

Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2020-2021

Quantification et réduction des émissions de gaz à effet de serre d'un espace métropolitain

**Quantification et réduction des
émissions de gaz à effet de serre d'un
espace métropolitain :**

**Fonction résidentielle – Energie des
usages domestiques**

Sébastien Larribe

Philomène Pagès

2021-2022

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens dans un premier temps à remercier sincèrement Monsieur Sébastien Larribe, directeur de recherche de ce projet de fin d'étude ainsi qu'enseignant chercheur et responsable de la spécialité Génie de l'Aménagement et de l'Environnement à Polytech Tours. Ce sont des échanges constructifs qui nous ont permis d'alimenter mutuellement notre vision du sujet afin de forger et d'orienter ce projet de la manière la plus judicieuse et efficiente qu'il nous a été permis de le faire.

Bien entendu, j'adresse mes remerciements à l'ensemble du corps enseignant et administratif du Département Aménagement et Environnement de Polytech Tours qui participent à la complétude de ma formation et sans qui ce travail n'aurait pu aboutir.

Je tiens également à remercier mes camarades Claire Nigon, Timothé Neubauer, Pierre Bertin, Léonard Gadoin et Claire Ginestet pour leur soutien, leur conseil et leur présence tout au long de cette année notamment durant nos regroupements de travail.

SOMMAIRE

Table des Illustrations	8
Introduction.....	9
Sujet et question posée.....	10
Périmètre de l'étude	10
Le secteur du logement à l'heure actuelle.....	11
Les objectifs de la SNBC	12
Les objectifs du projet de recherche.....	12
Les leviers d'actions identifiés.....	13
Objectifs de la première itération	15
Modélisation	17
Structure de la modélisation	17
Simulation des objectifs de la SNBC.....	20
Résultats.....	21
Discussion.....	22
Conclusion	24
Bibliographie	25

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Processus d'évaluation Environnementale Stratégique du PCAET – Source : (Communauté de commune du Haut Poitou, 2020).....	9
Figure 2 : Source des émissions de gaz à effet du résidentiel – Source : SNBC 2020 (2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf, s. d.).....	11
Figure 3 : Evolution des émissions de GES en MTCO ₂ eq du secteur du bâtiment depuis 1990	11
Figure 4 : Historique et projection des émissions du secteur des bâtiment entre 1990 et 2050 (en MtCO ₂ eq) - Source : SNBC	12
Figure 5 : Diagramme des leviers potentiels.....	14
Figure 6 : Scénario de construction neuve - Source : (Shift Project, 2020) Erreur ! Signet non défini.	
Figure 7 : Part des étiquettes énergétiques par années de construction - Source : (Le parc de logements par classe de consommation énergétique, s. d.)	18
Figure 8 : Répartition des DPE par énergie de chauffage	18
Figure 9 : Méthodologie de modélisation	19
Figure 10 : Simulation des rénovations des passoires thermiques selon le scénario de la SNBC	21
Figure 11 : Tendances des économies d'énergie par rénovation énergétique des logements sur l'ensemble du parc français	22

Introduction

Face à la crise environnementale actuelle, le gouvernement français a voté le 17 août 2015 la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV). Elle a pour objectif « de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et à la préservation de l'environnement, ainsi que de renforcer son indépendance énergétique tout en offrant à ses entreprises et ses citoyens l'accès à l'énergie à un coût compétitif » (*Loi de transition énergétique pour la croissance verte*, s. d.). Introduite par la LTECV, la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) est la feuille de route visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) du territoire français jusqu'à atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 (*Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)*, s. d.). Elle est structurée suivant les secteurs d'activités du pays et établie les orientations et objectifs pour chacun d'entre eux :

- Transport
- Bâtiment (logement et tertiaire)
- Agriculture
- Industrie
- Production d'énergie
- Traitement des déchets

Afin de remplir les objectifs de chaque secteur d'activité, la SNBC s'applique aussi à des domaines transversaux concernant : l'empreinte carbone des Français liée à leur consommation, la politique économique en réorientant les flux financiers, la recherche et l'innovation, l'urbanisme et l'aménagement, la sensibilisation des citoyens ainsi que l'emploi et la formation professionnelle (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2020a). La SNBC s'adresse aux décideurs à l'échelle nationale et locale. A l'échelle des collectivités territoriales, les objectifs de la SNBC se traduisent par la formulation des Plans Climat Air Energie Territorial (PCAET) qui sont la « déclinaison réglementaire locale de l'engagement de la France contre le dérèglement climatique » (Communauté de commune du Haut Poitou, 2020). Le PCAET a vocation à initier le développement d'une stratégie de diminution des émissions de GES du territoire en construisant un programme d'action. Pour cela, un diagnostic territorial des émissions du territoire permet d'identifier les leviers d'action prioritaires (voir Figure 1).

