nous mèneront dans la partie trois, à l'étude de trois scénarios permettant de solidifier nos recherches.

Tout d'abord, le « Statu quo » est une option. Il s'agira de se concentrer uniquement sur les nouvelles constructions sur un espace vierge. Elles seront définies par le taux de croissance annuel du parc de bâtiments résidentiels.

La seconde méthode, évaluée dans le scénario « Rénovation » traitant les bâtiments par des travaux principalement à travers l'isolation. Nous considérerons pour cela, les trois types de rénovations définies par BPIE (définies au tableau 6).

La dernière solution proche de la première et analysée dans le scénario « Démolition/reconstruction » qui permettra de construire de nouveaux bâtiments aux normes à la place des anciens.

La rénovation, est la méthode qui semble la plus choisie actuellement. En effet, celle-ci a la faveur des pouvoirs publics qui proposent des primes pour la promouvoir. A l'horizon 2050, il semble clair que le parc de maisons sera constitué en majeure partie d'immeubles rénovés avec une diminution sensible de la consommation énergétique et des émissions de GES.

Dans notre étude, nous imaginons un futur où l'énergie utilisée dans le logement pour le chauffage⁵⁰ proviendrait majoritairement de l'électricité de Sources d'Énergies Renouvelables (SER) et du gaz naturel. En effet, cette source d'énergie « décarbonée », couplée à un système en permettant le stockage redessinerait le système énergétique tel qu'on le connaît.

⁵⁰ Les prévisions effectuées sur le mix énergétique utilisé pour le chauffage ménagé ne font pas l'objet de cette étude

Cependant, la question est de savoir si le poids des bâtiments anciens dans la consommation énergétique du secteur ne fasse office de freins quant à l'atteinte des objectifs de réduction des GES. Afin de justifier ces faits, nous nous basons en partie sur les SG définis en chapitre 1 ainsi que de personnalités engagées sur la question⁵¹.

⁵¹ Voir annexe 20, page A23 : une vision originale du futur énergétique

Récapitulatif : Rénovation ou démolition

	Rénovation	Démolition
1. Pour quels bâtiments ?	- Les bâtiments avant 1970 ou 1985 (première réglementation thermique wallonnes) - Bâtiments déficients en termes d'isolation - Bâtiments à caractère social -	- Bâtiments les plus anciens, sans isolation, avant 1945 - Bâtiments qui ne nécessitent pas une relocalisation massive⁵² - Bâtiments inefficace d'un point de vue économique - Bâtiments qui ne présentent pas un intérêt patrimonial ou historique
2. Coûts	- Investissements en termes de matériaux - Coûts environnementaux suivant l'ampleur des travaux - Coûts sociaux pour la relocalisation - Coût de main d'œuvre	- Investissements en termes de matériaux - Investissement en termes de démolition - Coûts environnementaux suivant l'ampleur des travaux - Coûts sociaux pour la relocalisation
3. Efficience énergétique	85% des rénovations = 15% d'efficience énergétique 10% des rénovations = 45% d'efficience énergétique 5% des rénovations = 75% d'efficience énergétique Tallin (2009)	Démolition/rénovation = nouveau bâtiments avec les standards actuels et futurs de consommation énergétique Il est intéressant de distinguer deux type de consommation : celle liée à l'utilisation quotidienne de l'immeuble et celle liée à son cycle de vie (Allacker et al, 2010)
4. Les incitants	- Remboursement pour l'isolation, primes - Abattement fiscal de 40%	- Réduction fiscale de 6% pour les projets de démolition⁵³.
5. Les freins (Capital, Risque, Information,...)	- Accès difficile au capital - Risque vis-à-vis des technologies utilisées - Freins liés à l'information	- Accès plus difficile au capital - Risque vis-à-vis des technologies utilisées - Freins liés à l'information

Tableau 6 : Récapitulatif : rénovation ou démolition

⁵² Sont exclus les bâtiments à caractère social

⁵³ Pour plus d'informations sur le sujet : http://businessdatabase.indicator.be/fiscalite___immobilier

PARTIE III : MODÉLISATION DE LA RÉNOVATION ET DE LA DÉMOLITION. POUR UNE PROJECTION DES EMISSIONS DE GES À L'HORIZON 2050

L'ancienneté du parc de bâtiments résidentiels semble être un problème important et récurrent au niveau des trois régions belges. En outre, cette question semblait être d'actualité avec toutes les modifications que connaît actuellement le système de subventions lié à la rénovation en Belgique, et plus particulièrement en Wallonie.

Cette partie aura pour objectif de déterminer dans quelle mesure les objectifs européens de long terme peuvent être atteints par des projets d'actions à grande échelle des méthodes étudiées. Les entités sont ciblées par ces projets en fonction de l'ancienneté des maisons du parc wallon. En effet, nous avons plus tôt souligné la relation entre l'isolation, l'année de construction et la consommation en énergie pour le chauffage.

Chacun de ces projets aura comme effet d'amoindrir les émissions du parc malgré une consommation croissante si aucune action, nécessaire à l'évolution de la population, n'est entreprise. En d'autres termes, ils impacteront positivement la demande énergétique du parc en lui inférant des qualités structurelles⁵⁴ tout en répondant à la faiblesse du parc relative à son ancienneté. Nous tâcherons donc de comparer la méthode de la rénovation et celle de la démolition vis-à-vis de l'atteinte des objectifs ainsi que de leurs coûts, qu'ils soient financiers, énergétiques ou environnementaux.

Chapitre 5 : Modélisation des consommations et des émissions des maisons wallonnes à l'horizon 2050

« Les scénarios énergétiques sont souvent des exercices de prospective quantitative issus de modélisations. Ils ont pour objectif de donner une trajectoire d'évolution possible du système énergétique, voire de la société dans son ensemble » (Bellevrat et al., 2013).

A partir d'une modélisation de la consommation moyenne et unitaire des maisons résidentielles wallonnes, en fonction de leur année de construction. Nous avons mis au point un outil nous permettant de projeter la consommation énergétique du parc de la région. Ainsi,

⁵⁴ Notamment à travers l'efficacité de l'isolation du volume protégé par les murs, le toit et les ouvertures (châssis)

nous avons pu en apprécier les variations suite à la simulation de différentes trajectoires adoptées jusque 2050, représentées par nos trois scénarios.

Le scénario « **Statu quo** » dans lequel aucune attention n'est portée au renouvellement physique du parc, hormis sa croissance qui représente les nouvelles constructions jusque 2050. Celui-ci ne servira que de repère pour la comparaison des deux suivants. Le scénario « **Rénovation** », dans lequel nous prévoyons des actions de rénovations à grande échelle du parc, et le scénario « **Démolition** », à l'image du précédent.

Les bâtiments à revoir, soit via la rénovation ou la démolition sont ciblés en fonction de leur ancienneté, représentée par six classes dont la première reprend les bâtiments construits avant 1945 et la sixième ceux construits sur la période 2020-2050. A chaque classe est associée une consommation moyenne unitaire (en kWh/m²/an).

Enfin, nous évaluons la sensibilité des résultats face à un relâchement et à un resserrement de la question de recherche. Nous tâchons de donner un coût à ces deux options d'investissement afin d'en approfondir la comparaison. Premièrement, un coût financier aux investissements est calculé, la VAN (Valeur Actuelle Nette de l'investissement) de ces derniers permet d'en évaluer la rentabilité. Ensuite, un coût énergétique, celui-ci permet de déterminer quelle option offrira la meilleure réduction de la facture de chauffage du parc. Enfin, nous comparons brièvement l'efficacité environnementale dans l'idée d'obtenir une rentabilité en ces termes.

Les résultats obtenus nous permettent de mettre en lumière les principaux avantages des deux méthodes quant à l'atteinte des objectifs de réduction, en omettant les étapes intermédiaires proposées l'UE. Cependant, certaines concessions ont été nécessaires afin de réaliser ces tâches.

Section I : Présentation de l'outil

§1 : Données de base

La CPDT (Conférence Permanente du Développement Territorial) a réalisé une typologie des consommations énergétiques par structure d'âge des bâtiments résidentiels wallons couverts par le P.I.C.C. (Projet Informatique de Cartographie Continue)⁵⁵.

⁵⁵ PICC permet la référence cartographique numérique en 3 dimensions de l'ensemble de la Région wallonne, ce programme couvre 85% du stock bâti et il est la seule source d'information permettant d'estimer la hauteur des bâtiments, qui est nécessaire au calcul de la consommation énergétique du bâti (réalisé par la CPDT)

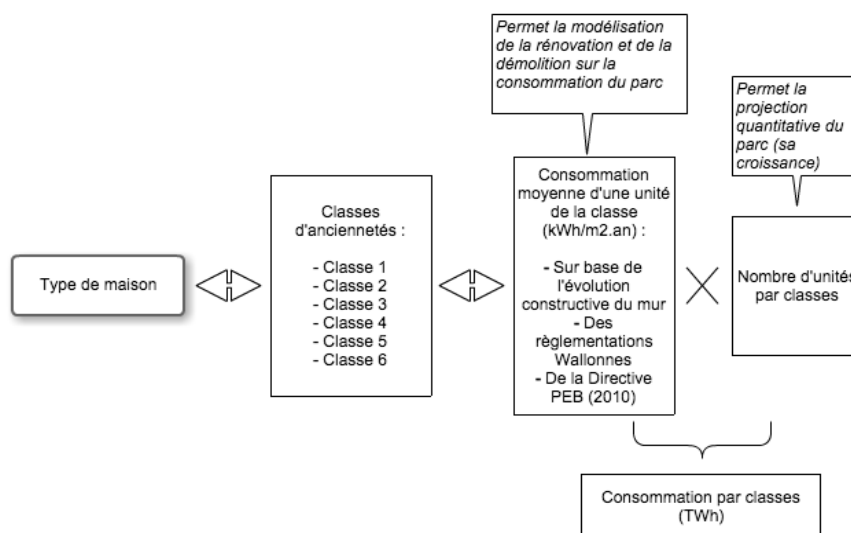


Figure 11 : Méthodologie générale – utilisation des données

C'est avec le nombre de maisons que nous modélisons la projection physique du parc par classe. C'est aussi cette variable qui nous permet de modéliser les actions de rénovation/démolition des maisons les plus anciennes (les classes 1, 2 et 3). Il y a donc deux objectifs à considérer. D'une part, la projection dans le temps du nombre de maisons satisfaisant la croissance physique du parc ; d'autre part, une modélisation des actions de rénovation et de démolition sur les classes ciblées.

§2 : Aménagement des classes énergétiques

Pour chacun des trois types de maisons recensées, six classes d'ancienneté sont segmentées. A chacune est attribuée une consommation moyenne unitaire⁵⁶ (en kWh/m²/an).

Classe (type 4 façades)	Consommation (kWh/m ² /an)	Année de construction	Base de la segmentation
Classe 1	499,1	Avant 1945	Histoire du mur
Classe 2	397,3	Entre 1945 et 1970	Histoire du mur
Classe 3	359,6	Entre 1970 et 1985	Histoire du mur
Classe 4	210,5	Entre 1985 et 1997	Réglementation wallonne
Classe 5	179,3	Entre 1997 et 2020	Réglementation wallonne
Classe 6	15	Entre 2020 et 2050	Directive PEB (2010)

Tableau 7 : Définition des classes d'ancienneté
(Adapté de CPDT, 2011)

⁵⁶ Nous présenterons la méthodologie appliquée aux types 1, la logique étant équivalente pour les autres types. Voir notamment : annexe 9, page A10, A11, et A12 pour le tableau de base des projections, annexe 12, page A16 pour la méthode générale de la modélisation

Les trois premières sont basées sur l'évolution constructive du mur, les deux suivantes sur l'évolution des réglementations thermiques wallonnes par la CPDT. La classe cinq sert à la comptabilisation des nouvelles constructions jusqu'en 2019. Enfin, nous ajoutons une dernière classe, celle des bâtiments construits entre 2020 et 2050, la classe six. Une consommation lui est attribuée sur référence de la Directive PEB. Les bâtiments de cette classe enregistreront une consommation quasi nulle de $15 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ ⁵⁷.

Pour modéliser les actions de rénovation, nous créons trois classes supplémentaires. Celles-ci correspondent à trois types de rénovation avec chacune une efficacité différente par rapport à la consommation avant remise à niveau.

Classe de rénovation	Efficacité
Type A	90%
Type B	50%
Type C	15%

Tableau 8 : Classes de types de rénovation avec efficacité et cible
(Source : BPIE, 2011)

Pour modéliser les actions de démolition, nous créons une classe supplémentaire, la classe démolition/reconstruction. Les bâtiments de celle-ci enregistrent une consommation de $15 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ ⁵⁸.

Classe de démolition ⁵⁹	Consommation moyenne unitaire ($\text{kWh/m}^2.\text{an}$)
Classe démo/rec	15

Tableau 9: Classe de démolition/reconstruction avec efficacité

C'est donc un transfert qui s'opère entre les classes cibles définies pour des actions de remise à niveau et les classes de rénovations ou démolitions associées.

Section II : Création du modèle général sur Excel

En pratique trois étapes sont suivies, nous commençons par **l'évolution de la situation physique** du parc dans le temps. Celui-ci croît de manière à satisfaire la croissance démographique. Cette étape est réalisée par projection du nombre de bâtiment des classes 5 et 6 de 2010 à 2050. Par la suite, une **consommation énergétique annuelle** sur l'ensemble du

⁵⁷ Rappel : $15 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ est le critère pour l'appellation passive d'une maison. Elle est la norme pour les constructions établies à partir de 2020 par la Directive PEB (2010)

⁵⁸ Ibidem.

⁵⁹ Dans nos calculs, nous en avons défini trois en fonction des classes ciblées afin de pouvoir comptabiliser les maisons démolies de chaque classe. Cependant, elles sont toutes définies avec une consommation de $15 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$.

parc est calculée. Celle-ci est rendue possible par l'attribution des niveaux d'efficacité énergétique à chaque classe. Enfin, nous estimons les **émissions de GES associées** à cette consommation. A ces fins, nous utilisons les facteurs d'émissions définis dans le chapitre 2. Pour cela, nous projetons le mix énergétique⁶⁰ utilisé pour le chauffage résidentiel jusque 2050. Nous pouvons alors quantifier dans quelle mesure les objectifs sont atteints par la rénovation ou la démolition en calibrant notre outil à l'année de référence, 1990.

§1 : Évolution physique du parc

Afin d'estimer la projection du nombre total de bâtiments du parc jusque 2050, nous appliquons un taux de croissance à la somme des classes par année. Pour nos prévisions, une moyenne des 3 taux proposés par la CPDT est utilisée⁶¹ :

- *Taux de croissance annuel du parc pour la période 2010-2050 : 0,75%*⁶²

Les nouvelles maisons construites chaque année constituent « la croissance du stock » et sont inférées équitablement entre les trois types de maisons. Jusqu'en 2019, c'est dans les classes 5 qu'elles sont ajoutées. A partir de 2020, ces dernières sont enregistrées dans la classe 6.

§2 : Calcul de la consommation annuelle du parc

La consommation annuelle du parc de bâtiments résidentiels est calculée selon la formule suivante :

$$\sum_{\text{Classe}} \left((\text{Consommation moyenne par unité classe (i)}) * (\# \text{ de bâtiments recensés en classe (i)}) \right)$$

Cette dernière est donc calculée par le produit de la consommation attribuée aux différentes classes avec le nombre de bâtiments respectif à chacune.

En sommant les six classes d'anciennetés pour les trois types de maisons, les classes de rénovation par type ou la classe de démolition/reconstruction en fonction du scénario désiré, nous obtenons la consommation annuelle du scénario étudié.⁶³

⁶⁰ Rappel : le mix énergétique du chauffage correspond aux principaux combustibles utilisés pour le chauffage d'une maison

⁶¹ Soit: 0,5%; 0,75% et 1%

⁶² Sur la période 2010-2050, nous enregistrons une croissance moyenne des bâtiments résidentiels de 35%, les études du Bureau Fédéral du Plan prévoient quant à eux une croissance de 44% sur la même période

⁶³ Nous calculons une consommation de 39,37 TWh en 2009. Cette même année, la consommation du secteur calculée par la Région était de 32,02TWh

Dans nos calculs, le résultat issu de la formule ci-dessus est exprimé en TWh/m². Puisqu'il provient de la modélisation des consommations moyennes des maisons en kWh/m².an, afin de la convertir en TWh⁶⁴, nous avons besoin d'une estimation de la surface moyenne des logements belges⁶⁵. Soit, 109 m² gardé constant dans nos projections.

§3 : Calcul des émissions de GES annuelles du parc

Afin d'estimer les émissions de GES dégagés par la consommation annuelle du parc, nous répartissons cette dernière entre les principaux combustibles utilisés pour le chauffage. A savoir, le mazout, le gaz naturel, l'électricité et l'électricité SER. Les parts des consommations du mix énergétique sont multipliées par leur facteur d'émission respectif⁶⁶. Le résultat est donné en tonne équ. CO₂.

- *Projection du mix énergétique*

Nous nous basons ici, sur une conception générale (pour ne pas dire grossière) des prévisions énergétiques du Bureau Fédéral du Plan pour la Belgique. Il est important de considérer que cette étape reste subjective. En outre, certaines considérations apportent un point de vue relativement personnel. Ainsi, afin de comprendre le raisonnement de projection, qui accorde une place prépondérante à l'électricité SER dans l'utilisation du chauffage, il faudrait voir se développer massivement des technologies permettant un chauffage électrique efficient. Les avancées comme la batterie résidentielle Tesla serviront de tremplin pour y parvenir.

Ce qui ressort globalement des diverses prévisions quant au futur énergétique belge est un système où gaz naturel et électricité SER dominant en 2050. En effet, dans les prévisions du Bureau Fédéral du Plan, 44% de la production d'électricité serait SER en 2050⁶⁷. En ce qui concerne le gaz naturel, ce combustible n'a pas une forte teneur en carbone, cela en fait une source relativement propre. Cependant nous ne prenons pas en compte la raréfaction de la ressource dans le futur et par conséquent les effets liés à son coût dans notre étude. Un environnement macroéconomique assez complexe constituant une multitude de facteurs nous pousse donc dans la voie de la simplification.

⁶⁴ 1 TWh = 1000 000 000 kWh

⁶⁵ Selon l'Institut National de Statistiques Belges

⁶⁶ A savoir, le mazout, le gaz naturel, l'électricité et l'électricité SER

⁶⁷ Bien que cette source soit déjà présente aujourd'hui et depuis quelques années, dans notre étude ce n'est qu'à partir de 2020 que son utilisation apparaît pour s'intensifier jusqu'en 2050. Cet aspect représente une limite importante dans l'interprétation des résultats. Cela afin d'accentuer la transition des combustibles dans le mix énergétique du chauffage.

A la suite de ces constats, nous ferons l'hypothèse d'un mix énergétique composé en 2050 à 55% de gaz naturel, soit presque le double de sa part en 2000, 35% en électricité, dont la totalité SER et 10 % de mazout, les trois principales sources utilisées pour le chauffage.

La source de l'électricité SER est ajoutée par nos soins de façon à projeter une rupture dans le mix, la substitution du mazout et de l'électricité des centrales au profit de celle SER et du gaz naturel. En 2001, l'électricité était utilisée à 8% dont 2 % SER pour le chauffage (voir partie chapitre 2). La disparition de l'électricité provenant des centrales en 2025 au profit de l'introduction de l'électricité SER en 2020 est inspirée des récentes discussions ayant porté sur la fermeture puis la réouverture des centrales nucléaire Doel 1 et Doel 2. Rappelons que ce n'est pas la transition énergétique qui est étudiée ici.

Combustible	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Mazout	55%	53%	46%	34%	22%	10%
Gaz naturel	31%	38,50%	43%	48,50%	52%	55,00%
Electricité	8%	6,50%	3,50%	0%	0%	0%
Electricité SER	0%	0%	7%	17,50%	26%	35%

Tableau 10 : Évolution des combustibles utilisés par les logements wallons pour le chauffage⁶⁸

- Estimation des émissions de GES

Nous dégageons les parts de la consommation annuelle grâce au mix énergétique. Ces dernières sont ensuite converties en énergie primaire afin de pouvoir multiplier chaque consommation par combustible avec son facteur d'émissions (chapitre 2) de façon à dégager des tonnes équ. CO₂.