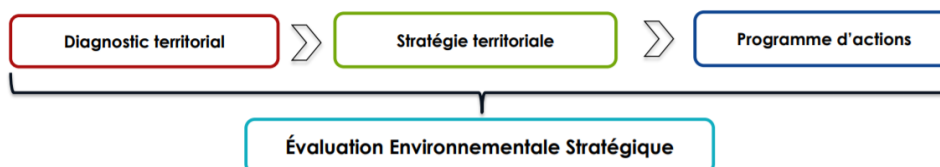


Figure 1 : Processus d'évaluation Environnementale Stratégique du PCAET – Source : (Communauté de commune du Haut Poitou, 2020)

L'objectif de ce travail de fin d'étude est de quantifier les émissions de GES d'un territoire métropolitain donné afin de simuler et évaluer l'impact d'actions envisagées par les collectivités territoriales. Pour cela, un démonstrateur sera développé afin de simuler les objectifs de la SNBC qui guident les collectivités. L'objectif final est alors d'évaluer l'impact potentiel de ces actions dans le cadre de l'élaboration du PCAET du territoire étudié. Ce démonstrateur spatialisé l'action publique en se basant ainsi sur les spécificités du territoire concerné et permet de rendre opérationnelle la politique nationale qui est, elle, standardisée pour l'ensemble du territoire français. Les activités d'un territoire entremêlant plusieurs des secteurs d'activité cités ci-dessus, il a été choisi de structurer l'outil par fonction urbaine. La fonction résidentielle par exemple fait appel

à la fois au secteur de production d'énergie, du bâtiment, du traitement des déchets et de l'industrie pour la construction. Comme expliqué dans le premier rapport intitulé « quantification des émissions de gaz à effet de serre d'un espace métropolitain », travailler par fonction urbaine permet de renforcer le caractère opérationnel à l'échelon local car cette structure permet une approche interdisciplinaire qui correspond mieux à la réalité de terrain.

Dans un travail à caractère itératif, le présent rapport reprend le cadre du sujet qui a été recentré dans un premier temps sur une unique fonction urbaine. Une fois l'objectif du travail défini, la méthode de simulation ainsi que ses limites sont développées afin de pouvoir reproduire l'analyse sur un territoire différent de celui étudié. Les résultats de simulation des orientations prescrites par la SNBC appliquées au territoire test permettent de proposer des lignes directrices aux élus locaux et enfin, les résultats sont discutés en fin de rapport.

Sujet et question posée

Périmètre de l'étude

Le sujet initial de ce projet de fin d'étude consiste à développer un outil permettant de quantifier des émissions de GES d'un espace métropolitain et d'analyser les changements de pratiques visant à les réduire. Il a été choisi que le cas d'étude porterait sur la métropole de Tours bien que l'objectif final soit que l'analyse soit transposable à n'importe quelle métropole française. Le premier rapport délivré en mars 2021 transcrit une vision générale des différents enjeux et fonctions urbaines à prendre en compte pour une simulation complète des émissions de GES du territoire. 5 fonctions urbaines ont ainsi été identifiées : résidentielle, économique, transport, politique et culturelle. Dans un premier temps il a fallu concentrer le travail sur une unique fonction urbaine. Nous avons choisi la fonction résidentielle car son domaine de définition est assez simple pour un premier cas. La différence entre le secteur du logement et la fonction résidentielle est le périmètre qu'englobe ces deux termes. Le secteur du logement prend en compte ce qui est propre aux bâtiments alors que la fonction urbaine résidentielle comprend l'ensemble des problématiques liées au logement, que ce soient les usages faisant appel à d'autres secteurs d'activité comme le traitement des ordures ménagères, ou bien l'impact du logement sur son environnement (artificialisation des sols par exemple). Selon le think tank du Shift Project (Shift Project, 2020), le secteur du logement comprend 3 domaines de causes d'émissions de GES auxquelles nous avons élargi le périmètre d'application afin de répondre aux problématiques de la fonction résidentielle et non seulement du secteur du logement. Le périmètre d'application de l'étude des émissions de GES de la fonction résidentielle est donc le suivant :

Les actions en lien avec l'industrie

- Production des matériaux
- Production de l'énergie (étude des changements de la filière énergétique pour les usages domestiques et les opérations physiques sur le logement)

Les opérations physiques sur le logement et son environnement :

- Construction neuve
- Rénovation
- Consommation de foncier

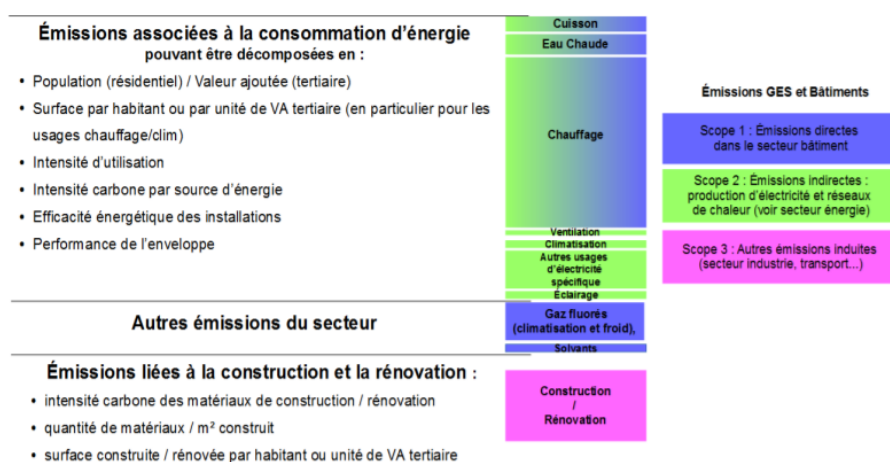
Les émissions liées à l'usage du logement

- Energie : chauffage, ECS, ventilation, climatisation, éclairage/appareils électriques
- Traitement des ordures ménagères
- Assainissement

La première itération sur le travail de la fonction résidentielle portera exclusivement sur les émissions de GES en lien avec l'usage domestique de l'énergie qui dépend du secteur du logement. Il est donc nécessaire à présent de rendre compte de l'état actuel de ce secteur.

Le secteur du logement à l'heure actuelle

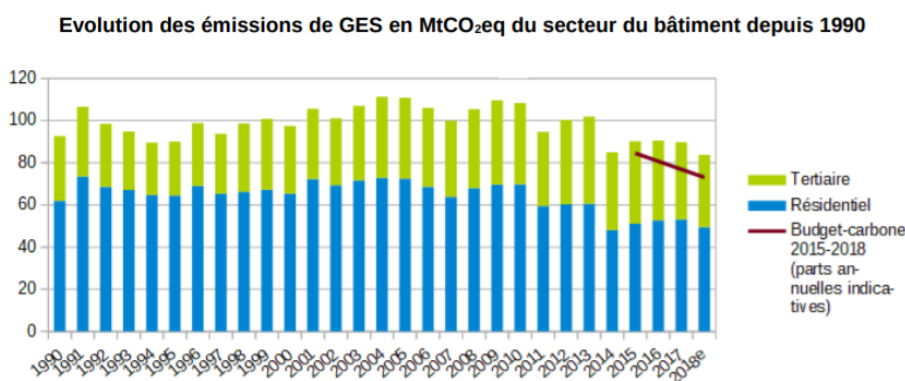
Le secteur du bâtiment, comprenant à la fois le logement et le tertiaire, est le premier consommateur d'énergie des secteurs d'activité listés en introduction. Selon le rapport de la SNBC, il représente 19% des émissions nationales de GES en 2015 en termes d'émissions directes (scope 1) et 28% en ajoutant les émissions liées à la production d'énergie consommée (scope 2) (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2020a). A cela il faudrait ajouter les émissions liées au scope 3 afin de connaître le bilan total des émissions de GES du secteur à l'état actuel du parc (voir Figure 2).



nota : les émissions liées aux travaux de construction et de rénovation sont majoritairement comptabilisées dans le secteur industrie

Figure 2 : Source des émissions de gaz à effet de résidentiel – Source : SNBC 2020 (2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf, s. d.)

Le secteur du logement représente quant à lui environ 70% des émissions du secteur du bâtiment. Entre 1990 et 2017, les émissions de GES liées au résidentiel ont baissé de 14% (et seulement 4% dans le secteur du bâtiment) (voir Figure 3). Néanmoins, la dynamique de la consommation d'énergie finale entre 2014 et 2017 stagne avec une légère variation de + 0,4% en 3 ans (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2020b).



e : estimation. Source : inventaire CITEPA de mai 2019 au format SECTEN et au périmètre Plan Climat Kyoto, données non corrigées des variations climatiques, phase d'usage du bâtiment exclusivement.