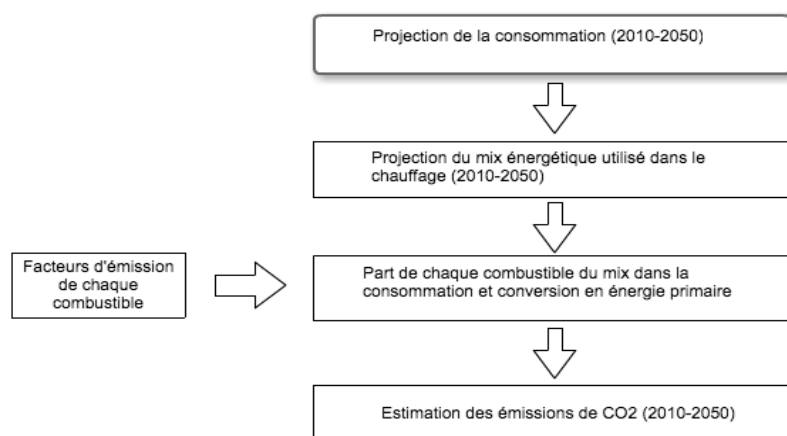


Figure 12 : Organigramme de la méthode d'estimation des GES

⁶⁸ La projection réalisée sur le mix est faiblement estimée. Entre autre, nous y avons considéré les trois principaux combustibles pour le chauffage ménager. Voir annexe 10 page A14 : calculs de la consommation annuelle du parc, calculs des émissions de GES

§4 : Calibrage du modèle aux objectifs européens

Tout au long de notre revue théorique, nous n'avons cessé de rappeler le fait que les objectifs de réduction se rapportaient à l'année de référence : 1990. Ainsi, pour obtenir une quantité d'émission cohérente et donc calibrée à notre modèle nous estimons les quantités émises de cette année à partir des données modélisées pour 2010, c'est ce que nous appelons « le calibrage »⁶⁹.

- 18% de réduction des quantités émises réellement entre 2010 et 1990⁷⁰,
- Objectifs selon l'étude citée ci-dessus⁷¹ :
 - - 0,4% annuel de 1990 à 2010,
 - - 5,1% annuel de 2010 à 2050.

Une fois cette valeur estimée, il ne reste plus qu'à calculer une réduction annuelle de -0,4% de 1990 à 2010 et de -5,1% annuel de 2010 à 2050.

Ceci nous permet de mettre en évidence les efforts à réaliser afin de respecter les engagements et donc de « mesurer » l'atteinte des objectifs de manière cohérente avec les estimations modélisées.

Section III : Définition des scénarios et hypothèses de recherche

§1 : Hypothèse de recherche

Afin d'affirmer le constat établi tout au long de nos recherches, il semble pertinent d'étudier quantitativement dans quelle mesure des actions de remise à niveau sur les entités les plus vétustes permet de satisfaire les objectifs européens.

Hypothèse de recherche :

- ✓ ***Quelle méthode entre la rénovation ou la démolition/reconstruction de toutes les maisons des classes 1, 2 et 3 pour 2050 permettra d'atteindre les objectifs de réduction de GES?***

Rénover ou démolir tous les bâtiments qui ont en cette date plus de 30 ans pour 2050 est un challenge difficile à s'imaginer en pratique. Cependant, cette question de recherche nous

⁶⁹ Voir annexe 13, page A18 : Calibrage du modèle aux objectifs

⁷⁰ Nous nous référons ici à l'étude « Vers une Wallonie Bas Carbone en 2050 », réalisée par Climact pour l'Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC). Celle-ci nous permet de comptabiliser les réductions nécessaires dans notre modèle pour atteindre les objectifs selon leurs calculs

⁷¹ Ibidem.

permettra de comparer les deux méthodes et ainsi émettre des pistes de réflexions quant à l'atteinte des objectifs et la manière d'y arriver.

§2 : Scénario « Statu quo »

Dans ce scénario, nous évaluons l'évolution de la situation si aucune action n'est menée sur la remise à niveau physique du parc. Ici, seul le taux de croissance annuel du parc est un facteur influençant l'évolution de la consommation.

§3 : Scénario « Rénovation »

Dans ce scénario, nous définissons l'hypothèse de recherche suivante :

✓ *Pour 2050, toutes les maisons des classes 1, 2 et 3 sont rénovées.*

Les bâtiments les plus anciens, ceux de la classe 1, subissent la rénovation maximale (de type A) et les plus récents une rénovation amoindrie (de type B et C respectivement). Afin de vérifier notre hypothèse de recherche, nous voulons donc ramener à zéro le nombre d'entités se retrouvant dans les classes 1, 2 et 3 pour 2050. Chaque année, une partie des bâtiments recensés dans ces classes seront rénovés puis transférés dans la classe de rénovation adéquate servant à les comptabiliser dans la consommation du parc.

Afin de rénover toutes les maisons ciblées, nous utilisons un taux de rénovation annuel et constant, à appliquer chaque année sur le nombre de bâtiments de la classe ciblée. Il faudra veiller à ce que la somme des unités recensées dans les deux classes soit toujours égale à la valeur initiale de la classe, de façon à respecter l'évolution physique du parc. Ce taux est calculé par le taux de croissance annuel moyen (TCAM) entre la valeur initiale de la classe visée et 0 sur la période 2010-2050.

Pour cela, nous posons deux hypothèses :

- Nous travaillerons en nombre réel bien que nous devrions rester en nombre entier.
- Nous approximations zéro à 0,4 dans nos calculs, représentant le nombre de bâtiments restant en classe 1 en 2050.

	Classes ciblées		Classes de rénovation			Taux de rénovation annuel/classe
	Valeur 2009	Valeur 2050		Valeur 2009	Valeur 2050	
Classe 1	166070	0 ($\approx 0,4$)	Type A	0 ($\approx 0,4$)	166070	27,63%
Classe 2	76848	0	Type B	0	76848	26,22%
Classe 3	92750	0	Type C	0	92750	26,57%

Tableau 11: Taux de rénovations annuels et constants par classe cible (pour le type 4 façades⁷²)

Chaque année, c'est donc 27,63% des bâtiments de la classe 1 qui sont rénovés pour être ajoutés dans la classe rénovation adéquate. La classe 1 se réduit donc annuellement pour arriver à 0,4 approximé à zéro en 2050. La classe de rénovation augmente pour arriver à 166 070 bâtiments en 2050. C'est donc un transfert entre les unités des classes qui est modélisé⁷³.

A terme, c'est 67% du parc entier qui est rénové, 64% des rénovations concerne la classe 1, 20% la classe 2 et 16% seulement la classe 3 (pour les 3 types de maisons). Cependant, ne perdons pas de vue que 85% des rénovations en Europe engendrent une efficacité de seulement 15% par rapport à la situation de départ, 10% de ces rénovations engendrent 45% d'efficacité et seulement 5% engendrent des gains énergétiques à hauteur de 75% (BPIE, 2011).

§4 : Scénario « Démolition »

Dans ce scénario, nous définissons l'hypothèse de recherche suivante :

✓ ***Pour 2050, toutes les maisons des classes 1, 2 et 3 sont démolies et reconstruites.***

La méthodologie est identique au scénario rénovation⁷⁴.

	Classes ciblées		Classes de démolition			Taux de rénovation annuel/classe
	Valeur 2009	Valeur 2050		Valeur 2009	Valeur 2050	
Classe 1	166070	0 ($\approx 0,4$)	Démo 1	0 ($\approx 0,4$)	166070	27,63%
Classe 2	76848	0	Démo 2	0	76848	26,22%
Classe 3	92750	0	Démo 3	0	92750	26,57%

Tableau 12: Taux de démolitions annuels et constants par classe cible (pour le type 4 façades)

Nous remarquons que les taux de démolitions et de rénovations sont similaires. Cela paraît logique puisque l'hypothèse de recherche cible les mêmes classes, que ce soit pour la rénovation ou la démolition et couvre le même objectif dans l'idée d'une comparaison.

⁷² Nous présentons les taux du type 1 de maisons uniquement. La méthode poursuivie pour les autres types est identique

⁷³ Voir annexe 12, page A16 : modélisation mathématique

⁷⁴ Voir annexe 11, page A16 : taux de rénovations et démolitions constant et annuels

Section IV : Résultats

Nous présentons dans cette partie les résultats obtenus pour les trois scénarios étudiés. Nous apprécierons tout d'abord les effets sur la consommation en TWh, puis celles des émissions de GES en tonnes équivalent CO₂. Enfin, nous présenterons les résultats de l'analyse de sensibilité, de l'analyse de coûts financiers qui permettra de comparer la VAN des deux options. Et enfin, une esquisse de coût énergétique est menée pour finir avec une évaluation du caractère « durable » des deux projets.

§1 : Scénario « Statu quo »⁷⁵

L'étude de ce scénario permet de souligner l'importance d'une remise à niveau du parc face à une situation où aucune action n'est menée. En outre, celui-ci permettra la comparaison des deux projets.

• Évolution de la consommation

Nous constatons sur le tableau ci-dessous que la consommation augmente de 4,28% sur la période 2009-2050. La tendance générale semble être en accord avec le descriptif fait dans la partie 1. Cependant, 4% de croissance sur 41 ans pour 353 806 nouvelles constructions comparés au 5,9% de croissance entre 1990 et 2010 semble peu. L'effet est attribuable à l'efficacité des mesures prises, notamment le respect de la directive PEB concernant le seuil de 15 kWh pour les maisons construites à partir de 2020.

Consommation en TWh - Statuquo					
2009	2010	2020	2030	2040	2050
39,374	39,493	40,619	40,755	40,902	41,06
TCAM		0,10%	Evolution 2009 2050		4,28%

Tableau 13: Tableau d'évolution de la consommation en TWh (2009-2050) – statu quo

• Evolution des émissions

Nous remarquons sur la figure ci-dessous que, grâce à la transition de l'énergie fossile à l'énergie électrique SER, bien que la consommation finale de chauffage augmente, les émissions, elles, sont en baisse de 20,43 % entre 2009 et 2050. Cette baisse est uniquement attribuable aux passages d'une énergie fortement émettrice à une énergie plus propre. Notamment la disparition du mazout (facteur d'émission de 0,26 kg equ. CO₂/kWh) au profit du gaz naturel (0,2 kg equ. CO₂/kWh) et de l'électricité SER.

⁷⁵ Voir annexe 14, page A19 pour les résultats du scénario “statu quo”.

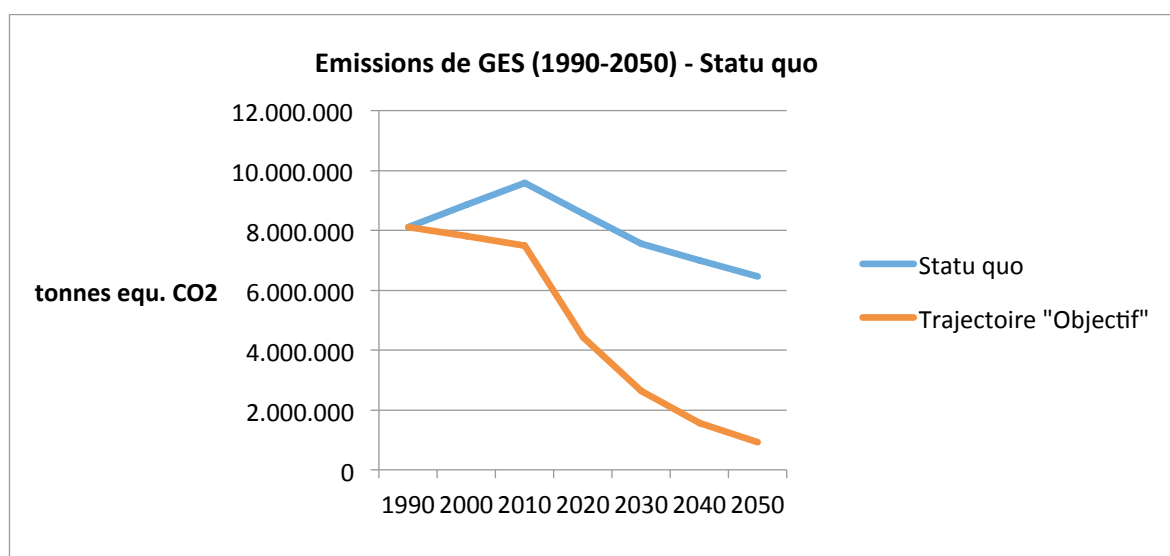


Figure 13 : Evolution des émissions de GES (1990 – 2050) – statu quo

En outre, la figure nous démontre que les objectifs ne sont pas atteints si aucune action n'est menée sur la remise à niveau du parc bien que les émissions soient en baisse. Le pic d'émissions en 2010 est relatif à notre modélisation qui a dû être calibrée à nos calculs.

§2 : Scénario « Rénovation »⁷⁶

• Évolution de la consommation

L'option de la rénovation engendre une réduction de la consommation de 64,8 % sur la période 2009-2050. Cette baisse est attribuable aux rénovations des classes 1, 2 et 3 uniquement.

Consommation en TWh - Rénovation					
2009	2010	2020	2030	2040	2050
39,374	31,994	14,212	13,593	13,709	13,866
TCAM		-2,51%	Evolution 2009 2050		-64,79%

Tableau 14: Evolution de la consommation en TWh (2009-2050) – rénovation

Cependant, nous pouvons remarquer que la consommation baisse dans une plus forte mesure entre 2010 et 2020. Cela traduit la faiblesse de notre modèle concernant les taux de rénovations annuels constants. Un autre fait remarquable est la légère augmentation de la consommation entre 2040 et 2050. Celle-ci traduit l'hypothèse effectuée pour déterminer les taux de rénovations.

⁷⁶ Voir annexe 15, page A20 pour les résultats du scénario « Rénovation »

• Évolution des émissions

Nous constatons que les émissions diminuent de 73,1 % sur la période 1990 -2050 par rapport à une réduction de 20,43 %⁷⁷ si aucune action n'est menée. C'est donc plus ou moins 50% de cette baisse qui est attribuable aux rénovations.

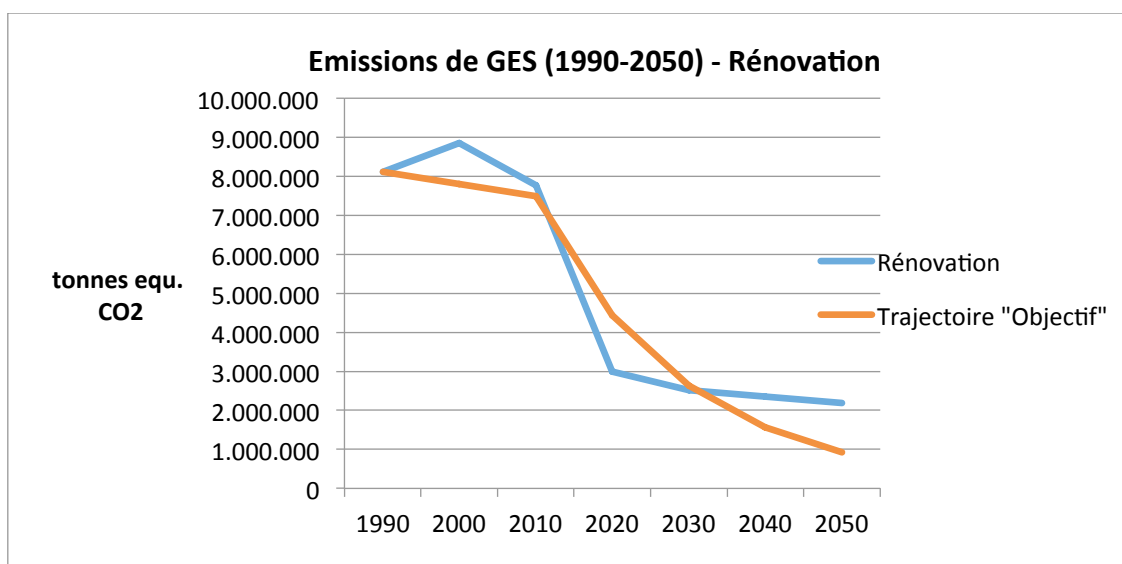


Figure 14: Evolution des émissions de GES (1990-2050) – rénovation

Les objectifs ne sont pas atteints malgré qu'en 2050, tous les bâtiments résidentiels datant d'avant 1985 sont rénovés (67%). Sur ces 67% de rénovations, 64% ont reçu une rénovation lourde de type A, 20%, une rénovation de type B et 16% une rénovation de type C. Ce qui est relativement opposé à ce qui se pratique sur le terrain (1,5% de rénovation annuelle et 5% seulement de rénovations lourdes. (BPIE, 2011)).

La baisse drastique entre 2010 et 2020 couple la limite des taux de rénovations annuels constants et les hypothèses de projections du mix. Notamment la transition du mazout au profit du gaz naturel et de l'électricité SER.

§3 : Scénario « Démolition »⁷⁸

• Évolution de la consommation

Le tableau ci-dessous dévoile l'évolution de la consommation quand l'option démolition est entreprise. Nous constatons que la démolition permet la réduction de 87,34% la consommation énergétique du parc sur la période 2009-2050. L'efficacité de la méthode est démontrée ici.

⁷⁷ Voir annexe 15, page A20 pour les résultats du scénario « Rénovation »

⁷⁸ Voir annexe 16, page A21 pour les résultats du scénario « Démolition »

C'est donc au total 353 806 nouvelles constructions passives plus la reconstruction de 901 179 bâtiments qui a permis cette réduction. Le poids des bâtiments les plus anciens semble se confirmer. L'efficacité de la directive PEB semble également une bonne alternative pour réduire la consommation du parc. Cependant, ces taux de démolitions sont conséquents.

Consommation en TWh - Démolition					
2009	2010	2020	2030	2040	2050
39,374	29,661	5,645	4,726	4,827	4,983
TCAM		-4,92%	Evolution 2009 2050		-87,34%

Tableau 15 : Évolution de la consommation en TWh (2009-2050) – démolition

Ici encore, la consommation baisse dans une plus forte mesure entre 2010 et 2020. La cause est identique que celle évoquée pour la rénovation. La légère augmentation de la consommation entre 2040 et 2050 également. En effet, les taux de démolition annuels et constants sont équivalents dans les deux scénarios et ont été déterminé de la même manière.

- **Évolution des émissions**

Nous observons sur le graphique suivant, que les objectifs sont atteints et même dépassés avec la démolition (-90,34% de 1990 à 2050). Près de 70% de cette réduction est attribuable à la démolition et la reconstruction de 901 179 bâtiments.

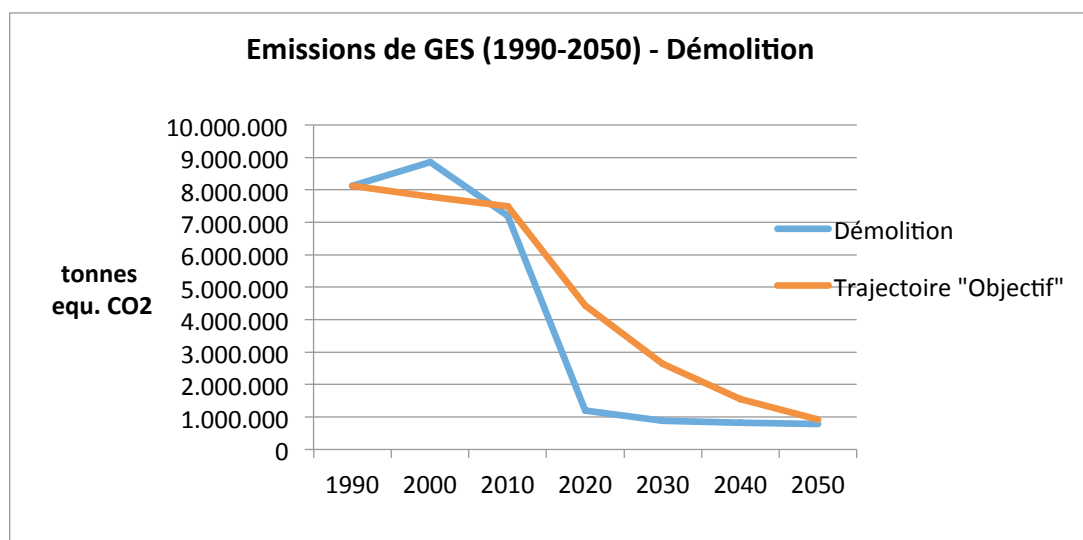


Figure 15 : Evolution des émissions de GES (1990-2050) – démolition

La même remarque que pour la rénovation peut s'affirmer. La réduction drastique des émissions de 2010 à 2020. Les causes de ce constat sont la prise en compte des rénovations à partir de 2010 à un taux par classe, constant, de 26 % en moyenne. Ce constat s'explique également par la projection du mix énergétique. En outre, les émissions des années

antérieures à 2010 sont estimées d'une manière trop simpliste par le calibrage pour être discutées.