Figure 3 : Evolution des émissions de GES en MtCO₂eq du secteur du bâtiment depuis 1990

Les objectifs de la SNBC

L'objectif de la SNBC dans le secteur du bâtiment à l'horizon 2030 étant de réduire de 49% les émissions (directes et indirectes) de GES par rapport à 2015, cela représente une diminution annuelle moyenne des émissions de 2,5 Mt CO₂e/an afin d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Cet objectif annuel doit prendre en compte les logements neufs construits sur cette période. Cela signifie que la dynamique au cours des années doit rester linéaire décroissante selon un coefficient de -2,3 par an, alors même que le parc du logement va augmenter. Néanmoins, avec des dépassements des parts annuelles indicatives de 0,4 MtCO₂e/an, le secteur du bâtiment est déjà en retard sur les objectifs fixés par la SNBC. Si la tendance n'est pas rapidement modifiée, la France risque de ne pas tenir les objectifs nationaux et européens de l'horizon 2030. Selon la SNBC, ce retard est dû à l'écart important entre le rythme des rénovations énergétiques et les performances atteintes (en kWh/m².an) en comparaison avec les scénarios envisagés par la SNBC en 2015 et révisés en 2020 (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2020b).

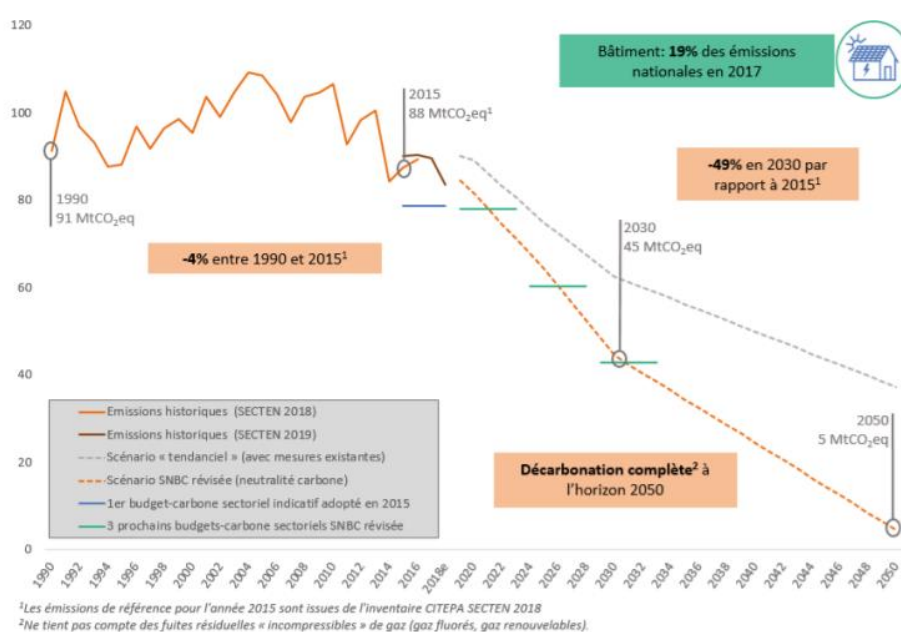


Figure 4 : Historique et projection des émissions du secteur des bâtiments entre 1990 et 2050 (en MtCO₂e) - Source : SNBC

Les objectifs du projet de recherche

Ces objectifs quantitatifs fixés par la SNBC s'appliquent au secteur du bâtiment dans sa globalité (logement et tertiaire). Dans le cadre de cette étude, nous considérons que ces deux usages du bâtiment doivent suivre équitablement les objectifs de la SNBC et donc atteindre tout deux 49% de réduction d'émissions de GES par rapport à 2015 d'ici 2030. La finalité de ce travail est d'établir un outil d'aide à la décision à l'attention des élus locaux simulant quantitativement des changements de pratique dans la fonction urbaine résidentielle afin d'évaluer leurs impacts sur le territoire. Le démonstrateur prendra la forme d'un comparateur entre le parc actuel et une situation test. La situation test permettra de dégager les ordres de grandeur des économies de carbone permise par un levier dont on cherche à simuler l'impact. Les situations testées dans cette étude seront les objectifs court termes de la SNBC. La fonction urbaine résidentielle prenant en compte plusieurs secteurs d'activité et orientations transversales identifiés par la SNBC (bâtiment, déchet, production d'énergie, industrie, urbanisme et aménagement), pour chaque levier potentiel identifié, il sera nécessaire de se reporter aux leviers du secteur d'activité correspondant dans le rapport de la SNBC.