§4 : Confrontation des scénarios

Certaines observations méritent d'être rappelées. Nous avons souligné la croissance modérée de la consommation entre 2010 et 2050 (+4% contre +5,9% observé entre 1990 et 2010), pour 353 806 nouvelles constructions dans le scénario « **Statu quo** ». Ceci valide la direction prise au niveau européen et belge avec l'adoption de la directive PEB en 2010, notamment l'exigence passive des nouvelles constructions pour 2020. Au niveau des émissions, une baisse de 20,4% (1990-2050) est attribuée aux transitions d'énergies dans le mix énergétique du chauffage (gaz naturel et électricité qui remplacent le mazout et l'électricité conventionnelle).

Dans le scénario « **Rénovation** », c'est une baisse de 64% qui est observable entre 2010 et 2050. C'est donc plus ou moins 40% de cette baisse qui est attribuable aux rénovations des 901 179 bâtiments des classes 1, 2 et 3 avec une priorités sur les bâtiments de la classe 1 (les plus vieux). Rappelons que ces faits vont dans le sens inverse des pratiques européennes, en effet 85% des rénovations engendrent 15% d'efficacité seulement (BPIE, 2011) pour 64% de rénovations engendrant 90% d'efficacité dans notre modèle. Les émissions baissent de 73% entre 1990 et 2010.

Dans le scénario « **Démolition** », la consommation baisse de 87% entre 2010 et 2050. C'est la démolition des 901 179 bâtiments les plus anciens qui permet d'atteindre ce résultat. Ici encore, nous validons la direction prise avec la directive PEB. En outre, nous confirmons le poids des bâtiments les plus anciens dans la facture énergétique de ce dernier. Les émissions baissent de 90,34% entre 1990 et 2050.

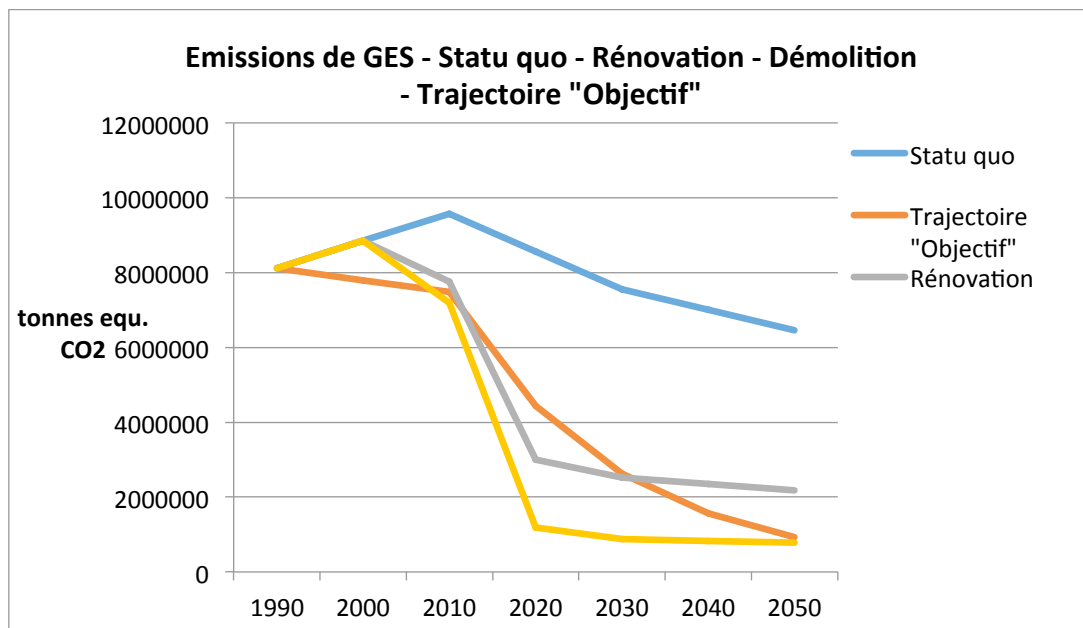


Figure 16 : Évolution des émissions de GES pour les trois scénarios (1990-2050)

Une amélioration de l'outil permettrait de pousser la comparaison. En effet, les fortes pentes observables pour la rénovation et la démolition témoignent d'un problème au niveau des taux utilisés. Garder un taux constant signifie plus de rénovations ou démolitions en début d'horizon (de 2010 à 2020).

En outre, nous regrettons les projections effectuées sur le mix énergétique. Dans une idée de comparaison des deux méthodes, celles-ci sont trop légères et subjectives afin d'identifier les effets des rénovations et démolitions sur les émissions de GES.

Une priorité maximale donnée à la démolition et la reconstruction de 67% du stock permet la réduction de 90% des émissions par rapport à leur niveau en 1990. Cependant, comme nous l'avons remarqué dans la partie 2, l'option de la démolition demande davantage d'investissements, recèle plus d'incertitudes et requiert une gestion des déchets optimisée. C'est dans cette optique de complétude que seront menées les analyses suivantes.

Les résultats obtenus jusqu'ici nous mènent à une réflexion. Les politiques et les incitants vont tout droit à la rénovation, d'ailleurs, c'est au mois de janvier 2015 que celles-ci ont été entièrement réformées⁷⁹. Pourquoi continuer sur cette trajectoire alors même qu'un décuplement des efforts ne permettra pas d'atteindre les objectifs ?

⁷⁹ Avec notamment la 6^{ème} réforme, visant à redistribuer les compétences entre le niveau régional et fédéral.

§5 : Test de sensibilité

Afin de tester la robustesse de notre modèle, nous réalisons un test de sensibilité sur nos résultats. Nous apprécierons donc les écarts sur ces derniers quand l'hypothèse de recherche est relâchée ou resserrée. L'hypothèse de recherche centrale est : les objectifs sont-ils atteints avec la remise à niveau des entités les plus anciennes du parc (celles des classes 1, 2 et 3). Si oui, quelle méthode est la plus efficace ?

Pour les deux scénarios, l'hypothèse renforcée se définira par l'ajout d'une classe cible, la classe 4 (bâtiments construits avant 1997). Une plus grande quantité de bâtis sont rénovés ou démolis sur la même période.

- H fort : classes cibles = 1, 2, 3 et 4

L'hypothèse relâchée se définira par moins d'entité rénovée à travers la réduction d'une classe cible (la classe 3).

- H faible : classes cibles = 1 et 2

Les résultats obtenus⁸⁰ ne sont que faiblement influencés par une hypothèse de recherche plus forte ou plus faible pour la rénovation par rapport à la démolition. Cela s'explique d'une part par la limite de notre modèle concernant les types de rénovation et leur distribution, d'autre part, les classes ciblées par notre question de recherche. En effet, nous avons ciblé les bâtiments les plus vieux, cependant, nous avons vu que ces derniers étaient fort représentés en Belgique. En effet, les bâtiments de la classe 4 et 3 correspondent ensemble à 15,6% du parc en 2050 comparé aux 67% des classes 1, 2 et 3.

Section V : Analyse de coût des deux options

Cette section aborde la méthodologie entreprise pour comparer financièrement les deux options d'investissements que sont la rénovation et la démolition. Nous avons tout d'abord donné un coût financier aux deux options afin d'en évaluer la VAN. Un coût énergétique est établi, celui-ci permet de déterminer quelle option engendre une facture d'énergie amoindrie pour les ménages. Cet aspect se révèle important à considérer puisque les besoins de chauffage d'un ménage font partie des besoins primaires. Enfin, un coût environnemental sera établi grâce à la notion d'énergie grise.

⁸⁰ Voir annexe 17, page A21 pour les résultats du test de sensibilité

§1 : Coût financier

Nous apportons dans ce point, un aperçu des coûts à supporter pour mener à bien chacune des options jusque 2050. Nous tâchons donc de donner un coût à deux options d'investissement d'une durée de 40 ans. En définissant un prix théorique au m² à nos trois types de rénovations ainsi qu'à une démolition suivie d'une reconstruction, nous pouvons estimer un coût en fonction du nombre de maisons revues à terme. La rentabilité de ces investissements sera discutée par le calcul de la VAN des investissements.

• Option rénovation

Une estimation des coûts supportés pour chacun des types de rénovation modélisée est utilisée (BPIE, 2011). Les rénovations de type A, reviennent à 580 €/m². Les rénovations de type B coûtent 150 €/m². Celles de type C, elles, 60 €/m². Afin d'obtenir le coût total de l'option rénovation sur la période 2010-2050, nous comptabilisons le nombre de rénovation selon le type (chapitre 4).

Rénovation de 901179 bâtiments			
Classes de rénovations	Nbre de réno/classe	Coût (€) réno/unité	Coût/classe (€)
Type A	577030	168200	97056446000
Type B	177154	16350	2896467900
Type C	146995	6540	961347300
Coût de l'option rénovation (€)		100.914.261.200	

Tableau 16 : Calcul du coût de l'option rénovation en €

L'investissement « rénovation » reviendrait à **101.914.261.200€**. Un coût qui prend en compte la rénovation de 901 179 maisons sur une période de 40 ans. On constate, malgré que les objectifs ne soient pas atteints en 2050, plus de la moitié des rénovations effectuées dans nos prévisions sont lourdes et apportent une efficaces de 50 à 90 %, à l'inverse des pratiques aperçues en Europe.

• Option démolition

Le coût d'une démolition est estimé à 40 000 €⁸¹ en moyenne (voir chapitre 4). La reconstruction est estimée⁸² à 2 000€/m², montant estimé pour la construction d'une maison passive⁸³ dont la consommation moyenne est de 15kWh/m²/an.

⁸¹ Non dépendant du nombre de m² à démolir

⁸² Pour un bien d'une surface moyenne de 109 m²

Afin d'obtenir le coût total de l'option démolition sur la période 2010-2050, nous comptabilisons le nombre de démolition suivies de reconstructions sur la période.

Démolition et reconstruction de 901179 bâtiments				
Classes de démolitions	Nbre de démo/classe	Coût (€) démo/unité	Coût (€) constr/unité	Coût/classe (€)
Type A	577030	40000	218000	148.873.740.000
Type B	177154	40000	218000	45.705.732.000
Type C	146995	40000	218000	37.924.710.000
Coût de l'option rénovation (€)			232.504.182.000	

Tableau 17 : Calcul du coût de l'option démolition en €

Pour le même nombre de bâtiment remis à niveau que dans la rénovation, le coût de l'investissement est de **232.504.182.000€**, soit plus du double que pour la rénovation. Ces constatations nous permettent d'affirmer les coûts supérieurs de l'option discutés dans le chapitre 4. Cet aspect constitue un frein important de la démolition et reconstruction par rapport à la rénovation.

- **VAN des deux options**

A présent, afin d'évaluer la rentabilité de ces deux investissements, nous calculons une VAN de chacun. La VAN est la valeur actuelle nette du projet. Cette notion permet de comparer la rentabilité de deux options d'investissements en prenant en compte l'investissement initial et les rentabilités futures actualisées. Elle permet donc une prise en compte de l'horizon temporel important du retour sur investissement. Cependant, comment donner une valeur aux quantités de GES évitées suite à ces deux investissements ? Cela reviendrait à donner un coût aux externalités négatives provoquées par ces émissions.

Nous opérerons d'une manière plus simple ici. Supposons une valeur de 50€⁸⁴ la tonne de CO² sur un marché aux enchères. Admettons que chaque tonne de GES évitée peut être revendue sur ce dernier, cette valeur représente les rentabilités des deux projets.

Les quantités de GES évitées sont calculées par la somme des différences entre les émissions annuelles du scénario statu quo, entre 2010 et 2050, et celles des scénarios rénovation ou démolition sur la même période.

⁸³ Rappel : Satisfaisant l'appellation passive, conformément à la réglementation PEB avec une consommation moyenne de 15kWh/m²/an

⁸⁴ Correspondant à la valeur d'1 tonne equ. CO₂ sur un marché d'échange aux enchères

En posant l'hypothèse que les quantités évitées à terme sont revendues annuellement aux enchères et de manière linéaire⁸⁵ sur la période d'investissement (40 ans de 2010 à 2050), nous pouvons déterminer une rentabilité annuelle perçue en euro (annuité).

Suivant les formules suivantes :

$$\bullet \quad VAN = -I + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{Annuité}_i}{(1+r)^i} \right)$$

$$\bullet \quad \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{Annuité}_i}{(1+r)^i} \right) = \text{Rent} * \left\{ \frac{\left(1 - \frac{1}{(1+r)^n}\right)}{r} \right\}$$

Les résultats sont observables sur le tableau ci-dessous. Pour les deux options, l'investissement n'est pas rentable. Nous observons que la VAN est plus avantageuse pour l'option de la rénovation. En effet, l'option de la rénovation possède un coût de revient pour réduire la tonne de GES de **512 €/tonne**. La démolition elle **891 €/tonne**.

Nous avons converti les émissions évitées chaque année en euro via trois prix de reventes : 50, 100 et 200 €. Nous observons que plus les prix augmentent, plus la rentabilité s'améliore. Il faudrait donc que le coût d'émettre du CO₂ augmente pour que la rentabilité des projets envisagés s'améliore.

Investissements (€) (40 ans)		t equ. CO2 évitées p/r statuqo	t equ. CO2 évitées/an	Coût de réduction €/tonne equ. CO2
I réno	100.914.246.200	197.051.272	4.926.282	515 €
I démo	232.504.182.000	261.301.241	6.526.025	891 €
VAN des investissements		Taux d'actualisation = 5% t = 40 ans		
Prix de revente €/tonne évitée		50 €	100 €	200 €
I réno (annuités)		246.314.089	492.628.179	985.256.358
I démo (annuités)		326.301.241	652.602.483	1.305.204.966
Somme actualisée des annuités (€)				
I réno		4.226.524.730	8.453.049.461	16.906.098.922
I démo		5.599.031.179	11.198.062.359	22.396.124.718
I réno VAN		-96.687.736.470	-92.461.211.739	-84.008.162.278
I démo VAN		-226.905.150.821	-221.306.119.641	-210.108.057.282

Tableau 18 : Calcul de la VAN pour les deux options en €

Cependant, le fait de considérer la rentabilité à prix fixe pour la tonne de CO₂ mène à des incertitudes. En effet, bien que le prix de la tonne soit à la baisse ces dernières années, il faudrait que ces derniers augmentent d'une proportion drastique afin que ces investissements deviennent rentables via une revente des émissions évitées sur un marché aux enchères.

⁸⁵ Nous pouvons ainsi les qualifier les rentabilités annuelles d'annuités

En conclusion, l'option de la démolition est bien moins avantageuse que la rénovation financièrement. Investir en 2010 pour atteindre les objectifs en 2050 nécessite un coût de réduction de 512 € la tonne pour la rénovation et 891 € pour la démolition. En outre, la VAN confirme ce résultat malgré l'actualisation des bénéfices sur la période d'investissement.

§2 : Effet sur la facture énergétique du parc

Calculer la facture énergétique annuelle sur la période 2010-2050 nous permet de situer laquelle des options permet la plus forte réduction de cette dernière. Cet aspect est important de par son caractère social. En outre, un ménage ne pouvant pas se chauffer révèle une précarité financière, un signal aussi fort qu'un seuil de pauvreté. En effet, il semble primordial que les mesures entreprises optimisent à la fois le caractère environnemental mais aussi social de la question.

Nous définissons donc un prix au kWh⁸⁶ pour chacun des combustibles utilisés dans le chauffage ménager. Il faut noter que nous ne prenons pas en compte ici, les éventuelles variations des coûts de l'énergie. Les valeurs sont donc interprétées en nominal. En effet, la situation actuelle concernant les prix de l'énergie est instable et sa prise en compte compliquerait grandement la tâche.

L'option du statu quo réduit la facture de 37%⁸⁷ et cette variation n'est attribuable qu'aux transitions d'énergies utilisées dans le mix. Aucune action n'est menée dans ce scénario. La démolition elle, engendre une réduction de 92% de la facture annuelle par rapport à la situation du statu quo sur la période de travaux. Sans surprise, vient ensuite la rénovation qui la réduit de 78%. Ces valeurs sont directement liées à la consommation par le facteur du prix, ce dernier étant resté constant, ces valeurs sont exprimées en nominal.

§3 : Bilan environnemental

L'énergie grise est : « *La quantité d'énergie nécessaire au cycle de vie d'un matériau ou d'un produit : la production, l'extraction, la transformation, la fabrication, le transport, la mise en œuvre, l'utilisation, l'entretien puis pour finir le recyclage. (...) Cette connaissance peut guider ou renseigner les choix notamment en vue de réduire l'impact environnemental.* » (Wikipédia, Energie grise, 2015)

Le bilan d'énergie grise d'une maison se représente sous plusieurs étapes :

⁸⁶ Voir annexe 18, page A22 : Prix au kWh des principaux combustibles du mix énergétique

⁸⁷ Voir annexe 19, page A22 : Coût de la facture énergétique annuelle du parc

- L'énergie dépensée pour sa construction, c'est-à-dire la production des matériaux nécessaires, leurs acheminements, leurs transformations (12% sur le cycle de vie d'une maison. Allacker (2010)) ;
- L'usage quotidien, qui correspond aux besoins de confort, comme le chauffage (75% sur le cycle de vie d'une maison (Allacker, 2010)) ;
- La maintenance du bien, comme les rénovations (13% sur le cycle de vie d'une maison. (Allacker, 2010)),
- La gestion des déchets qui nécessite des moyens lourds pour l'état de l'environnement. (poids important lors de la démolition).

Nous avons vu que l'efficience des maisons pouvait grandement être améliorée via soit une rénovation ou une démolition suivie d'une reconstruction aux normes. L'enjeu désormais est de déterminer quelle option consommera le plus d'énergie pour arriver aux objectifs.

La consommation en énergie grise (en kWh/m²/an) d'une rénovation et d'une démolition/reconstruction sur le cycle de vie⁸⁸ du bâtiment correspond à **l'énergie dépensée** (ICEB, 2012)⁸⁹ :

- Rénovation : 82 kWh/m²/an,
- Démolition suivie d'une reconstruction : 200 kWh/m²/an.

Pour un total de 901179 bâtiments rénovés, d'une surface moyenne de 109 m² chacun et une durée de vie moyenne des maisons de 50 ans.

- Rénovation : 402,74 TWh,
- Démolition : 982,29 TWh.

Ces valeurs représentent donc l'énergie dépensée pour mener à bien les projets d'investissements. Nous pouvons alors les qualifier d'externalités. C'est la pollution inhérente aux deux méthodes, nécessaire à la remise à niveau de 67% du parc.

L'énergie économisée par les deux options de 2010 à 2050 est calculée par la somme des différences entre les consommations annuelles du scénario statu quo et celles du scénario en question. Ainsi, l'énergie économisée par les investissements vaut :

⁸⁸ Nous considérons ici une durée de vie moyenne de 50 ans pour une maison de façon à se calibrer à l'énergie économisée qui est calculée sur la période d'investissement de 2010 à 2050.

⁸⁹ L'ICEB (Institut pour la Conception Ecoresponsable du Bâti) est une association qui élabore des solutions innovantes en matière de développement durable dans le bâti et l'aménagement du territoire.

- Énergie économisée par la rénovation : 1043,46 TWh,
- Énergie économisée par la démolition : 1383,64 TWh.

Ce que nous appellerons **rentabilité environnementale** correspond à la différence entre les gains et pertes d'énergies apportés par les deux options :

- Rénovation : 640,72 TWh,
- Démolition : 401,35 TWh.

En conclusion, nous observons que la rénovation est plus rentable en termes d'externalité sur l'environnement. C'est l'option qui aura un impact environnemental le plus faible.