Les leviers d'actions identifiés

Dans le cadre du Plan de Transformation de l'Economie Française mené par think tank du Shift Project, l'étude de la fiche de 2020 orientée sur le logement a permis d'identifier plusieurs leviers d'actions pouvant être envisagés par les élus (Shift Project, 2020). La philosophie générale préconisée par le Shift Project concernant la priorisation des leviers consiste à suivre la séquence Eviter Réduire Compenser (ERC). Cela signifie que les leviers permettant d'éviter ou réduire les besoins (en chauffage notamment) ou directement les émissions (choix des matériaux) sont ceux sur lesquels il faut jouer en premier. La compensation entre dans un second temps (augmenter les surfaces de puits de carbone par exemple).

Les leviers reliés à la fonction urbaine résidentielle et identifiés comme pouvant être modélisés afin de simuler de potentiels actions pour les collectivités territoriales ont été recensés dans le diagramme ci-dessous (voir Figure 5). Néanmoins cette liste n'est pas exhaustive et la lecture de la SNBC sur les secteurs hors bâtiments englobés dans la fonction résidentielle est nécessaire afin de relever des objectifs quantitatifs à simuler dans un temps futur.

Pour chaque levier, l'objectif est de comparer la situation actuelle avec une situation test prenant en compte un changement de pratique. Ainsi, en entrant des données permettant de modéliser la situation test, le démonstrateur permet de calculer l'écart relatif d'émissions entre les deux situations, d'estimer l'ordre de grandeur de chaque levier afin de les comparer entre eux et d'étudier leurs influences. Pour cela, il est nécessaire d'identifier des objectifs quantitatifs à appliquer pour chaque levier.

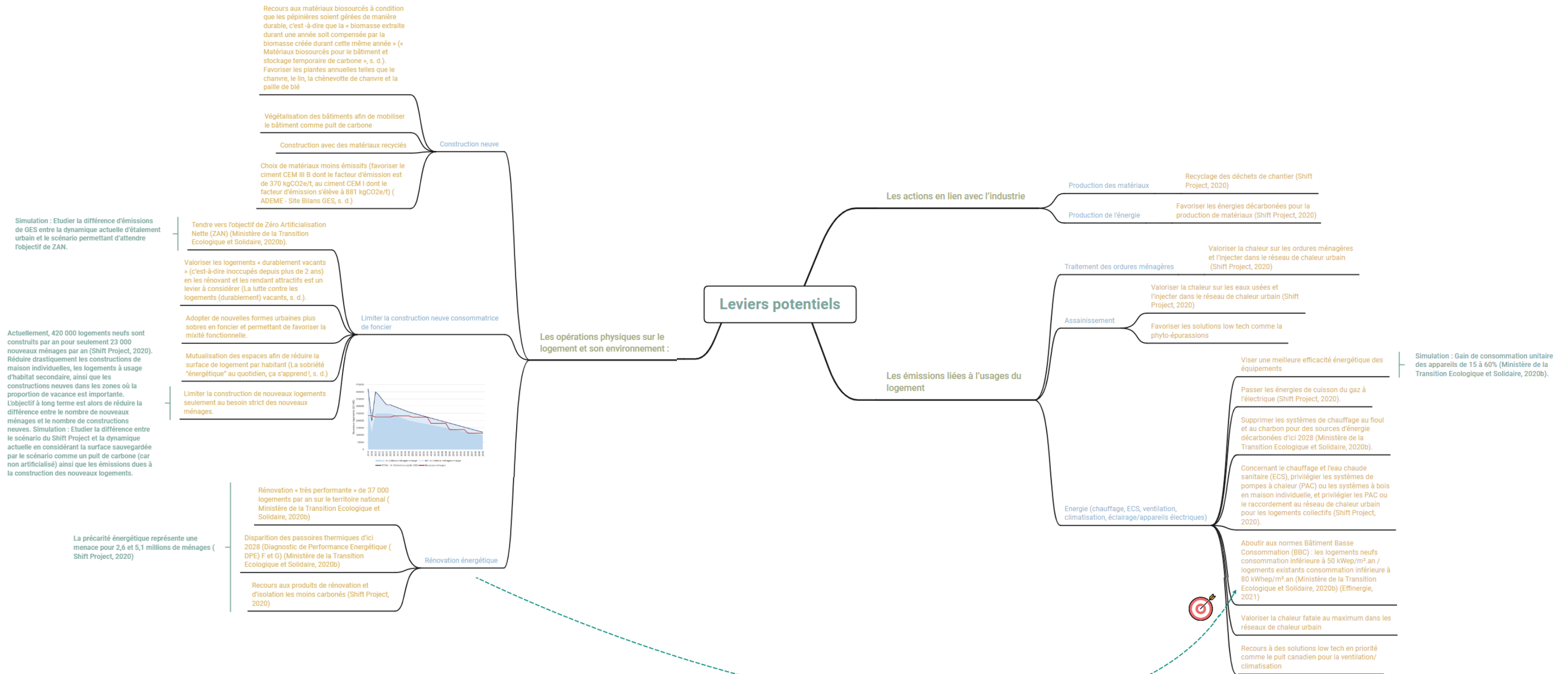


Figure 5 : Diagramme des leviers potentiels

Objectifs de la première itération

A travers ce projet de fin d'étude qui est une première étape d'un travail plus complet avenir, nous avons choisi de nous concentrer sur les problématiques liées à l'énergie. Les autres thématiques liées à la fonction résidentielle pourront ainsi être étudiées dans une seconde itération.