Section VI : Les limites de notre modèle

- La première limite est la projection du mix énergétique jusque 2050. Celle-ci fausse en partie l'interprétation des résultats. Cependant, elle est gardée constante aux trois scénarios. Nous aurions mieux fait de le garder constant dans le temps également.
- L'utilisation des taux de rénovation et démolition qui sont annuels et constants jusque 2050. Ce n'était pas le meilleur choix pour une répartition équitable des rénovations ou démolitions sur l'horizon de temps. En outre, la manière pour déterminer le taux nécessaire à la rénovation ou à la démolition de l'entièreté des classes ciblées n'est pas optimale.
- Mais aussi, le fait d'avoir pris pour cibles tous les bâtiments des classes 1, 2 et 3. C'est un objectif est trop conséquent. Le raisonnement sous-jacent à cette hypothèse était le fait qu'un immeuble construit en 1985 à 30 ans l'heure actuelle, mais en 2050 son ancienneté sera de 65 ans. En outre, nous avons vu que cette date correspondait aux premières réglementations thermiques wallonnes.
- Nécessaire au calibrage des objectifs à notre modèle, l'estimation simpliste des années 1990 et 2000 quant aux quantités de CO₂ émises. Ce qui entrave l'interprétation des résultats pour les années 1990 à 2010.
- La considération qu'une rénovation équivaut à une démolition. C'est-à-dire que les deux méthodes s'acquittent de réduire le nombre de bâtiments d'une classe ciblée. Nous pouvons qualifier l'hypothèse de centrale pour répondre à notre question de recherche et comparer les deux options.
- Nous travaillons en nombres réels alors que nous devrions travailler en nombres entiers.

- La croissance des bâtiments qui est simplifiée par une répartition équitable entre les types de maisons.
- Les surfaces moyennes des maisons qui sont gardées constantes jusque 2050. Pas de prise en considération concernant une demande croissante depuis quelques années pour les résidences plus petites et pour les appartements.

Section VII : Récapitulatif des résultats

Les résultats obtenus nous permettent de confirmer l'option de la démolition et reconstruction du parc, avec une réduction des émissions de **90,34%** par rapport à leur niveau en 1990.

Dans le scénario « **statu quo** » nous avons validé la direction prise avec l'adoption de la directive PEB, notamment l'exigence d'appellation passive des nouvelles constructions pour 2020. Avec laquelle la consommation croît de **4% sur 40 ans** pour 277 231 nouvelles constructions passives sur un total de 353 806 nouvelles constructions. (Contre 5,9% de 1990 à 2010)

Dans le scénario « **rénovation** », une baisse **64% de la consommation** est observable entre 2010 et 2050. 40% de celle-ci est attribuable aux rénovations des 901 179 bâtiments. Rappelons que la distribution des rénovations va dans le sens inverse des pratiques européennes. Les émissions baissent de **73%** entre 1990 et 2010, plus ou moins 20% de cette baisse est attribuable aux transitions d'énergies dans le mix, 50% reviennent aux rénovations des bâtiments les plus anciens.

Pour le scénario « **démolition** », la consommation baisse de **87%** entre 2010 et 2050. C'est la démolition des 901 179 bâtiments les plus anciens qui permet d'atteindre ce résultat. Ici encore, nous confirmons la direction prise avec la directive PEB. Les émissions baissent de **90,34%** entre 1990 et 2050, 70% de cette baisse est attribuable aux démolitions. En outre, nous réaffirmons le poids des bâtiments les plus anciens dans le bilan de consommation et d'émissions de GES du secteur.

Les résultats obtenus jusqu'ici nous conduisent à une réflexion. Les politiques et les incitants vont tout droit à la rénovation aujourd'hui. Pourquoi continuer sur cette trajectoire alors même qu'un décuplement des efforts ne permettra pas d'atteindre les objectifs ?

Pour y répondre, il a fallu comparer les deux options en terme de rentabilité financière et environnementale. D'un point de vue financier, l'option de la démolition est bien moins avantageuse que la rénovation alors même que les deux ne le sont pas. Investir en 2010 pour

atteindre les objectifs en 2050 nécessite un coût de réduction à la tonne de CO₂ de **512 €** pour la rénovation et **891 €** pour la démolition. En outre, la VAN confirme ce résultat malgré l'actualisation des bénéfices sur la période d'investissement.

Nous avons également démontré que la **rénovation est plus rentable en termes d'externalités sur l'environnement**. Son coût pour la collectivité (sa pollution) est moins important que l'alternative de la démolition. C'est l'option qui aura l'impact environnemental le plus faible. C'est-à-dire que même si la démolition permet une réduction plus importante (87%) de la consommation, les moyens mis en œuvre par la rénovation pour une réduction de 64% demandent moins d'énergie. Le bilan environnemental de la démolition est affirmé dans notre modèle.

Les tests de sensibilités ont faiblement influencés nos résultats et nous ont permis d'insister sur les limites de notre modèle. En effet, nous avons identifié les effets de la méthodologie adoptée pour déterminer les taux de rénovations et de démolitions annuels et constants. Nous avons également remis en question notre question de recherche qui cible les bâtiments des classes 1, 2 et 3 et qui représentent 67% du parc en 2050.

La rénovation et ses incitants tels que connaît le système wallon doivent donc continuer d'exister, en effet, l'option est plus rentable que la démolition, à la fois d'un point de vue financier et environnemental. Cependant il faudra se pencher sur la démolition de certains biens afin d'atteindre les objectifs sur le long terme.

Nous comprenons à présent, pourquoi l'option de la démolition est bien moins représentée que la rénovation. Elle nécessite des coûts financiers et une consommation sous-jacente (pollution) importante par rapport aux avantages qu'elle confère. Cependant, bien sélectionner les cibles à démolir en fonction des entités qui amélioreraient le plus leurs économies d'énergies, et ce de manière efficiente est une option envisageable afin d'accompagner la rénovation.

En effet, il n'existe pas de modèle applicable à l'ensemble de stock résidentiel. Pour certaines résidences, la rénovation sera efficiente, à la fois d'un point de vue énergétique et financier. Pour d'autres, elle ne le sera pas. Il faudra alors envisager la démolition et la reconstruction aux normes.

Section VIII : Discussion et recommandations

Notre question de recherche, qui avait pour objectif de déterminer quelle méthode entre rénovation et démolition des maisons datant d'avant les premières réglementations thermiques permettait la réduction des GES ; nous a permis d'affirmer le poids de ces derniers dans la facture énergétique du secteur. En outre, la comparaison effectuée entre rénovation et démolition nous démontre les avantages financiers et environnementaux de la rénovation. Nous comprenons à présent la direction suivie par la région en réformant cette année les primes et subsides alloués aux rénovations.

Cependant, bien que notre modèle soit fragilisé par ses hypothèses et ses simplifications, nous avons déterminé que seule la démolition des immeubles ciblés permettait l'atteinte des objectifs.

Il semble donc primordial d'instaurer une culture de la démolition pour les maisons le nécessitant.

• Recommandations

En conclusion, pourquoi faudrait-il choisir un modèle applicable à l'ensemble du stock. Alors que certains auteurs préconisent la méthode de la démolition à grande échelle, nous confirmons ce choix pour une atteinte des objectifs du secteur. Cependant, il faudra prendre en considération les effets de l'option sur les autres secteurs. En effet, nous avons vu qu'à la fois la rénovation et la démolition réduisent les émissions, tout en accentuant celles du secteur de l'industrie ou de la gestion des déchets. A contrario, la méthode permettra une adaptation du territoire aux futures technologies tout en favorisant des synergies entre par exemple, le secteur des transports et celui des résidences.

Ainsi, un outil plus poussée, prenant en compte ces faits permettrait un bilan mieux conçu. Cependant, la simulation risque d'être compliquée. Celle-ci réclamerait d'une part, de définir quelle méthode est nécessaire pour quels bâtiments, au cas-par-cas donc. D'autre part, il lui faudra prendre en considération les coûts en y intégrant les externalités causées par ces options. Pour cela, les notions d'énergies grises et de cycle de vie seront primordiales.

Pour de meilleures informations sur les bâtiments à cibler, nous proposons d'instaurer un comité d'audit énergétique du parc. Chaque année, ce dernier se chargera de l'inspection de bâtiments en fonction de leur efficacité énergétique et de leur ancienneté accessoirement.

Chaque année, le comité fixera un objectif quant à la démolition de certains bâtiments en fonction de la nécessité.

Une partie de ces bâtiments se verra, d'abord auditée, ensuite démolie et reconstruite par des entités neutres et aux normes. Le caractère régional du comité pour une meilleure gestion des différents freins est recommandé. En effet, nous avons vu que l'État a été impliqué dans les ruptures survenues dans le secteur de la construction. Redevenir un acteur indirect de ce dernier, en promouvant une répartition entre la rénovation et la démolition des bâtiments en fonction de leur nécessités augmenterait nos chances quant à l'atteinte des objectifs européens et internationaux.

Une autre recommandation, serait de développer des incitants directement auprès des entreprises de constructions et de rénovation. Cela permettra d'une part, de travailler sur le développement des technologies inhérentes à la démolition pour ce qui concerne la gestion des déchets. D'autre part, ceux-ci permettront de réduire les coûts financiers de façon à favoriser la pénétration de la méthode sur le marché.

Conclusion générale

Comme nous l'avons vu à travers ce mémoire, répondre aux objectifs européens de réduction des émissions est envisageable. Seulement, lequel des moyens de remise à niveau entre rénovation et démolition/reconstruction le permettra ? Dans quelles mesures et à quels prix ?

Dans la première partie de ce travail, nous avons présenté la vision générale de l'Europe visant à redessiner le modèle énergétique. L'ancienneté des bâtiments résidentiels belges a été décrite. Il a également été démontré que la principale source de consommation en énergie du ménage était le chauffage (75%). Partant du postulat qu'un immeuble plus vieux avait bénéficié de technologies moins efficaces dans l'isolation de ses murs, nous en avons déduit un impact sur sa consommation à travers des besoins de chauffage augmentés. Cela nous a conduits dans la direction d'une remise à jours du parc.

Dans la seconde partie, nous avons comparé d'une manière théorique, deux méthodes de remise à niveau des logements. La rénovation et la démolition suivie d'une reconstruction. Nous en avons, pour chacune, discuté les bâtiments à cibler ainsi que les avantages aussi bien financiers, énergétiques et environnementaux qu'elles procurent.

Dans la dernière partie, nous avons déterminé empiriquement laquelle des méthodes de remise à niveaux permettaient la réduction de 80 à 90% les émissions de GES. Pour y parvenir, nous avons étudié trois scénarios – le scénario « Statu quo », – le scénario « Rénovation » et – le scénario « Démolition ». Le premier aura servi de repère par rapport à la situation où aucune action n'est entreprise sur le stock résidentiel. Les entités ciblées par ces projets sont fonctions de l'ancienneté, segmentée en six classes dont la première correspond aux immeubles construits avant 1945 (les moins efficaces), la sixième à ceux construits entre 2020 et 2050 (les plus efficaces). Notre question de recherche se présentait ainsi : *Dans quelle mesure la méthode de la rénovation ou de la démolition et reconstruction de tous les bâtiments résidentiels des classes 1, 2 et 3 (ceux construits avant 1985) pour 2050 permettra d'atteindre les objectifs ?*

Dans le scénario « **statu quo** », la consommation augmente de **4%** entre 2010 et 2050. Ce constat semble logique. Cependant un taux aussi bas sur une période de 40 ans paraît léger aux vues des tendances du secteur entre 1990 et 2010 (+6%). Ce fait est attribuable à la prise en compte des nouvelles normes requises à partir de 2020 via la directive PEB. Les émissions

de CO₂ sont quant à elles en baisse de **20%** sur la période 1990-2050. Cette réduction n'est attribuable qu'aux transitions d'énergies utilisées pour le chauffage.

Dans le scénario « **rénovation** », pour 901 179 bâtiments rénovés entre 2010 et 2050. La consommation énergétique du parc est réduite de **60%** (2010-2050) pour une réduction de **70%** des émissions de GES sur la période 1990-2050. Près de 50% de cette variation est attribuable aux actions de rénovations.

Dans le scénario « **démolition** » c'est une réduction de **87%** de la consommation qui est observable. Les émissions, sont quant à elles réduites de **93%** sur la période 1990-2050. La méthode de la démolition permet donc d'atteindre les objectifs.

Pour une meilleure interprétation des résultats, nous avons analysé et comparé les coûts financiers, énergétiques et environnementaux des deux méthodes. Les deux options se chargent d'une remise à niveau de 901 179 bâtiments sur une période de 40 ans. L'option de la rénovation nécessite un investissement de près de **100 milliards d'euro**, correspondant à un coût de réduction à la tonne eq. CO₂ de 512€. L'option de la démolition, reviendrait elle à près de **200 milliards d'euro**, correspondant à un coût de 891€ la tonne. En outre, le calcul de la VAN nous apprend que les deux options ne sont pas rentables financièrement, cependant c'est la rénovation qui semble plus avantageuse en ces termes.

En outre, nous en avons comparé le coût pour la collectivité, et donc l'impact en termes de pollution. Pour cela, nous avons défini la « rentabilité environnementale » qui a été calculée sur la période d'investissement de 40 ans. En comparant d'une part l'énergie économisée par la rénovation ou la démolition et d'autre part l'énergie dépensée, attribuable à chacune des options. La rénovation entraîne une rentabilité environnementale de **640TWh** par rapport à la situation où aucune action n'est menée. Pour la démolition, la rentabilité environnementale est de **400TWh**. Les deux options restent rentables de ce point de vue cependant, c'est la rénovation qui pèse le moins en termes de pression sur l'environnement.

Au cours de notre étude, nous avons vu que l'incitation gouvernementale s'oriente vers la rénovation du secteur résidentiel belge. Une démolition/reconstruction dispose moins l'attention à cause notamment d'un coût très élevé. Néanmoins, nous avons vu que la rénovation, bien qu'elle ne permette pas l'atteinte des objectifs, améliore la consommation pour un coût environnemental et financier plus faible.

Nous nous sommes alors demandés dans quelle optique les incitants de l'Etat étaient dirigés vers la rénovation, sans attention plus particulière à la démolition. Nous comprenons à présent, pourquoi l'option de la démolition est bien moins représentée que la rénovation. Elle nécessite des coûts financiers et une consommation sous-jacente importante par rapport aux avantages qu'elle confère. Cependant, bien sélectionner les cibles à démolir en fonction des entités qui amélioreraient le plus leur économies d'énergies est une option. En effet, dans ce mémoire, l'étude des deux projets a été menée de manière indépendante.

Instaurer une culture de la démolition pourrait se révéler utile.

En effet, promouvoir la démolition est une idée que nous avons partagée. Par exemple l'instauration d'un comité d'audit spécialisé pour une remise à niveau du parc. Egalement, celle du développement des subsides aux niveaux des entreprises de construction afin d'y promouvoir le développement des méthodes de démolition de manière à diminuer les coûts financiers ou environnementaux.

Si en introduction et au cours de nos recherches, nous avons souligné les principales limites de notre étude quant à sa modélisation et nos projections dans les sources d'énergies utilisées pour le chauffage. Nous sommes à présent satisfaits des résultats et de leur implication qui ont permis la comparaison. En outre, ils permettent de pousser la réflexion face à la direction prise par la Belgique dans la volonté de l'UE. Plus encore, ils permettent d'adresser une question importante quant aux politiques publiques mises en œuvre. Bien que nous comprenions désormais l'attention particulière portée à la rénovation, pourquoi ne pas instaurer une culture de la démolition pour les bâtiments qui en nécessitent vraiment l'intervention ?

Bibliographie

- ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie), (2010). Typologie des facteurs d'émissions. France. En ligne : http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-3_typologie-des-facteurs-d-emission.pdf. (Consulté le 4/2015).
- AEE (Agence européenne pour l'environnement), (2015). *L'environnement en Europe : état et perspectives 2015 – Synthèse*. Copenhague.
- AWAC (Agence Wallonne d'Air et du Climat), (2014), *Objectifs internationaux, belges et wallons en matière de climat*. Belgique : Etude réalisée par Climact.
- Allacker, A., Debacker, De Troyer, F., Janssen, A., Geerken, T., Putzeys, K., W., (2010). *Research on new construction concepts and their impact on the extraction of mineral resources* (translated from: Onderzoek naar mogelijke nieuw bouwconcepten en het effect ervan op het gebruik van oppervlaktedelfstoffen). Belgique.
- Battaglini, A., Haas, A., Lilliestam, J., Patt, A. (2009), Development of SuperSmart Grids for a More Efficient Utilization of Electricity from Renewable Sources. *Journal of Cleaner Production*, (25), pp. 911-918.
- Bellevrat, E., Rudinger, A., Colombier, M., Guerin, E., (2013). *Scénarios de transition énergétique pour la France : définir un espace de discussion pour le débat N°09/13 JUIN 2013*. France.
- Bergek, A., Carlsson, B., Jacobsson, S., Lindmark, S., Rickne A., (2008). Analyzing the Functional Dynamics of Technological Innovation Systems: A Scheme of Analysis. *Research Policy*, (37), pp. 407-429.
- Blok, K., Levine, M., Geng, L., Harvey D., Lang S., Levermore, G., Mongameli Mehlwana A., Mirasgedis S., Novikova, A. , Ürges-Vorsatz, D., (2007) *"Climate Change. 2007: Working Group : Mitigation of Climate Change*. Royaume-Unis : Cambridge University.
- Boulanger P-M., Bréchet T., Henry A., Marenne Y., Meesen J., Vanderstraeten P., Vermeulen P., (2015). *Etude de prospective « Transition énergétique »*. Belgique.
- Boulanger P-M., (2007). Les Barrières à l'efficacité énergétique. *Reflets et perspectives de la vie économique*. Tome XLVI, pp. 49-62.
- Bossier F., Bracke I., Vanhorebeek F., (2004), *Projection des émissions de GES à l'horizon 2010 pour la Belgique, une actualisation*. Belgique : Bureau Fédéral du Plan.
- Boardman, B., Darby, S., Killip, G., Hinnels, M., Jardine, C.N., Palmer, J., Sinden, G. (2005) *40% House*. Environmental Change Institute. Royaume-Unis : Université d'Oxford.

- BPIE (Buildings Performance Institute Europe), (2011). *Europe's building under the microscope: a country-by-country review of the energy performance of buildings*. Bruxelles.
- Bureau Fédéral du Plan (2014). *Perspective énergétique : message pour l'avenir*. En ligne: http://www.plan.be/admin/uploaded/201410171039470.CP_perspectives_energie_20141017.pdf (Consulté le 4/2015).
- Charlier D., (2012). *Les déterminants des investissements économeurs d'énergie dans le secteur résidentiel en France*. France : Thèse de doctorat de l'Université de Grenoble.
- Climat.be (2015). Le site fédéral belge pour une information fiable sur les changements climatiques. <http://www.climat.be/fr-be/>. (Consulté le 7/2015).
- Commission européenne, (2006). *European Technology Platform Smart Grids*. Luxembourg.
- Commission européenne, (2010). *Directive du Parlement Européen sur la Performance Énergétique des Bâtiments*. (recast).
- Commission européenne, (2011). *Feuille de route pour une économie à faible intensité de carbone*. 2011/80/EU.
- Commission européenne, (2014). *Objectifs pour 2030 en matière de climat et d'énergie en faveur d'une économie de l'UE compétitive, sûre et à faibles émissions de carbone*. Bruxelles. http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/fr/ec/145364.pdf (Consulté le 5/2015).
- Comissions européenne (2015). *Transformer le système énergétique européen — Le paquet d'été de la Commission européenne ouvre la voie*, COM(2015) 80 final. Bruxelles.
- CPDT (Teller J.), (2011), *Structuration du territoire pour répondre aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre*. Belgique : Conférence permanente du Développement territorial (CPDT). En ligne : http://cpdt.wallonie.be/sites/default/files/pdf/cpdt_rapport-final_oct-2011_annexe-4-1-1_ges_rapport_complet.pdf. (Consulté le 5/2015).
- CPDT (2014). *Territoire et énergie*. En ligne : http://cpdt.wallonie.be/sites/default/files/pages_de_lettre37_final_bd-2.pdf. (Consulté le 5/2015).
- Dessouroux, C., Romainville, A., (2011). *La production de logements en Belgique et à Bruxelles*. Bruxelles : Echogéo. En ligne : <http://echogeo.revues.org/12279> (Consulté le 7/2014).
- De Decker P., (2001). Jammed between housing and property rights: Belgian private renting in perspective. *European Journal of Housing Policy*, n° 1 (1), 17–39.
- De Meester T., (2010). *Rénovation basse énergie des logements*. Belgique, Louvain-La-Neuve.

- DGO4 (Direction générale opérationnelle - Aménagement du territoire, Logement, Patrimoine et Energie), (n.d.). En ligne : http://dgo4.spw.wallonie.be/DGATLP/DGATLP/Pages/DGATLP/Dwnld/QSN_DGO4_2015.pdf. (Consulté le 7/2015).
- DGSIE, (n.d.). Site internet fournissant toutes informations statistiques et économiques. En ligne : <http://statbel.fgov.be/fr/statistiques/chiffres/>. (Consulté le 6/2015).
- Dubois, M. (2015), *Environnemental impact of housing: ineffective renovation subsidies vs efficient demolition incentive*, Belgique : Ku Leuven.
- EcoRes (2014). EcoRes est un espace d'innovation durable nourrit par un réseau d'expertise multidisciplinaire. En ligne : <http://www.ecores.eu/a-propos/> (Consulté le 12/2014).
- Energie+ (n.d.). Le site Energie + présente concrètement les techniques de conception et d'amélioration énergétique des bâtiments. En ligne : <http://www.energieplus-lesite.be/>. (Consulté le 4/2015).
- Evrard A., Branders A., De Herde A, (2010) *Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques pleines*. Belgique : UCL, cellule architecture et climat, Service Public de Wallonie.
- Eichhammer, W., Fleiter, T., Faberi, S., Fioretto, M., Piccioni, N., Lechtenböhmer, S., Schüring, A., Schlomann, B., Resch, G. (2009). *Study on the energy savings potential in EU Member States*. Institute for Systems and Innovation Research. Allemagne.
- Gouvernement wallon, (1999). *Schéma de Développement de l'Espace Régional (SDER)*. Belgique : Namur. En ligne ; <http://sder.wallonie.be>. (Consulté le 7/2014).
- Greenit.be, (n.d.) : Site d'actualité sur l'énergie. En ligne : <http://www.greenit.fr/> (Consulté le 3/2015).
- Halleux J.-M., Brück L., Mairy N., (2002). La périurbanisation résidentielle en Belgique à la lumière des contextes suisse et danois : enracinement, dynamiques centrifuges et régulations collectives. *Belgeo*, 4, p. 333-354.
- Halleux J.-M., (2005). Le rôle des promotions foncières et immobilières dans la production des périphéries : application à la Belgique et à ses nouveaux espaces résidentiels. *Revue Géographique de l'Est*, (3-4), 161-174.
- Hekkert, M., Negro, S., Heimeriks, G., Harmsen, R., (2011). Pays-Bas : Université d'Utrecht.
- Goosens, L., Thomas, I., Vanneste, D., (2001). Enquête-Socioéconomique. *Le logement en Belgique*. Belgique.
- ICEB (Instut pour la Conception Ecoresponsable du Bâti), (n.d.). En ligne : <http://www.asso-iceb.org/presentation/>. (Consulté le 6/2015).

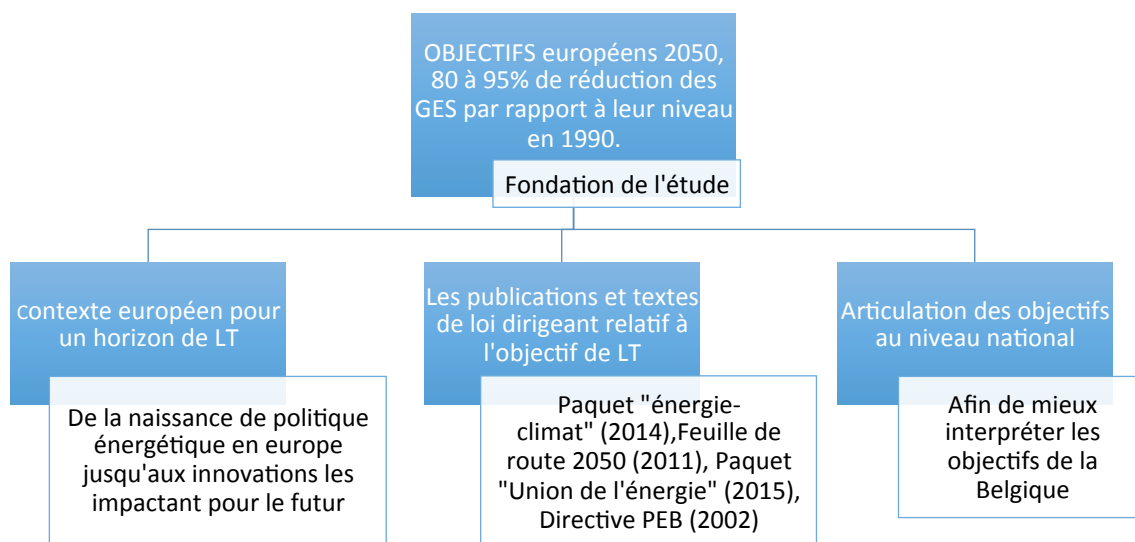
- Itard L., Meijer F., Vrans E., Hoiting H., (2008). Building Renovation and Modernisation in Europe. *State of the art review*. Pays-Bas.
- Ireland D., (2008). *New Tricks with Old Bricks*. Royaume-Unis: The Empty Homes Agency.
- IWEPS (2014). Institut wallon de l'évaluation, de la prospective et de la statistique. En ligne : http://www.iweps.be/sites/default/files/projets/fiche_7_perspectives_vfev15.pdf. Consulté le 5/2015).
- Jaffe, B., Stavins, N., (1994). The Energy-Efficiency Gap What Does It Mean? *Energy Policy*, 22(10), (pp. 811-818).
- Je vais construire (n.d.). Avantages financiers pour démolir et reconstruire. En ligne : <http://jevaisconstruire.levif.be/construire-renovation/gros-oeuvre/quels-avantages-financiers-pour-demolir-et-reconstruire/article-normal-319759.html> (Consulté le 6/2015).
- Khoury, J., (2014), *Rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectif; Etat des lieux, retour d'expérience et potential du parc genevois*. Suisse ; Genève. Thèse de doctorat.
- Kints, C., (2008). *La rénovation énergétique et durable des logements wallons. Typologie des logements prioritaires*. MRW, DGRTE. Belgique.
- La maison passive (2014). Ce site fournit le travail de fin d'étude d'Adeline Guerriat, rédigé en 2004. <http://www.lamaisonpassive.be/about>. (Consulté le 6/2014).
- Louvot C., (2001). Le logement dans l'Union européenne : la propriété prend le pas sur la location. *Economie et statistique*, 343 (1), 29-50.
- Lovins, B., (1976). Energy strategy: the road not taken? *Journal or Magazine Article*.
- Markard, J., Truffer, B., (2008), Technological Innovation Systems and the Multi-Level Perspective: Towards an Integrated Framework. *Research Policy*, 37(4), (596-615).
- Monde qui bouge (2013). Site mettant en place des initiatives de changements vers plus de justice sociale, de solidarité, d'écologie. *Démolir pour reconstruire, quel bilan CO2 ?* En ligne : <http://www.mondequibouge.be/index.php/2013/10/demolir-pour-reconstruire-quel-bilan-co2/> (Consulté le 6/2015).
- Bosch P-R., Dave R., Davidson O-R., Metz B., Meyer L-A., (2007). *Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Royaume-Unis.
- Mumford A., Power B., (2003). *Boom or Abandonment: Resolving Housing Conflicts in Cities*. Royaume-unis.
- Mathieu M., (2013). *Transition énergétique: des scénarios nationaux aux politiques européennes*”, Mémoire de thèse professionnelle. France : Agro Paris-Tech.

- Marique A-F. (2012), *Méthodologie d'Evaluation Energétique des Quartiers Périurbains. Perspectives pour le Renouveau Périurbain Wallon*. Belgique : Thesis of University of Liège.
- Meyer N., Vad Mathiesen B. Hvelplund F., (2014). Barriers and Potential Solutions for Energy Renovation of Buildings in Denmark, *International journal of Sustainable Energy Planning and Management* (01).
- OECD (2003). *Environmentally sustainable buildings: challenges and policies*, Paris.
- Picard F., Cabaret, K., (2015). Politiques d'innovation durable : *Revue d'Economie et de Management de l'Innovation*, (n° 46), pp. 33-69.
- Power, A. (2008). Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability. *Energy Policy* 36(12), pp. 4487-4501.
- Quirion P.,(n.d.) -30% de CO2 = + 684000 emploi. *L'équation gagnante pour la France*. France : WWF.
- Ré-emploi, (2011). *Petite histoire de l'évolution constructive du mur*. <http://www.renovationdurable.eu/Petite-histoire-de-l-evolution.html> .(Consulté le 6/2015).
- Robillard F. (2011). Guide vers un bâtiment durable. En ligne : http://www.fieec.fr/iso_album/guide_-_vers_un_batiment_durable_-_equipements_et_solutions_d_efficacite_energetique_-_sept_2011_-_basse_def.pdf (Consulté le 4/2015).
- Service Public de Wallonie, (2011). *Plan d'action "NZEB"*. Belgique : Namur, Département de l'Energie et du Bâtiment Durable.
- SPF Economie (2010, 2012). observatoire de l'énergie : http://economie.fgov.be/fr/binaries/chiffres_cles_2013_energie_tcm326-268711.pdf (Consulté en ligne le 3/2015).
- SPF Fincance, (n.d.). Démolir et reconstruire. En ligne : http://finances.belgium.be/fr/particuliers/habitation/construction/demolition_et_reconstruction/. (Consulté le 5 :2015).
- Turcu C., (2005). *Research on HMR Pathfinder, comparing the sustainability of demolition and refurbishment at LSE*. Royaume-Unis.
-
- Varenio, C., (2010). *L'efficacité énergétique dans les bâtiments existants : déficit d'investissement, incitations et accompagnement*. Université de Grenoble. France.

- Vuillet D., Boeglin N., (2005). *Introduction à l'Analyse de cycle de Vie (ACV)*. ICEB Disponible en ligne : http://www.assoiceb.org/wpcontent/uploads/2014/07/-guide_bio_tech_lenergie_grise_des_materiaux_et_des.pdf. (Consulté le 7/2015).
- Weiss, D. (2009) *Keeping the bubble alive: the effects of urban renewal and the demolition subsidies in the East German housing market*. Allemagne ; Institut für Wirtschaftsforschung Halle.
- Yates T., (2006). *Sustainable Refurbishment of Victorian Housing*. Royaume-Uni.
- Le guide PEB, (2015). Le site présente la procédure réglementaire wallonne sur la performance énergétique des bâtiments. En ligne : <http://www.leguidepeb.be/> (Consulté le 4/2015).

Annexes

Annexe 1 : Organigramme de la méthodologie du chapitre 1.



A2.

Annexe 2 : Consommation des logements wallons

		Electricité	Combustibles	dont combustibles solides	dont produits pétroliers	dont gaz naturel	dont bois	dont autres	Total
en TWh PCI	1985	4.16	31.55	5.77	15.99	8.59	1.10	0.10	35.71
	1990	4.59	27.69	2.61	16.11	8.08	0.80	0.08	32.27
	1995	5.49	30.08	1.68	17.27	9.70	1.33	0.11	35.56
	2000	6.07	27.98	1.12	16.04	9.61	1.11	0.11	34.06
	2005	6.66	29.84	0.52	17.77	10.35	1.15	0.06	36.50
	2009	6.65	25.38	0.81	13.39	9.58	1.46	0.14	32.02
	2010	6.94	27.24	0.37	14.37	10.77	1.55	0.17	34.18
en indice 1990 = 100	1985	90.7	114.0	220.8	99.3	106.3	137.7	117.0	110.7
	1990	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	1995	119.6	108.6	64.2	107.2	120.0	165.7	131.1	110.2
	2000	132.3	101.1	43.0	99.6	118.9	138.1	130.9	105.5
	2005	145.1	107.8	19.8	110.3	128.1	143.0	68.1	113.1
	2009	144.9	91.7	30.9	83.1	118.5	181.8	171.6	99.2
	2010	151.3	98.4	14.2	89.2	133.3	193.8	207.2	105.9
en % du total	1985	11.7%	88.3%	16.1%	44.8%	24.1%	3.1%	0.3%	100.0%
	1990	14.2%	85.8%	8.1%	49.9%	25.0%	2.5%	0.3%	100.0%
	1995	15.4%	84.6%	4.7%	48.5%	27.3%	3.7%	0.3%	100.0%
	2000	17.8%	82.2%	3.3%	47.1%	28.2%	3.3%	0.3%	100.0%
	2005	18.2%	81.8%	1.4%	48.7%	28.4%	3.1%	0.2%	100.0%
	2009	20.8%	79.2%	2.5%	41.8%	29.9%	4.6%	0.4%	100.0%
	2010	20.3%	79.7%	1.1%	42.0%	31.5%	4.5%	0.5%	100.0%
Evol. 1990-2010		+51.3%	-1.6%	-85.8%	-10.8%	+33.3%	+93.8%	+107.2%	+5.9%
TCAM 1990-2010		+2.1%	-0.1%	-9.3%	-0.6%	+1.4%	+3.4%	+3.7%	+0.3%
Evol. 2009-2010		+4.5%	+7.4%	-54.0%	+7.3%	+12.5%	+6.6%	+20.7%	+6.7%

Annexe 3 : Consommation du chauffage des logements wallons par source et type

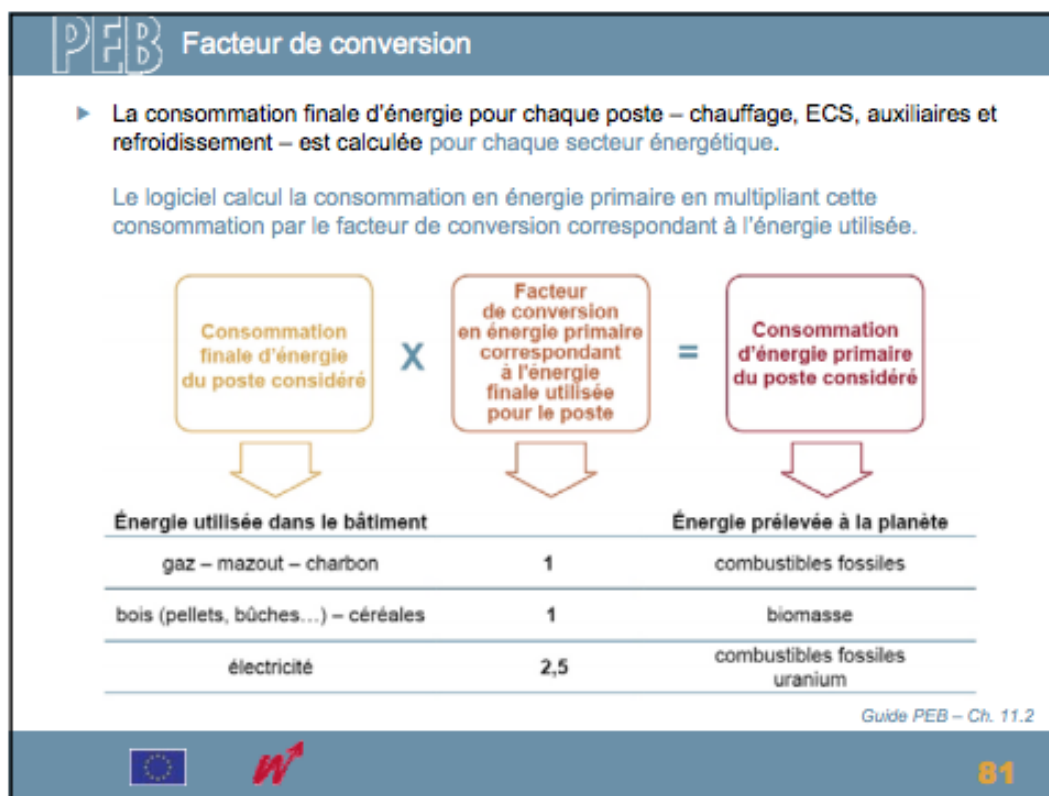
La figure ci-dessous nous montre la répartition de la consommation par source énergétique en 2001. Nous retiendrons qu'en 2001, l'énergie fossile a encore été beaucoup utilisée pour chauffer les résidences. Mais comme nous démontre le tableau 6, le gasoil a été moins utilisé depuis 2009 et est progressivement remplacé par le gaz naturel, le bois et l'électricité. L'intérêt d'une telle diminution est la réduction des émissions de CO2.

			Gasoil	Gaz naturel	Charbon	Butane propane	Bois	Vapeur cogén.	Pompes à chaleur	Electricité	Total
en milliers de logements	Appart.	Chauffage central	74.8	89.6	0.2	1.4	0.1	4.8	0.3	8.1	179.3
		Chauffage décentr.	6.8	30.3	2.4	1.7	0.7	0.0	0.0	17.4	59.4
		Total chauffage	81.6	119.9	2.6	3.1	0.8	4.8	0.3	25.5	238.6
	Maisons unifamil.	Chauffage central	548.5	208.9	1.3	9.0	3.2	0.3	0.4	13.0	782.7
		Chauffage décentr.	126.8	109.2	48.1	13.5	23.5	0.0	0.2	41.2	362.5
		Total chauffage	675.3	316.1	49.4	22.5	26.7	0.3	0.6	54.2	1 145.1
	Total	Chauffage central	623.3	298.5	1.5	10.4	3.3	5.1	0.7	21.1	961.9
		Chauffage décentr.	133.6	139.5	50.5	15.3	24.2	0.0	0.3	58.5	421.8
		Total chauffage	756.9	436.0	52.0	25.7	27.5	5.1	0.9	79.7	1 383.8
en % du parc équipé	Appart.	Chauffage central	41.7%	50.0%	0.1%	0.8%	0.1%	2.7%	0.1%	4.5%	100.0%
		Chauffage décentr.	11.5%	51.1%	4.1%	2.9%	1.2%	0.0%	0.1%	29.2%	100.0%
		Total chauffage	34.2%	50.2%	1.1%	1.3%	0.3%	2.0%	0.1%	10.7%	100.0%
	Maisons unifamil.	Chauffage central	70.1%	26.4%	0.2%	1.1%	0.4%	0.0%	0.1%	1.7%	100.0%
		Chauffage décentr.	35.0%	30.1%	13.3%	3.7%	6.5%	0.0%	0.1%	11.4%	100.0%
		Total chauffage	59.0%	27.6%	4.3%	2.0%	2.3%	0.0%	0.1%	4.7%	100.0%
	Total	Chauffage central	64.8%	30.8%	0.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.1%	2.2%	100.0%
		Chauffage décentr.	31.7%	33.1%	12.0%	3.6%	5.7%	0.0%	0.1%	13.9%	100.0%
		Total chauffage	54.7%	31.5%	3.8%	1.9%	2.0%	0.4%	0.1%	5.8%	100.0%

			Gasoil	Gaz naturel	Charbon	Butane propane	Bois	Vapeur cogén.	Géo-thermie	Pompes à chaleur	Electricité	Total
en milliers de logements	Appart.	Chauffage central	81.8	131.9	0.10	1.59	0.39	1.41	0.31	1.00	10.9	229.4
		Chauffage décentr.	7.4	25.1	2.28	1.48	0.90			0.17	19.5	56.9
		Total chauffage	89.3	157.0	2.38	3.07	1.29	1.41	0.31	1.17	30.4	286.3
	Maisons unifamil.	Chauffage central	597.5	276.1	0.84	8.88	7.10	0.04	0.02	1.75	15.9	908.1
		Chauffage décentr.	67.7	99.1	45.2	10.9	28.4			0.84	42.9	295.0
		Total chauffage	665.2	375.2	46.0	19.8	35.5	0.04	0.02	2.59	58.8	1203.2
	Total	Chauffage central	679.3	408.0	0.94	10.5	7.5	1.45	0.33	2.75	26.8	1137.6
		Chauffage décentr.	75.2	124.2	47.5	12.4	29.3			1.00	62.4	351.9
		Total chauffage	754.5	532.2	48.4	22.9	36.8	1.45	0.33	3.75	89.2	1489.5
en % du parc équipé	Appart.	Chauffage central	35.7%	57.5%	0.0%	0.7%	0.2%	0.6%	0.1%	0.4%	4.8%	100.0%
		Chauffage décentr.	13.1%	44.1%	4.0%	2.6%	1.6%			0.3%	34.3%	100.0%
		Total chauffage	31.2%	54.8%	0.8%	1.1%	0.5%	0.5%	0.1%	0.4%	10.6%	100.0%
	Maisons unifamil.	Chauffage central	65.8%	30.4%	0.1%	1.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.2%	1.7%	100.0%
		Chauffage décentr.	23.0%	33.6%	15.3%	3.7%	9.6%			0.3%	14.5%	100.0%
		Total chauffage	55.3%	31.2%	3.8%	1.6%	3.0%	0.0%	0.0%	0.2%	4.9%	100.0%
	Total	Chauffage central	59.7%	35.9%	0.1%	0.9%	0.7%	0.1%	0.0%	0.2%	2.4%	100.0%
		Chauffage décentr.	21.4%	35.3%	13.5%	3.5%	8.3%			0.3%	17.7%	100.0%
		Total chauffage	50.7%	35.7%	3.2%	1.5%	2.5%	0.1%	0.0%	0.3%	6.0%	100.0%

Source DGSIE (ESE 2001)

Annexe 4 : Facteur de conversion en énergie primaire (PEB)



Facteur de conversion : énergie primaire finale (Source : Région Wallonne, IFAPME, PEB)

Annexe 5 : Illustration de l' « l'histoire du mur ».