L'enjeu étant de guider les collectivités territoriales à réduire leurs émissions de GES via un plan d'action concret et précis, nous nous demandons si les ordres de grandeurs des leviers d'actions proposés par la Stratégie Nationale Bas-Carbone sont suffisants afin d'atteindre les objectifs à court terme de décarbonation de la chaleur pour l'usage domestiques résidentiel ?

Concernant l'énergie, les simulations porteront sur la décarbonation de l'énergie thermique ainsi que sur la réduction des consommations énergétiques. Selon la SNBC, « les émissions directes liées à la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment doivent réduire de 49% d'ici 2030 » (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2020b). Les grandes orientations dictées par le rapport de 2020 cherchent à favoriser les énergies décarbonées les plus adaptées à la typologie de chaque bâtiment, tout en priorisant les systèmes de chauffage les plus efficaces afin d'atteindre l'objectif d'un mix énergétique totalement décarboné d'ici 2050. Pour cela, la SNBC fixe comme objectif à court terme la disparition complète du chauffage individuel au fioul et au charbon d'ici 2028. Un travail de simulation permettra de comparer l'impact d'une telle mesure en comparant les consommations d'énergie thermique du parc existant en 2018, avec une situation test où tous les systèmes de chauffages au fioul et au charbon sont remplacés par des systèmes dont la source d'énergie est décarbonée.

Concernant la réduction des consommations de chaleur des ménages, le levier principal est la rénovation énergétique dont la politique française à ce sujet est définie dans le plan de rénovation énergétique des bâtiments de 2019 (*Plan de rénovation énergétique des bâtiments*, s. d.). Les rénovations énergétiques sont des opérations regroupant à la fois des travaux physiques sur l'enveloppe du bâti (isolation par exemple), mais aussi des changements des installations techniques. A l'horizon 2050, la SNBC donne l'objectif d'atteindre la norme BBC pour tous les logements. Pour les logements neufs, cela se traduit par des bâtiments dont la consommation ne dépasse pas $50 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2.\text{an}$, ce qui revient à un Diagnostic de Performance Energétique (DPE) évalué en étiquette énergétique A. Le DPE est un indicateur de performance énergétique (IPE), qui évalue la consommation d'énergie primaire d'un bâtiment par m^2 sur 1 an. Il prend en compte à la fois l'énergie nécessaire pour le chauffage, pour l'ECS, mais aussi pour son refroidissement et les usages électriques (éclairage, appareils électriques...). Pour le parc existant, un logement cherchant à atteindre la norme BBC doit avoir une consommation inférieure à $80 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2.\text{an}$ corrigé d'un coefficient de rigueur climatique en fonction de la zone géographique et de l'altitude (Effinergie, 2021). Pour le territoire de Tours, le coefficient de rigueur climatique est de 1. Celui-ci est augmenté de 0 car la métropole s'élève à une altitude moyenne de 52m au-dessus du niveau de la mer (voir Figure 6). Selon la relation suivante, $BBC = a.80 + b \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2.\text{an}$, pour atteindre la norme BBC à Tours pour les bâtiments existants, leurs consommations doivent être inférieures ou égales à $80 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2.\text{an}$.

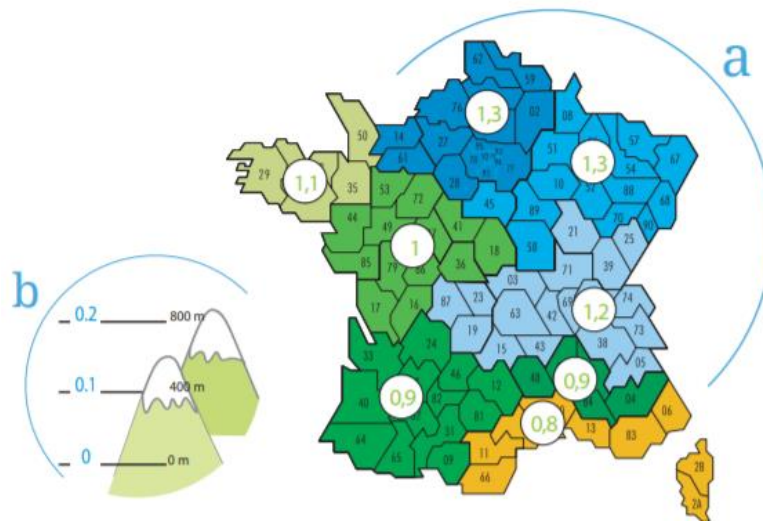


Figure 6 : Coefficient de rigueur climatique et d'altitude - Source : (Effinergie, 2021)