- **L'histoire constructive du mur – Illustration (LEHR-architecture/climat)**

1 : Murs massifs, épais (18, 19 et début 20^{ème} siècle)

2 : Murs pleins en briques

3 : Murs creux 1^{ère} génération

4 : Murs creux 2^{ème} génération

5 : Murs creux isolés

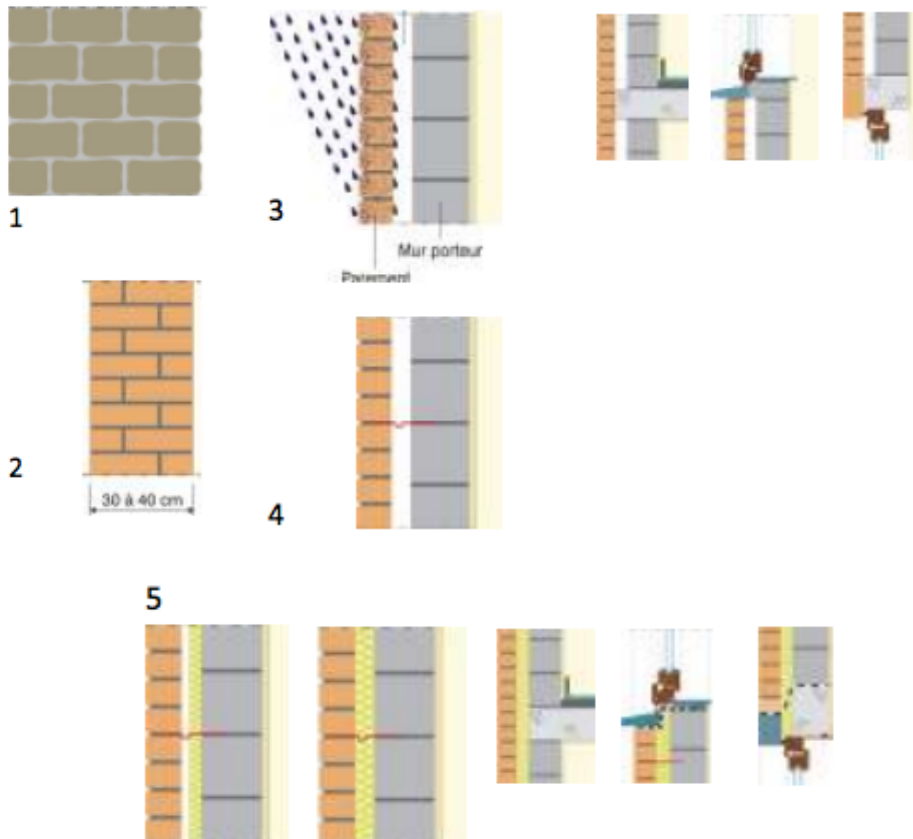


Illustration de l'histoire constructive du mur (Source : De Meester, 2010)

Annexe 6 : Plus de facteurs influençant la consommation des ménages.

1. La typologie des différents bâtiments

La consommation énergétique résidentielle en Belgique diffère selon les régions. Elle est ainsi moindre à Bruxelles. Ceci s'explique par la typologie des résidences avec des maisons à deux façades plus petites avec une bonne isolation grâce aux bâtiments voisins. Il y a également les immeubles à appartements qui réduisent la consommation des ménages. Les résidences bruxelloises sont donc moins énergivores d'après le tableau suivant.

	Maison 2 F	Maison 3 F	Maison 4 F	Immeubles à appartement
Flandre	646417 (29,3%)	566030 (25,6%)	884054 (40%)	112606 (5,1%)
Bruxelles	107736 (66,6%)	15488 (9,6%)	5753 (3,5%)	32794 (20,3%)
Wallonie	415119 (31,9%)	360507 (27,66%)	496387 (38,1%)	31356 (2,4%)
Belgique	1169272 (31,8%)	942025 (25,64%)	1386194 (37,7%)	176756 (4,8%)

Typologie des bâtiments résidentiels en Belgique et pour les 3 régions en 2014. Source : ACED, DGSIE

Pour la région Wallonie en particulier, la BNB⁹⁰ a fait état de construction de 297 480 logements entre 1980 et 2009. Depuis 1990, la « superficie moyenne habitable » des nouveaux logements a eu tendance à baisser. Les constructions récentes ont le mérite de préserver la chaleur à l'intérieur des bâtiments, d'abord parce que les parois, les murs ainsi que les matériaux utilisés sont récents, mais également parce que la surface est plus petite et permet de contenir la chaleur, ne nécessitant pas davantage d'énergie.

2. L'évolution démographique

C'est la DGSIE qui, depuis 1988, publie le chiffre officiel de la population⁹¹. Le calcul est fait sur la base des données du Registre national des personnes physiques. Au 1^{er} janvier 2009, la DGSIE⁹² a fait état d'un taux de croissance de 0,8% par rapport à l'année précédente, un taux de 1,9% pour Bruxelles. La Wallonie comptait (en 2009) 3 475 671 habitants avec une hausse de 0,5 %, en 2014, ce dernier était de 1,1%⁹³.

L'évolution démographique de la population est un facteur déterminant des tendances aperçues sur le secteur résidentiel. Premièrement, il est notable que les prix des nouvelles constructions ou encore des loyers sont fortement corrélés par l'offre et la demande de logement. La force du marché faisant le reste, les évolutions dans la structure même de la démographie engendre des répercussions sur le stock de bâtiments. Nous retiendrons deux tendances entraînant un accroissement du nombre de ménages, qui induisent de nouvelles formes d'habiter (ODT⁹⁴, 2015).

- La diminution de la taille des ménages : Les causes de ce constat sont multiples mais cependant en partie lié au nombre croissant de ménages monoparentaux. Cependant, même si la taille des ménages diminue, la population croît. Ce qui entraîne donc un accroissement des ménages également.

⁹⁰ Banque Nationale de Belgique

⁹¹ Population résidente de droit

⁹² Voir ANNEXE évolution 1990 -2009 en Belgique et pour les 3 régions

⁹³ Taux le plus haut jamais observé pour la région

⁹⁴ Observatoire du développement durable, réalisé par l'IWEPS, 2015.

- Le vieillissement de la population : Ce constat réduit également la taille des ménages de manière considérable. En vieillissant, la population participe à la multiplication des isolés.

Ces évolutions n'ont eu qu'un impact limité sur le marché résidentiel. Mais depuis 2008, Le nombre de nouveaux ménages dépasse le nombre de nouveaux logements (Gouv. Wallon 1999, De Decker, 2001). Cela entraîne une modification des préférences d'habiter. La demande pour les appartements situés généralement en agglomération croît grâce notamment aux isolés (divorcé, célibataire, 65+,...). Ces tendances traduisent donc un potentiel pour l'économie d'énergie sur le secteur, et pour l'efficacité énergétique du stock. Comme nous l'avons remarqué ci-dessus, la typologie appartement qui tend à s'accroître ainsi que les surfaces habitables plus petite sont des facteurs minimisant la consommation énergétique du bâtiment.

3. Le statut d'occupation

Le statut d'occupation a un impact sur le taux de rénovation du stock de bâtiment. En effet, on constate dans la littérature, un manque de rénovation pour les bâtiments mis en location par des indépendants (BPIE, 2011 ; Charlier 2012). De plus, ces bâtiments sont généralement en mauvais état et de ce fait énergivore. C'est le problème des incitations divergentes, frein qui sera présenté quand la partie 2 de ce travail.

En Europe, 50% du stock est occupé par des propriétaires. En Belgique, d'après une enquête réalisée en 2001 par le SPF finance, 68% des ménages sont propriétaires du bien qu'ils occupent. 23% des ménages louent à une société privée ou à un particulier, et 9% louent à une société de logement social. Il apparaît aussi globalement et en toute logique que les propriétaires rénovent davantage que les locataires. Cependant, la proportion de rénovations effectuées par les locataires est toutefois celle qui, proportionnellement, a augmenté le plus (De Meester, 2009). La tendance en Belgique est l'augmentation du nombre de propriétaire. Dans toutes les régions, les logements loués diminuent au profit de la propriété, cependant selon une projection le nombre de propriétaires sera revu à la baisse sur la période 2020-2040 (ODT⁹⁵, 2015).

4. Les degrés-jours ou la température environnante

Les conditions climatiques sont l'un des facteurs déterminants de la consommation énergétique. Cela s'avère d'autant plus qu'une grande part de l'énergie dans le secteur résidentiel est consacrée au chauffage et à l'eau chaude.

Les degrés-jours annuels de chauffe sont un reflet des conditions de température d'une année et donc des besoins de chauffage: plus les températures extérieures sont basses, plus le nombre de degrés-jours sera élevé et les besoins de chauffage importants. Elles varient donc en fonction de la situation géographique. Pour la Belgique, ce facteur est peu déterminant, cependant, dans le cadre d'analyses pour un pays comme la France, cet aspect devient plus important.

⁹⁵ Observatoire du développement durable, réalisé par l'IWEPS, 2015.

A8.

Annexe 7 : Exemple de gain pour une rénovation offrant 70% d'efficacité dans sa consommation.

Le tableau ci-après nous démontre les gains pour une rénovation de l'isolation par l'amélioration du coefficient global d'isolation thermique, le niveau K.

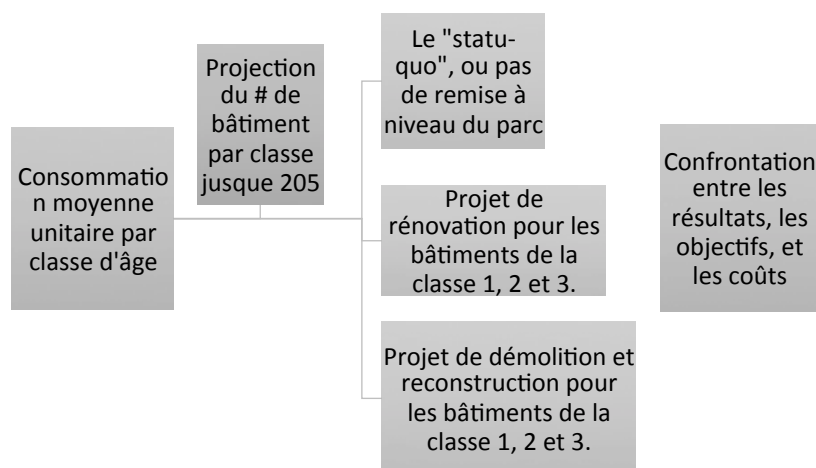
	Avant rénovation	Après rénovation
K (kWh/m ² .an)	180 kWh/m ² .an	60 kWh/m ² .an
Consommation	250 x 180 = 45 000 kWh/an	250 x 60 = 15 000 kWh/an
Consommation de gaz	4500 m ³ de gaz/an	1500 m ³ de gaz/an
Coût du chauffage	2250 €/an	750 €/an
Gain	-	1500 €/an

Exemple d'avantage pour la rénovation d'une maison de 250m².
(Source : De Meester, 2010)

Annexe 8 : Modélisation des consommations résidentielles Wallonnes en fonction de l'ancienneté et du type. (Données de base)

Type de maison résidentielle	Année de construction	Consommation moyenne unitaire en kWh/m ² .an	# de bâtiments par classe en 2009
4 Façades	Classe 1	499,1	166 070
	Classe 2	397,3	76 848
	Classe 3	359,6	92 750
	Classe 4	210,5	53 282
	Classe 5	179,3	20 037
	Classe 6	15	0
Mitoyen	Classe 1	432,4	202 490
	Classe 2	335,3	60 891
	Classe 3	296,5	35 652
	Classe 4	172,9	5 682
	Classe 5	149,7	2 845
	Classe 6	15	0
Semi-mitoyen	Classe 1	311,3	208 470
	Classe 2	252	39 415
	Classe 3	234	18 593
	Classe 4	138,7	2 702
	Classe 5	113,8	1 286
	Classe 6	15	0

Tableau des typologies de consommation des bâtiments résidentiels Wallons couvert par le PICC selon l'ancienneté et le type pour 2009. (Source ; CPDT subvention 2010-2011)



Organigramme : méthode générale de projection des scénarios

Pour chaque bâtiment, la base de données reprend des informations structurelles telles que la date de construction, la localisation, l'emprise au sol et le taux de mitoyenneté⁹⁶. Les caractéristiques de l'isolation du bâtiment sont inférées sur l'âge des bâtiments sur base de deux sources. L'enquête socio-économique⁹⁷ sur les logements, et l'enquête qualitative du logement réalisé par la Région Wallonne en 2006⁹⁸.

⁹⁶ Facteurs de la consommation, partie 1 section 3

⁹⁷ (ESE, Vanneste et al., 2001), n = 1 300 000 logements

⁹⁸ (MRW, 2007), n = 6000 logements

Annexe 9 : Les tableaux de projection de la croissance physique du parc pour les trois scénarios.

- Tableau de l'évolution physique du parc entre 2010 et 2050 : scénario « Statu quo »

ETAPE 1 - Croissance physique du parc 2010-2020

Type	Classe d'âge	Conso Moy kWh/m2/an	Nbre de maisons par classe											
			2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
4 Façades	Classe 1	499,1	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070
	Classe 2	397,3	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848
	Classe 3	359,6	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750
	Classe 4	210,5	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283
	Classe 5	179,3	20037	22505	24991	27495	30019	32561	35123	37703	40303	42923	45562	45562
	Classe 6	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2659
Semi-mitoyen	Classe 1	432,4	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490
	Classe 2	335,3	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891
	Classe 3	296,5	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652
	Classe 4	172,8	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682
	Classe 5	149,7	2845	5313	7799	10303	12827	15369	17931	20511	23111	25731	28370	28370
	Classe 6	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2659
Mitoyen	Classe 1	311,3	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470
	Classe 2	252	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415
	Classe 3	234	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593
	Classe 4	138,7	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702
	Classe 5	113,8	1286	3754	6240	8744	11268	13810	16372	18952	21552	24172	26811	26811
	Classe 6	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2659
Total des maisons du parc par année			987014	994417	1001875	1009389	1016959	1024586	1032271	1040013	1047813	1055672	1063589	1071566
Nvx logement pr n+1			part nvx bati	7403	7458	7514	7570	7627	7684	7742	7800	7859	7918	8037
Répartition entre 3 types			par type	2468	2486	2505	2523	2542	2561	2581	2600	2620	2639	2679

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070
76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848
92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750
53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283
45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562
5338	8037	10756	13496	16256	19037	21839	24661	27505	30371	33257	36166	39096	42048	45022
202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490
60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891
35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652
5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682
28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370
5338	8037	10756	13496	16256	19037	21839	24661	27505	30371	33257	36166	39096	42048	45022
208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470
39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415
18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593
2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702
26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811
5338	8037	10756	13496	16256	19037	21839	24661	27505	30371	33257	36166	39096	42048	45022
1079603	1087700	1095857	1104076	1112357	1120700	1129105	1137573	1146105	1154701	1163361	1172086	1180877	1189733	1198656
8097	8158	8219	8281	8343	8405	8468	8532	8596	8660	8725	8791	8857	8923	8990
2699	2719	2740	2760	2781	2802	2823	2844	2865	2887	2908	2930	2952	2974	2997

2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070	166070
76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848	76848
92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750
53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283
45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562
48019	51038	54080	57145	60232	63343	66477	69634	72816	76021	79250	82503	85781	89083	92410
202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490	202490
60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891	60891
35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652
5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682
28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370
48019	51038	54080	57145	60232	63343	66477	69634	72816	76021	79250	82503	85781	89083	92410
208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470	208470
39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415	39415
18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593
2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702
26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811
48019	51038	54080	57145	60232	63343	66477	69634	72816	76021	79250	82503	85781	89083	92410
1207646	1216704	1225829	1235023	1244285	1253618	1263020	1272492	1282036	1291651	1301339	1311099	1320932	1330839	1340820
9057	9125	9194	9263	9332	9402	9473	9544	9615	9687	9760	9833	9907	9981	10056
3019	3042	3065	3088	3111	3134	3158	3181	3205	3229	3253	3278	3302	3327	3352

- Tableau de l’évolution physique du parc avec rénovation entre 2010 et 2050 : scénario « Rénovation »

Croissance du parc avec rénovation														
Type	Classe d'âge	Conso Moy kWh/m2/an												
			2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
4 Façades	Classe 1	499,1	166070	120181	86972	62940	45548	32962	23854	17262	12492	9040	6542	4735
	Classe réno A	49,91	0	45889	79098	103130	120522	133108	142216	148808	153578	157030	159528	161335
	Classe 2	397,3	76848	56695	41827	30858	22765	16795	12391	9141	6744	4975	3671	2708
	Classe Reno B	39,73	0	20153	35021	45990	54083	60053	64457	67707	70104	71873	73177	74140
	Classe 3	359,6	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750
	Classe Réno C	35,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Classe 4	210,5	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283
	Classe 5	179,3	20037	22505	24991	27495	30019	32561	35123	37703	40303	42923	45562	45562
Semi-mitoyen	Classe 6	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2659
	Classe 1	432,4	202490	145813	104999	75610	54446	39207	28233	20330	14640	10542	7591	5466
	Classe réno A	43,24	0	56677	97491	126880	148044	163283	174257	182160	187850	191948	194899	197024
	Classe 2	335,3	60891	45185	33530	24881	18463	13701	10167	7544	5598	4154	3083	2288
	Classe Reno B	33,53	0	15706	27361	36010	42428	47190	50724	53347	55293	56737	57808	58603
	Classe 3	296,5	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652
	Classe Réno C	29,65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Classe 4	172,8	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682
Mitoyen	Classe 5	149,7	2845	5313	7799	10303	12827	15369	17931	20511	23111	25731	28370	28370
	Classe 6	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2659
	Classe 1	311,3	208470	150010	107943	77673	55891	40218	28940	20824	14985	10783	7759	5583
	Classe réno A	31,13	0	58460	100527	130797	152579	168252	179530	187646	193485	197687	200711	202887
	Classe 2	252	39415	29568	22181	16640	12482	9364	7025	5270	3953	2966	2225	1669
	Classe Reno B	25,2	0	9847	17234	22775	26933	30051	32390	34145	35462	36449	37190	37746
	Classe 3	234	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593
	Classe Réno C	23,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total de maisons par année	Classe 4	138,7	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702
	Classe 5	113,8	1286	3754	6240	8744	11268	13810	16372	18952	21552	24172	26811	26811
	Classe 6	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2659
			987014	994417	1001875	1009389	1016959	1024586	1032271	1040013	1047813	1055672	1063589	1071566

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
3426	2480	1794	1299	940	680	492	356	258	187	135	98	71	51	37
162644	163590	164276	164771	165130	165390	165578	165714	165812	165883	165935	165972	165999	166019	166033
1998	1474	1087	802	592	437	322	238	175	129	95	70	52	38	28
74850	75374	75761	76046	76256	76411	76526	76610	76673	76719	76753	76778	76796	76810	76820
92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283
45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562
5338	8037	10756	13496	16256	19037	21839	24661	27505	30371	33257	36166	39096	42048	45022
3936	2835	2041	1470	1058	762	549	395	285	205	148	106	77	55	40
198554	199655	200449	201020	201432	201728	201941	202095	202205	202285	202342	202384	202413	202435	202450
1697	1260	935	694	515	382	283	210	156	116	86	64	47	35	26
59194	59631	59956	60197	60376	60509	60608	60681	60735	60775	60805	60827	60844	60856	60865
35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682
28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370
5338	8037	10756	13496	16256	19037	21839	24661	27505	30371	33257	36166	39096	42048	45022
4017	2891	2080	1497	1077	775	558	401	289	208	150	108	77	56	40
204453	205579	206390	206973	207393	207695	207912	208069	208181	208262	208320	208362	208393	208414	208430
1252	939	705	529	396	297	223	167	126	94	71	53	40	30	22
38163	38476	38710	38886	39019	39118	39192	39248	39289	39321	39344	39362	39375	39385	39393
18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702
26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811
5338	8037	10756	13496	16256	19037	21839	24661	27505	30371	33257	36166	39096	42048	45022
1079603	1087700	1095857	1104076	1112357	1120700	1129105	1137573	1146105	1154701	1163361	1172086	1180877	1189733	1198656