Afin d'accompagner les collectivités territoriales pour atteindre le niveau assimilable aux normes BBC sur la totalité du parc en 2050, la SNBC dicte des objectifs à plus court terme. Ainsi, à minima 370 000 rénovations complètes équivalentes devront être menées en moyenne par an jusqu'en 2030 sur l'ensemble du territoire français afin d'accélérer le rythme et la qualité des rénovations énergétiques. Après 2030, le rythme devra augmenter avec 700 000 rénovation complètes équivalentes par an. Une rénovation complète équivalente signifie que l'ensemble du bâti (fenêtre, murs, toiture...) doit être rénové de manière « performante » (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2020b). Les rénovations qualifiées de performantes permettent d'atteindre des niveaux de réduction de consommation d'énergie primaire et d'émissions de CO₂ supérieurs aux rénovations dites « standards ». Ces niveaux dépendent de la typologie du bâtiment (Rochard et al., 2015). Par exemple, un immeuble collectif construit avant 1915 comprenant moins de 10 logements consomme en moyenne 467 kWhep/m².an. Une rénovation standard sur cette typologie de bâtiment permet de réduire en moyenne la consommation en énergie primaire jusqu'à 139 kWhep/m².an. En rénovation performante, il est possible d'atteindre des consommations de seulement 100 kWhep/m².an (Rochard et al., 2015). L'objectif de 370 000 rénovations complètes peut être atteint avec une part de rénovations non-complètes mais le nombre de rénovations à atteindre sera supérieur. C'est la raison pour laquelle on parle de rénovation complète équivalente.

D'après la SNBC, d'ici 2028, les passoires thermiques devront disparaître du parc résidentiel. Sur le site du gouvernement, les passoires thermiques représentent tous les logements classés F et G selon le critère de performance énergétique DPE (*Interdiction à la location des logements avec une forte consommation d'énergie dès 2023*, s. d.). La disparition des passoires thermiques étant la priorité d'ici 2028, les rénovations complètes équivalentes visant à atteindre les normes BBC pour l'ensemble du parc d'ici 2050 devront s'appliquer dans un premier temps aux logements classés en étiquettes énergétiques F et G. Afin de constater les effets de telles mesures de rénovation sur le territoire tourangeau, l'objectif de ce projet de fin d'étude consiste à simuler à la fois l'impact de 370 000 rénovations par an jusqu'à 2030 réparties équitablement sur le territoire français en fonction de la surface bâtie, ainsi que la différence entre l'état actuel du parc et une situation test dans laquelle toutes les passoires thermiques ont subi des rénovations performantes.

La modélisation de tels opérations de rénovation énergétiques, ainsi que la disparition des systèmes de chauffages les plus carbonés (fioul et charbon) feront donc l'objet des premiers résultats de simulation des leviers identifiés.

Modélisation

Structure de la modélisation

La modélisation de l'impact des mesures dictées par la SNBC est appliquée au territoire de la métropole de Tours mais l'objectif étant de pouvoir simuler les changements de pratiques sur n'importe quelle métropole, cette partie du rapport explique en détail sur quelles données et relations reposent les résultats obtenus. L'outil a été conçu en fonction des données disponibles afin de ne pas avoir recours à un diagnostic territorial tout en donnant la possibilité d'appliquer le démonstrateur à n'importe quelle métropole.

Afin de pouvoir évaluer l'impact des rénovations performantes des logements ainsi que du changement de la source énergétique de chauffage de manière dissociée, le démonstrateur repose les consommations énergétiques des logements en kWh/m². Dans le cadre de Diagnostic de Performance Énergétique, l'outil d'étiquette énergétique permet au ministère de la transition écologique et solidaire d'obtenir les statistiques des consommations du parc existant en 2018 dans chaque département (voir tableur – onglet 'DonnéesSimul' - **Situation actuelle - Répartition étiquettes énergétique en Indre et Loire (37)**) (*Le parc de logements par classe de consommation énergétique*, s. d.). L'hypothèse faite est donc que la répartition des consommations d'énergie est homogène dans l'ensemble du département d'Indre et Loire. Le choix de baser le démonstrateur sur les étiquettes énergétiques et non pas les étiquettes GES du DPE est justifié car on souhaite pouvoir simuler l'impact des 2 leviers de manière indépendante. Les opérations de rénovation performante se traduisent matériellement par une réduction de la consommation énergétique d'un bâtiment en apportant des modifications à l'enveloppe du bâti ainsi qu'aux installations techniques. Modifier les consommations énergétiques moyennes entre la situation actuelle et une situation test sur le démonstrateur permet donc de simuler des travaux de rénovation. De la même manière, baser le démonstrateur sur la consommation énergétique des logements permet ainsi d'analyser l'impact de travaux propres au système de chauffage en conservant la même consommation énergétique des logements mais en modifiant le facteur d'émission propre à chaque source d'énergie.