2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
27	19	14	10	7	5	4	3	2	1	1	1	1	0	0
166043	166051	166056	166060	166063	166065	166066	166067	166068	166069	166069	166069	166069	166070	166070
21	15	11	8	6	5	3	2	2	1	1	1	1	0	0
76827	76833	76837	76840	76842	76843	76845	76846	76846	76847	76847	76847	76847	76848	76848
92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750	92750
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283
45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562
48019	51038	54080	57145	60232	63343	66477	69634	72816	76021	79250	82503	85781	89083	92410
29	21	15	11	8	6	4	3	2	1	1	1	1	0	0
202461	202469	202475	202479	202482	202484	202486	202487	202488	202489	202489	202489	202489	202490	202490
19	14	11	8	6	4	3	2	2	1	1	1	1	0	0
60872	60877	60880	60883	60885	60887	60888	60889	60889	60890	60890	60890	60890	60891	60891
35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652	35652
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682
28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370
48019	51038	54080	57145	60232	63343	66477	69634	72816	76021	79250	82503	85781	89083	92410
29	21	15	11	8	6	4	3	2	1	1	1	1	0	0
208441	208449	208455	208459	208462	208464	208466	208467	208468	208469	208469	208469	208469	208470	208470
17	13	9	7	5	4	3	2	2	1	1	1	1	0	0
39398	39402	39406	39408	39410	39411	39412	39413	39413	39414	39414	39414	39414	39415	39415
18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593	18593
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702
26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811
48019	51038	54080	57145	60232	63343	66477	69634	72816	76021	79250	82503	85781	89083	92410
1207646	1216704	1225829	1235023	1244285	1253618	1263020	1272492	1282036	1291651	1301339	1311099	1320932	1330839	1340820

Type	Classe d'âge	Conso Moy	Nombre de bâtiments par classe				
		kWh/m2.an	2010	2020	2030	2040	2050
4 Façades	Classe 1	499,1	42905	33349	23052	11957	0
	Rénovation Type A	49,91	123165	132721	143018	154113	166070
	Classe 2	397,3	19854	15432	10667	5533	0
	Rénovation Type B	198,65	56994	61416	66181	71315	76848
	Classe 3	359,6	23962	18625	12875	6678	0
	Rénovation Type C	305,66	68788	74125	79875	86072	92750
	Classe 4	210,5	53283	53283	53283	53283	53283
	Classe 5	179,3	22505	45562	45562	45562	45562,0195
	Classe 6	15	0	2659	30371	60232	92410,397
Semi-mitoyen	Classe 1	432,4	52314	40663	28108	14579	0
	Rénovation Type A	43,24	150176	161827	174382	187911	202490
	Classe 2	335,3	15731	12228	8452	4384	0
	Rénovation Type B	167,65	45160	48663	52439	56507	60891
	Classe 3	296,5	9211	7159	4949	2567	0
	Rénovation Type C	252,025	26441	28493	30703	33085	35652
	Classe 4	172,8	5682	5682	5682	5682	5682
	Classe 5	149,7	5313	28370	28370	28370	28370,0195
	Classe 6	15	0	2659	30371	60232	92410,397
Mitoyen	Classe 1	311,3	53859	41864	28938	15009	0
	Rénovation Type A	31,13	154611	166606	179532	193461	208470
	Classe 2	252	10183	7915	5471	2838	0
	Rénovation Type B	126	29232	31500	33944	36577	39415
	Classe 3	234	4804	3734	2581	1339	0
	Rénovation Type C	198,9	13789	14859	16012	17254	18593
	Classe 4	138,7	2702	2702	2702	2702	2702
	Classe 5	113,8	3754	26811	26811	26811	26811,0195
	Classe 6	15	0	2659	30371	60232	92410,397
Nombre de bâtiments total			994417	1071566	1154701	1244285	1340820,25

- Tableau de l'évolution physique du parc avec démolitions entre 2010 et 2050 : scénario « Démolition »

Croissance du parc avec démolition														
Type	Classe d'âge	Conso Moy kWh/m2/an	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
4 Façades	Classe 1	499,1	166070	120181	86972	62940	45548	32962	23854	17262	12492	9040	6542	4735
	Classe démo A	15	0	45889	79098	103130	120522	133108	142216	148808	153578	157030	159528	161335
	Classe 2	397,3	76848	56695	41827	30858	22765	16795	12391	9141	6744	4975	3671	2708
	Classe Démo B	15	0	20153	35021	45990	54083	60053	64457	67707	70104	71873	73177	74140
	Classe 3	359,6	92750	68106	50009	36721	26964	19800	14539	10676	7839	5756	4227	3104
	Classe Démo C	15	0	24644	42741	56029	65786	72950	78211	82074	84911	86994	88523	89646
	Classe 4	210,5	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283
	Classe 5	179,3	20037	22505	24991	27495	30019	32561	35123	37703	40303	42923	45562	45562
	Classe 6	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2659
Semi-mitoyen	Classe 1	432,4	202490	145813	104999	75610	54446	39207	28233	20330	14640	10542	7591	5466
	Classe démo A	15	0	56677	97491	126880	148044	163283	174257	182160	187850	191948	194899	197024
	Classe 2	335,3	60891	45185	33530	24881	18463	13701	10167	7544	5598	4154	3083	2288
	Classe Démo B	15	0	15706	27361	36010	42428	47190	50724	53347	55293	56737	57808	58603
	Classe 3	296,5	35652	26812	20164	15165	11405	8577	6450	4851	3648	2744	2063	1552
	Classe Démo C	15	0	8840	15488	20487	24247	27075	29202	30801	32004	32908	33589	34100
	Classe 4	172,8	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682
	Classe 5	149,7	2845	5313	7799	10303	12827	15369	17931	20511	23111	25731	28370	28370
	Classe 6	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2659
Mitoyen	Classe 1	311,3	208470	150010	107943	77673	55891	40218	28940	20824	14985	10783	7759	5583
	Classe démo A	15	0	58460	100527	130797	152579	168252	179530	187646	193485	197687	200711	202887
	Classe 2	252	39415	29568	22181	16640	12482	9364	7025	5270	3953	2966	2225	1669
	Classe Démo B	15	0	9847	17234	22775	26933	30051	32390	34145	35462	36449	37190	37746
	Classe 3	234	18593	14212	10864	8304	6348	4852	3709	2835	2167	1657	1266	968
	Classe Démo C	15	0	4381	7729	10289	12245	13741	14884	15758	16426	16936	17327	17625
	Classe 4	138,7	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702
	Classe 5	113,8	1286	3754	6240	8744	11268	13810	16372	18952	21552	24172	26811	26811
	Classe 6	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2659
total de maisons par année			987014	994417	1001875	1009389	1016959	1024586	1032271	1040013	1047813	1055672	1063589	1071566

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
3426	2480	1794	1299	940	680	492	356	258	187	135	98	71	51	37
162644	163590	164276	164771	165130	165390	165578	165714	165812	165883	165935	165972	165999	166019	166033
1998	1474	1087	802	592	437	322	238	175	129	95	70	52	38	28
74850	75374	75761	76046	76256	76411	76526	76610	76673	76719	76753	76778	76796	76810	76820
2279	1673	1229	902	663	486	357	262	193	141	104	76	56	41	30
90471	91077	91521	91848	92087	92264	92393	92488	92557	92609	92646	92674	92694	92709	92720
53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283
45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562
5338	8037	10756	13496	16256	19037	21839	24661	27505	30371	33257	36166	39096	42048	45022
3936	2835	2041	1470	1058	762	549	395	285	205	148	106	77	55	40
198554	199655	200449	201020	201432	201728	201941	202095	202205	202285	202342	202384	202413	202435	202450
1697	1260	935	694	515	382	283	210	156	116	86	64	47	35	26
59194	59631	59956	60197	60376	60509	60608	60681	60735	60775	60805	60827	60844	60856	60865
1167	878	660	496	373	281	211	159	119	90	68	51	38	29	22
34485	34774	34992	35156	35279	35371	35441	35493	35533	35562	35584	35601	35614	35623	35630
5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682
28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370
5338	8037	10756	13496	16256	19037	21839	24661	27505	30371	33257	36166	39096	42048	45022
4017	2891	2080	1497	1077	775	558	401	289	208	150	108	77	56	40
204453	205579	206390	206973	207393	207695	207912	208069	208181	208262	208320	208362	208393	208414	208430
1252	939	705	529	396	297	223	167	126	94	71	53	40	30	22
38163	38476	38710	38886	39019	39118	39192	39248	39289	39321	39344	39362	39375	39385	39393
740	566	432	330	253	193	148	113	86	66	50	39	29	23	17
17853	18027	18161	18263	18340	18400	18445	18480	18507	18527	18543	18554	18564	18570	18576
2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702
26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811
5338	8037	10756	13496	16256	19037	21839	24661	27505	30371	33257	36166	39096	42048	45022
1079603	1087700	1095857	1104076	1112357	1120700	1129105	1137573	1146105	1154701	1163361	1172086	1180877	1189733	1198656

2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
27	19	14	10	7	5	4	3	2	1	1	1	1	0	0
166043	166051	166056	166060	166063	166065	166066	166067	166068	166069	166069	166069	166069	166070	166070
21	15	11	8	6	5	3	2	2	1	1	1	1	0	0
76827	76833	76837	76840	76842	76843	76845	76846	76846	76847	76847	76847	76847	76848	76848
22	16	12	9	6	5	3	3	2	1	1	1	1	0	0
92728	92734	92738	92741	92744	92745	92747	92747	92748	92749	92749	92749	92749	92750	92750
53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283	53283
45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562	45562
48019	51038	54080	57145	60232	63343	66477	69634	72816	76021	79250	82503	85781	89083	92410
29	21	15	11	8	6	4	3	2	1	1	1	1	0	0
202461	202469	202475	202479	202482	202484	202486	202487	202488	202489	202489	202489	202489	202490	202490
19	14	11	8	6	4	3	2	2	1	1	1	1	0	0
60872	60877	60880	60883	60885	60887	60888	60889	60889	60890	60890	60890	60890	60891	60891
16	12	9	7	5	4	3	2	2	1	1	1	1	0	0
35636	35640	35643	35645	35647	35648	35649	35650	35650	35651	35651	35651	35651	35652	35652
5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682	5682
28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370	28370
48019	51038	54080	57145	60232	63343	66477	69634	72816	76021	79250	82503	85781	89083	92410
29	21	15	11	8	6	4	3	2	1	1	1	1	0	0
208441	208449	208455	208459	208462	208464	208466	208467	208468	208469	208469	208469	208469	208470	208470
17	13	9	7	5	4	3	2	2	1	1	1	1	0	0
39398	39402	39406	39408	39410	39411	39412	39413	39413	39414	39414	39414	39414	39415	39415
13	10	8	6	4	3	3	2	2	1	1	1	1	0	0
18580	18583	18585	18587	18589	18590	18590	18591	18591	18592	18592	18592	18592	18593	18593
2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702	2702
26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811	26811
48019	51038	54080	57145	60232	63343	66477	69634	72816	76021	79250	82503	85781	89083	92410
1207646	1216704	1225829	1235023	1244285	1253618	1263020	1272492	1282036	1291651	1301339	1311099	1320932	1330839	1340820

		Conso Moy	Nombre de bâtiments par classe				
Type	Classe d'âge	kWh/m2.an	2010	2020	2030	2040	2050
4 Façades	Classe 1	499,1	42904	33349	23052	11956	0
	Classe démo/rec	15	123166	132721	143018	154114	166070
	Classe 2	397,3	19854	15432	10667	5533	0
	Classe démo/rec	15	56994	61416	66181	71315	76848
	Classe 3	359,6	23962	18625	12874	6678	0
	Classe démo/rec	15	68788	74125	79876	86072	92750
	Classe 4	210,5	53283	53283	53283	53283	53283
	Classe 5	179,3	22505	45562	45562	45562	45562
	Classe 6	15	0	2659	30371	60232	92410
Semi-mitoye	Classe 1	432,4	52313	40662	28107	14579	0
	Classe démo/rec	15	150177	161828	174383	187911	202490
	Classe 2	335,3	15731	12228	8452	4384	0
	Classe démo/rec	15	45160	48663	52439	56507	60891
	Classe 3	296,5	9211	7159	4949	2567	0
	Classe démo/rec	15	26441	28493	30703	33085	35652
	Classe 4	172,8	5682	5682	5682	5682	5682
	Classe 5	149,7	5313	28370	28370	28370	28370
	Classe 6	15	0	2659	30371	60232	92410
Mitoyen	Classe 1	311,3	53858	41863	28937	15009	0
	Classe démo/rec	15	154612	166607	179533	193461	208470
	Classe 2	252	10183	7915	5471	2838	0
	Classe démo/rec	15	29232	31500	33944	36577	39415
	Classe 3	234	4804	3734	2581	1339	0
	Classe démo/rec	15	13789	14859	16012	17254	18593
	Classe 4	138,7	2702	2702	2702	2702	2702
	Classe 5	113,8	3754	26811	26811	26811	26811
	Classe 6	15	0	2659	30371	60232	92410
Nombre de bâtiments total			994418	1071566	1154702	1244285	1340819

Annexe 10 : Calculs de la consommation annuelle et des émissions de GES.

- Calcul de la consommation.

Premièrement, nous multiplions le nombre de logements estimé par classe en 2010 par la consommation moyenne unitaire qui est modélisée par la CDPT. Cela nous donne des kWh/m². Nous convertissons cette valeur en TWh, puis par la surface moyenne de logements belges (109m²). Cela nous donne la consommation annuelle de l'ensemble de classes en TWh.

- Projection du mix énergétique (constant aux 3 scénarios)

Le mix énergétique nous sert à dégager la consommation annuelle en fonction de l'utilisation des combustibles.

Combustible	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Mazout	55%	53%	46%	34%	22%	10%
Gaz naturel	31%	38,50%	43%	48,50%	52%	55,00%
Electricité	8%	6,50%	3,50%	0%	0%	0%
Electricité SER	0%	0%	7%	17,50%	26%	35%

Nous n'arrivons pas à un total de 100%. Cela est dû à l'hypothèse faite concernant l'électricité SER. Nous ne l'avons pas prise en compte jusqu'en 2020. Ainsi, nous avons pu interpréter la transition d'énergie entre le mazout et cette dernière. Le tableau ci-dessus est approximé de façon à rendre la présentation homogène dans le corps du travail. Les valeurs utilisées pour les calculs correspondent aux tableaux ci-dessous. En pratique, pour l'estimation du mix énergétique jusqu'en 2050, nous avons déterminé des taux d'évolutions constant en fonction de valeurs définies par hypothèses. Ainsi, en 2025 nous avons stoppé l'utilisation de l'électricité conventionnelle. En 2020 nous avons démarré l'utilisation de l'électricité SER. Le mazout a vu son utilisation baisser jusqu'à 10% en 2050. Le gaz naturel, lui, a vu son utilisation croître jusqu'à 55% en 2050.

a. Estimation du mix énergétique

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1.Mazout	52,0%	51,7%	51,4%	51,0%	50,7%	50,4%	50,1%
2.Gaz naturel	35,3%	35,8%	36,3%	36,8%	37,2%	37,7%	38,2%
3.Electricité classique	5,1%	4,8%	4,5%	4,2%	3,8%	3,5%	3,2%
4.Electricité SER	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
48,9%	47,8%	46,6%	45,5%	44,3%	43,2%	42,0%	40,9%	39,8%	38,6%	37,5%	36,3%	35,2%	34,0%	32,9%
38,7%	39,2%	39,6%	40,1%	40,6%	41,1%	41,6%	42,0%	42,5%	43,0%	43,5%	44,0%	44,4%	44,9%	45,4%
2,9%	2,6%	2,2%	1,9%	1,6%	1,3%	1,0%	0,6%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,2%	2,3%	3,5%	4,7%	5,8%	7,0%	8,2%	9,3%	10,5%	11,7%	12,8%

2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
31,7%	30,6%	29,5%	28,3%	27,2%	26,0%	24,9%	23,7%	22,6%	21,4%	20,3%	19,2%	18,0%	16,9%	15,7%	14,6%	13,4%	12,3%	11,1%	10,0%
45,9%	46,4%	46,8%	47,3%	47,8%	48,3%	48,8%	49,2%	49,7%	50,2%	50,7%	51,2%	51,6%	52,1%	52,6%	53,1%	53,6%	54,0%	54,5%	55,0%
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
14,0%	15,2%	16,3%	17,5%	18,7%	19,8%	21,0%	22,2%	23,3%	24,5%	25,7%	26,8%	28,0%	29,2%	30,3%	31,5%	32,7%	33,8%	35,0%	36,2%

- Une fois la consommation par combustible déterminée, nous convertissons la consommation finale en consommation primaire. Pour cela, nous utilisons les facteurs de conversions définis par la PEB. Le gaz, le mazout ont un facteur de conversion de 1, l'électricité SER de 2,5.
- Une fois la consommation primaire dégagée par combustible. Nous multiplions cette dernière par le facteur d'émissions défini par la PEB. Nous obtenons alors des tonnes équivalentes CO₂.

b. Facteur d'émissions en kg équivalent CO ₂ /kWh	
1.Mazout	0,263
2.Gaz naturel	0,202
3.Electricité classique	0,713
4.Electricité SER	0,055

Annexe 11 : Taux de rénovations et démolitions annuels du parc.

Taux de rénovation Type 1 Classe 1	27,63%	Taux de rénovation Type 1 Classe 1	27,63%
166070	0,4	166070	0,4
40		40	
Taux de rénovation Type 1 Classe 2	0,26224751	Taux de rénovation Type 1 Classe 2	0,26224751
76848	0,4	76848	0,4
40		40	
Taux de rénovation Type 1 Classe 3	0,26570824	Taux de rénovation Type 1 Classe 3	0,26570824
92750	0,4	92750	0,4
40		40	
Taux de rénovation Type 2 Classe 1	0,27990232	Taux de rénovation Type 2 Classe 1	0,27990232
202490	0,4	202490	0,4
40		40	
Taux de rénovation Type 2 Classe 2	0,25794231	Taux de rénovation Type 2 Classe 2	0,25794231
60891	0,4	60891	0,4
40		40	
Taux de rénovation Type 2 Classe 3	0,24794535	Taux de rénovation Type 2 Classe 3	0,24794535
35652	0,4	35652	0,4
40		40	
Taux de rénovation Type 3 Classe 1	0,28042609	Taux de rénovation Type 3 Classe 1	0,28042609
208470	0,4	208470	0,4
40		40	
Taux de rénovation Type 3 Classe 2	0,24982954	Taux de rénovation Type 3 Classe 2	0,24982954
39415	0,4	39415	0,4
40		40	
Taux de rénovation Type 3 Classe 3	0,23560513	Taux de rénovation Type 3 Classe 3	0,23560513
18593	0,4	18593	0,4
40		40	

Annexe 12 : Modélisation de la rénovation et de la démolition

- **Modèle pour la rénovation**

A chaque classe sont donc attribuées une consommation moyenne unitaire et un nombre de bâtiment.

Paramètres du modèle :

- g = Croissance annuelle du parc = 0,75%
- Taux (réno A) = Taux de rénovation de la classe 1. Il représente les unités rénovées de la classe 1 ==> Défini de façon répondre à notre question de recherche et donc rénover tous les bâtiments de la classe 1.
- Taux (réno B) = Au résonnement ci-dessus pour la classe 2.
- Taux (réno C) = Au résonnement ci-dessus pour la classe 3.
- $Y_{(Classe\ i,\ t)}$ = # de bâtiments classe i (i = classe 1 à 6 + classe réno type A + classe réno type B + classe réno type C). Variable sur laquelle nous effectuons la projection de $t=1$ (2010) à $t=40$ (2050).
- $T_{(t)}$ = # total de bâtiment du parc en année t = La somme des unités : des classes 1 à 6 + classe réno type A + classe réno type B + classe réno type C.

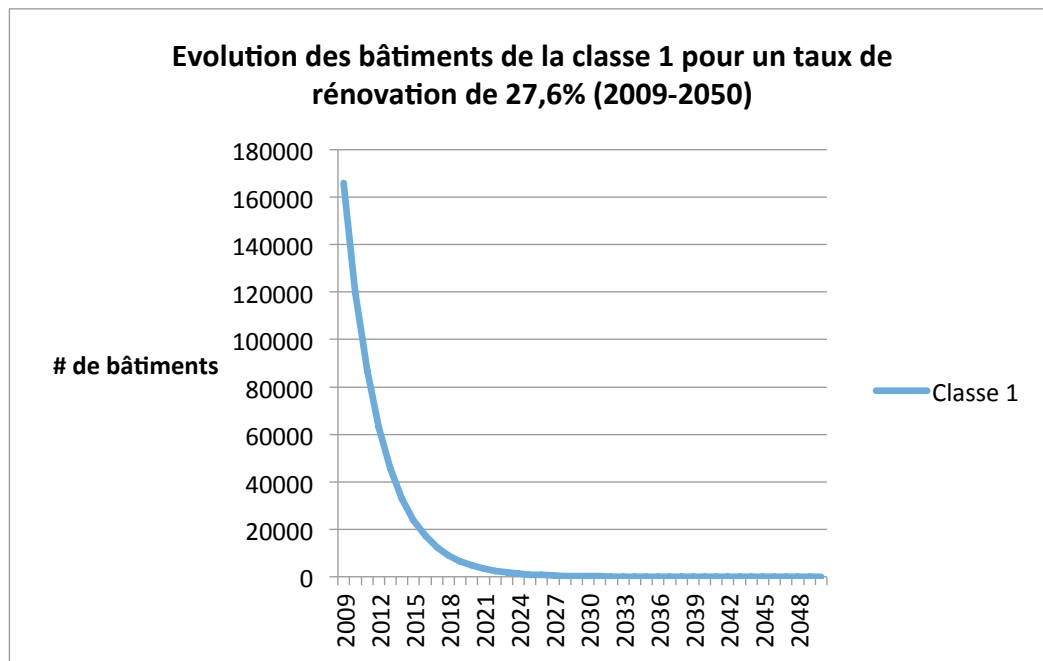
Objectif :

$$T_{(t+1)} = T_{(t)} * (1+g)$$

Tel que :

- $Y_{(réno\ type\ A,\ t)} = Y_{(1,t)} * \text{Taux réno A}$ (Contraintes rénovations)
- $Y_{(réno\ type\ B,\ t)} = Y_{(2,t)} * \text{Taux réno B}$
- $Y_{(réno\ type\ C,\ t)} = Y_{(3,t)} * \text{Taux réno C}$

- $Y_{(1, t+1)} = Y_{(1, t)} - Y_{(\text{réno A}, t)}$ (Contraintes objectif)
- $Y_{(2, t+1)} = Y_{(2, t)} - Y_{(\text{réno B}, t)}$
- $Y_{(3, t+1)} = Y_{(3, t)} - Y_{(\text{réno C}, t)}$
- $Y_{(5, t+1)} = Y_{(5, t)} + (T_{(t)} * g) / 3$ ($t= 1$ à 9) (Contraintes de croissance)
- $Y_{(6, t+1)} = Y_{(6, t)} + (T_{(t)} * g) / 3$ ($t= 10$ à 40)



Variation annuelle des bâtiments de la classe 1 pour un taux de rénovation de la classe 1. Il aurait été préférable de déterminer des taux de démolitions annuels de sorte que les rénovations soient linéaires.

• Modèle pour la démolition

A chaque classe sont donc attribuées une consommation moyenne unitaire et un nombre de bâtiment.

Paramètres du modèle :

- g = Croissance annuelle du parc = 0,75%
- Taux (dém A) = Taux de démolition de la classe 1. Il représente les unités rénovées de la classe 1 ==> Défini de façon répondre à notre question de recherche et donc rénover tous les bâtiments de la classe 1 pour 2050.
- Taux (dém B) = Au résonnement ci-dessus pour la classe 2.
- Taux (dém C) = Au résonnement ci-dessus pour la classe 3.
- $Y_{(\text{Classe } i, t)}$ = # de bâtiments classe i (i = classe 1 à 6 + classe dém A + classe dém B + classe dém C). Variable sur laquelle nous effectuons la projection de $t=1$ (2010) à $t=40$ (2050).
- $T_{(t)}$ = # total de bâtiment du parc en année t = La somme des unités : des classes 1 à 6 + classe dém A + classe dém B + classe dém C.

Objectif :

$$T_{(t+1)} = T_{(t)} * (1+g)$$

Tel que :

A20.

- $Y_{(\text{démo A}, t)} = Y_{(1, t)} * \text{Taux démo A}$ (Contraintes rénovations)
- $Y_{(\text{démo B}, t)} = Y_{(2, t)} * \text{Taux démo B}$
- $Y_{(\text{démo C}, t)} = Y_{(3, t)} * \text{Taux démo C}$

- $Y_{(1, t+1)} = Y_{(1, t)} - Y_{(\text{démo A}, t)}$ (Contraintes objectif)
- $Y_{(2, t+1)} = Y_{(2, t)} - Y_{(\text{démo B}, t)}$
- $Y_{(3, t+1)} = Y_{(3, t)} - Y_{(\text{démo C}, t)}$

- $Y_{(5, t+1)} = Y_{(5, t)} + (T_{(t)} * g) / 3$ (t= 1   9) (Contraintes de croissance)
- $Y_{(6, t+1)} = Y_{(6, t)} + (T_{(t)} * g) / 3$ (t= 10   40)

Annexe 13 : Calibrage selon les calculs de l tude « Vers une Wallonie bas carbone en 2050 »

Belgian GHG emissions, MtCO₂e per year

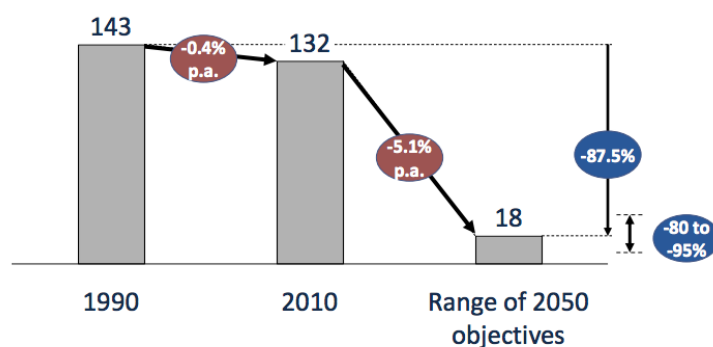
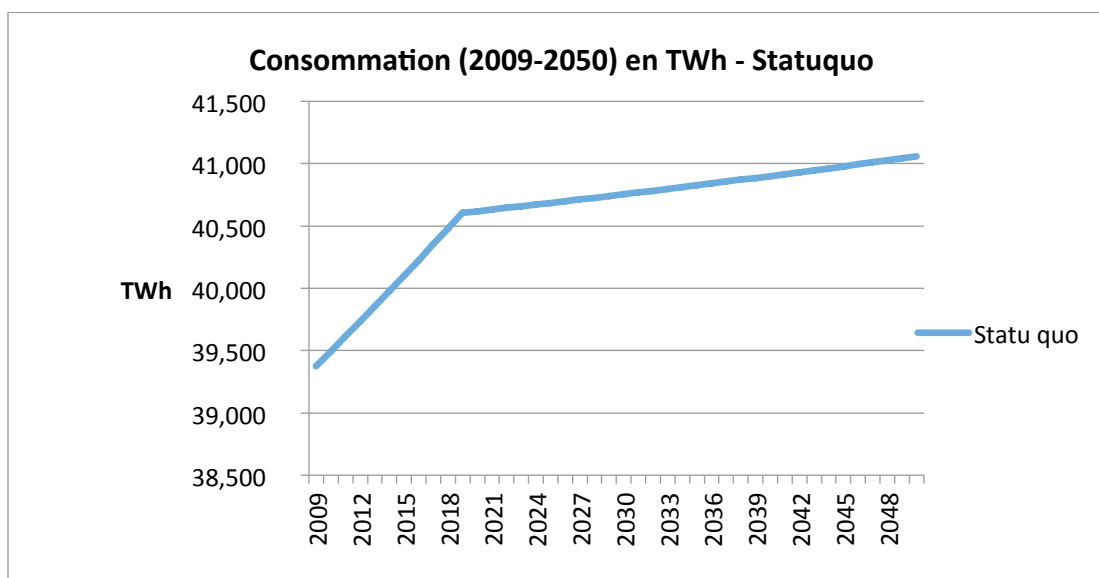


Figure 65 : Objectifs de réduction des émissions belge. (Source : AWAC, 2012 « Vers une Wallonie bas carbone pour 2050 »)

	18% de moins qu'en 2010			Calibrage				
	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	Variation 1990-2050
Statu quo	8116594	8847087	9577580	8556286	7550141	7005386	6458322	-20%
Traj. "Objectif"	8116594	7797712	7491358	4438362	2629570	1557926	923016	-89%

Annexe 14 : Résultats du scénario « statu quo »

Consommation en TWh - Statuquo					
2009	2010	2020	2030	2040	2050
39,374	39,493	40,619	40,755	40,902	41,06
TCAM		0,10%	Evolution 2009 2050		4,28%



Statu quo - Emissions de GES en tonnes équivalent CO2						
1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
8116594	8847087	9577580	8556286	7550141	7005386	6458322
Taux de croissance décennal moyen			-3,74%			
Taux de croissance 1990-2050			-20,43%			

Annexe 15 : Résultats du scénario « rénovation »

Consommation en TWh - Rénovation					
2009	2010	2020	2030	2040	2050
39,374	31,994	14,212	13,593	13,709	13,866
TCAM		-2,51%	Evolution 2009 2050		-64,79%

Rénovation - Emissions de GES en tonnes équivalent CO2						
1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
8116593,56	8847086,98	7758890,835	2993755,271	2518195,485	2347984,708	2180933,135
Taux de croissance décennal moyen			-19,67%			
Taux de croissance 1990-2050			-73,13%			

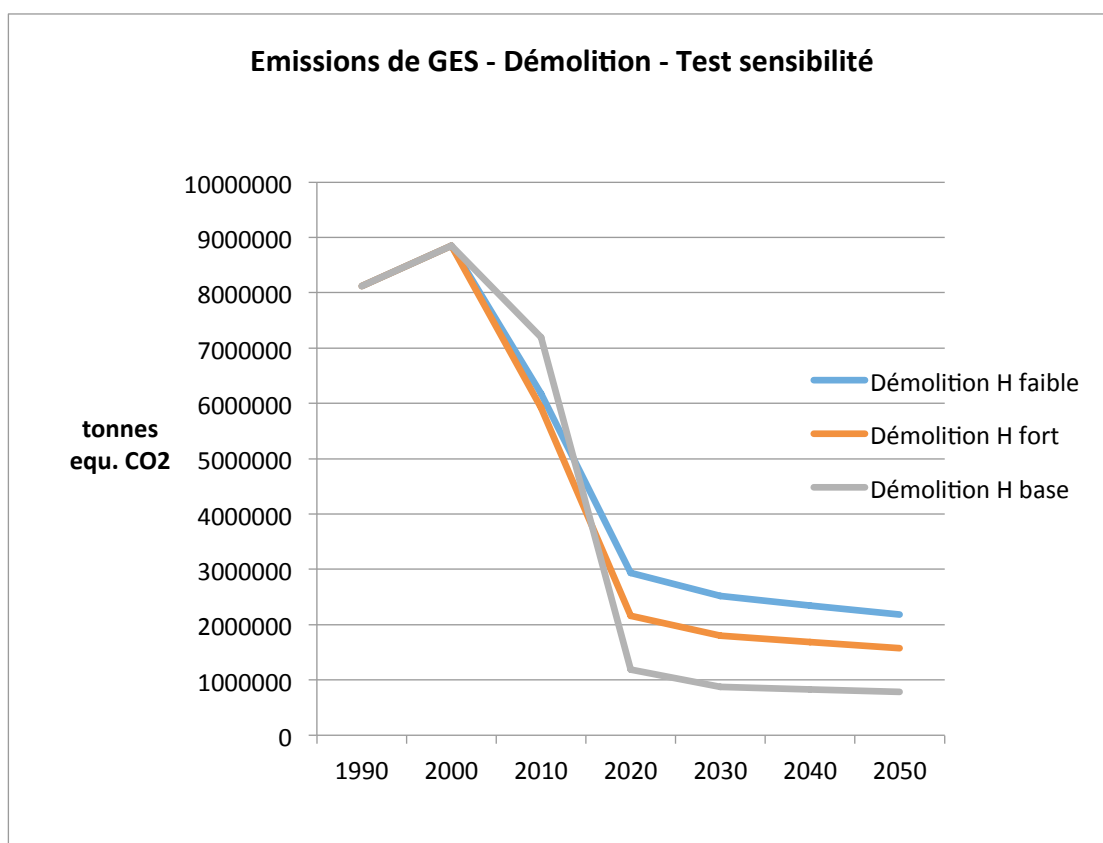
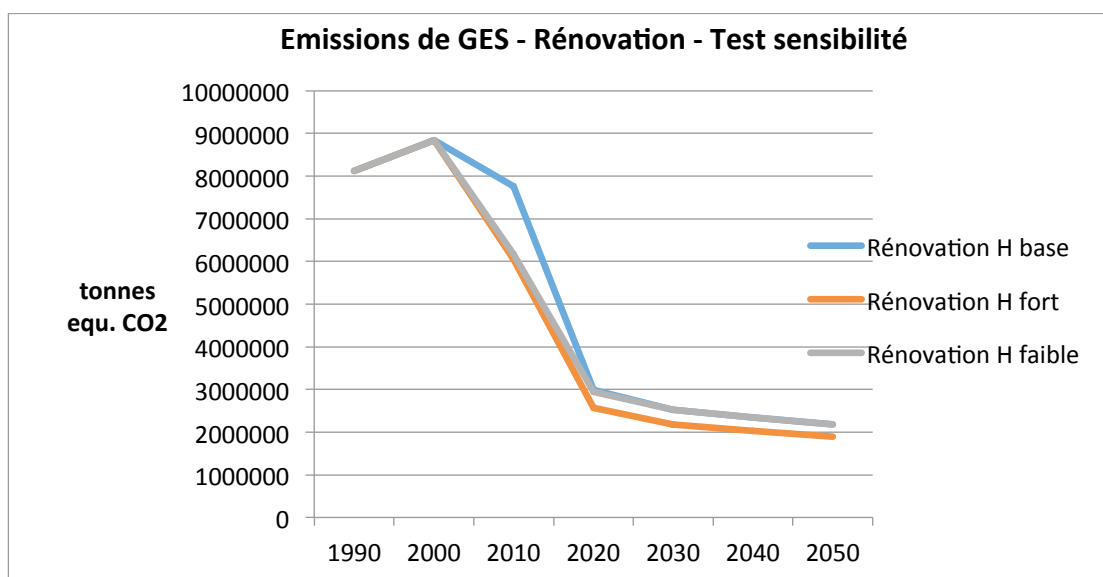
Rénovation - Emissions de GES en tonnes équivalent CO2						
1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
8116593,56	8847086,98	7758890,835	2993755,271	2518195,485	2347984,708	2180933,135
Taux de croissance décennal moyen			-19,67%			
Taux de croissance 1990-2050			-73,13%			

Annexe 16 : Résultats du scénario « démolition »

Consommation en TWh - Démolition					
2009	2010	2020	2030	2040	2050
39,374	29,661	5,645	4,726	4,827	4,983
TCAM		-4,92%	Evolution 2009 2050		-87,34%

Démolition - Emissions de GES en tonnes équivalent CO2						
1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
8116593,56	8847087	7193176,764	1189053,365	875545,6665	826794,1208	783809,7343
Taux de croissance décennal moyen			-32,27%			
Taux de croissance 1990-2050			-90,34%			

Démolition - Emissions de GES en tonnes équivalent CO2						
1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
8116593,56	8847087	7193176,764	1189053,365	875545,6665	826794,1208	783809,7343
Taux de croissance décennal moyen			-32,27%			
Taux de croissance 1990-2050			-90,34%			

Annexe 17 : Résultat test de sensibilité

A24.

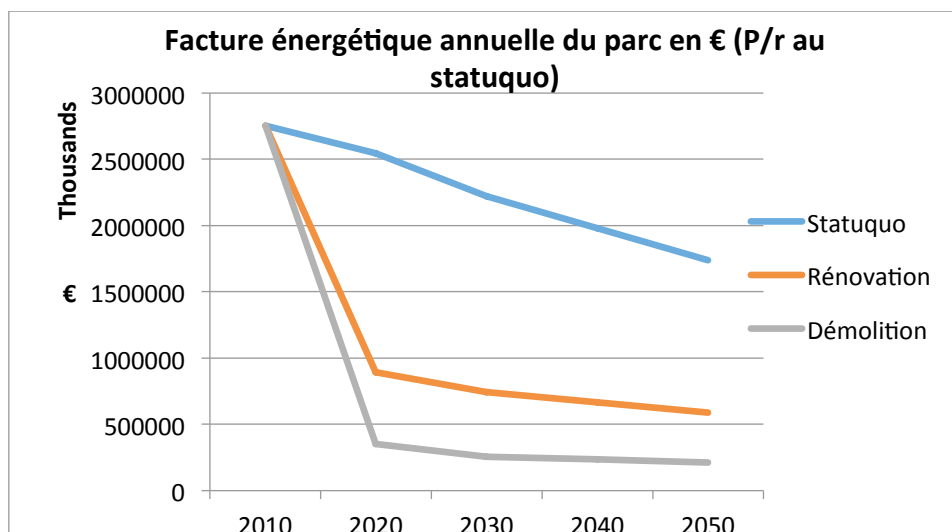
Annexe 18 : Coût des rénovations

Type de rénovation	Efficiencie de la rénovation	Coût au en €/m ² (pour 109m ²) ⁹⁹
Type A	90%	580 (168.200)
Type B	50%	150 (16.350)
Type C	15%	60 (6.540)

Annexe 19 : Evolution de la facture énergétique du parc

Combustible	Prix (Euro/KWh)
Mazout	0,0795
Gaz naturel	0,0625
Electricité	0,129
Electricité SER	0

Facture annuelle	2010	2020	2030	2040	2050	Variation 2010-2050 p/r au statu quo
Statuquo	2.751.444.924 €	2.546.026.544 €	2.221.940.062 €	1.980.544.958 €	1.737.844.731 €	-36,84%
Rénovation	2.228.972.237 €	890.828.174 €	2.221.940.062 €	663.816.298 €	586.858.774 €	-78,67%
Démolition	2.066.454.039 €	353.817.244 €	257.665.396 €	233.749.143 €	210.912.298 €	-92,33%



⁹⁹ BPIE, (2011)

Annexe 20 : Une vision du futur énergétique

Commençons avec l'UE et les SG présentés dans la partie 1, la vision qu'adoptent les décideurs du continent s'accorde sur la conjugaison de l'énergie électrique SER. Vient ensuite, Elon Musk, CEO de Tesla et cofondateur de PayPal, cet entrepreneur adopte une vision claire et sociale de l'avenir en intégrant la question énergétique. En lançant cette année la batterie résidentielle Tesla Powerwall, l'entreprise s'inscrit dans une vision futuriste de la société où l'énergie SER se verrait conservée de façon à être utilisée dans les moments les plus justifiés. En outre, ce produit aurait la capacité de se calquer sur internet à travers des algorithmes d'optimisation de façon à pouvoir se recharger via le circuit électrique déjà existant quand la demande, et donc le prix en est faible. Ainsi, la batterie résidentielle pourrait s'acquitter des besoins de chauffage, de cuisine et d'eau de la maison, mais également recharger une automobile Tesla pour la journée. Nous pourrions donc nous diriger vers une « autogestion » énergétique qui regrouperait à la fois les besoins de logement et de transport des ménages. Enfin, l'économiste et essayiste Jeremy Rifkin avec son livre intitulé : « La troisième révolution industrielle », tire le débat encore plus profondément en inscrivant qu'une transition de l'énergie fossile pour l'énergie renouvelable, couplée aux nouvelles technologies de communication qu'est internet va considérablement changer nos systèmes d'approvisionnement énergétique et en même temps, notre rapport au pouvoir. Il décrit d'ailleurs dans son ouvrage le passage d'une organisation du pouvoir hiérarchique à un pouvoir latéral, qui se définirait par un partage optimal des énergies à un niveau du citoyen. Notamment grâce aux développements technologiques des productions d'énergies renouvelables résidentielles.