La répartition des sources énergétiques de chauffage n'étant pas homogène pour chaque étiquette énergétique, il a fallu estimer pour chaque DPE la part de chaque source de chauffage. Il existe une corrélation entre les consommations énergétiques des bâtiments et de leurs années de construction, ainsi qu'entre l'année de construction des logements et les systèmes de chauffages installés. Le ministère de la Transition écologique a publié des données de 2018 permettant de connaître pour chaque classe d'étiquette énergétique, la part de logements construits en fonction de sa période de construction (voir tableur – onglet 'DonnéesSimul' - **Part des DPE par année de construction**) (*Le parc de logements par classe de consommation énergétique*, s. d.). Ainsi, 84% des logements classés A et 52% des logements classés B ont été construits entre 2012 et 2018 ; 57% des logements classés C ont été construits entre 1948 et 2000 ; 50%, 54% et 48% des logements classés respectivement D, E et F ont été construits entre 1948 et 1988, et enfin, 72% des logements classés G ont été construits avant 1948 (voir Figure 7).

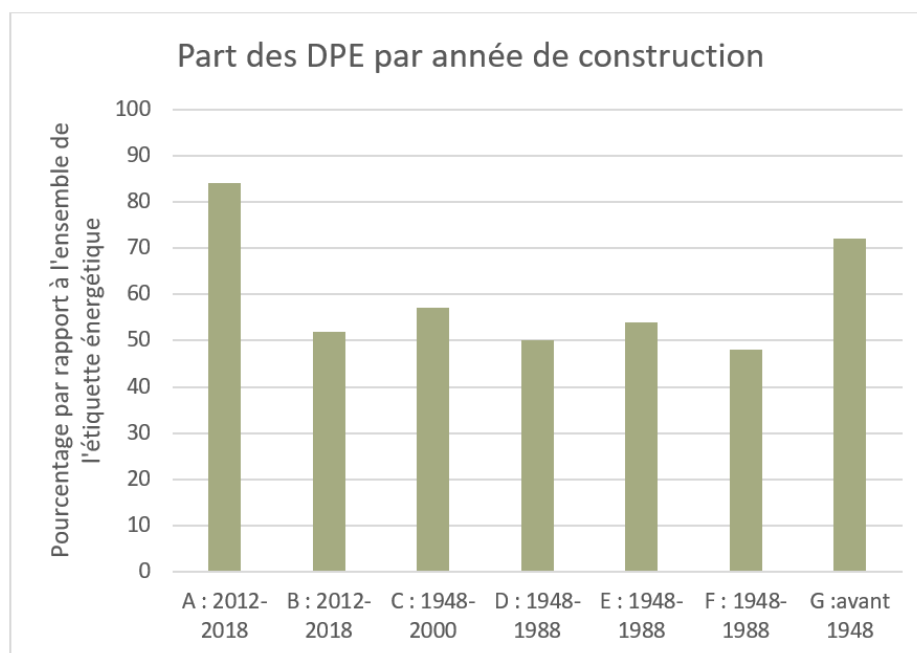


Figure 6 : Part des étiquettes énergétiques par années de construction - Source : (Le parc de logements par classe de consommation énergétique, s. d.)

Afin de relier les étiquettes énergétiques des bâtiments aux systèmes de chauffages installés, l'Observatoire DPE de l'ADEME (ADEME - Observatoire DPE - Statistiques, 2012) permet de connaître par département la part de chaque source énergétique sur une période de temps définie par l'utilisateur. Selon les hypothèses concernant la corrélation entre les étiquettes énergétiques et la période de construction des logements, on obtient ainsi la répartition suivante des systèmes de chauffage en Indre et Loire en fonction des étiquettes énergétiques (voir Figure 8) : Les données sont retranscrites dans le tableur dans l'onglet 'DonnéesSimul' - **Part des systèmes de chauffages par années de construction.**

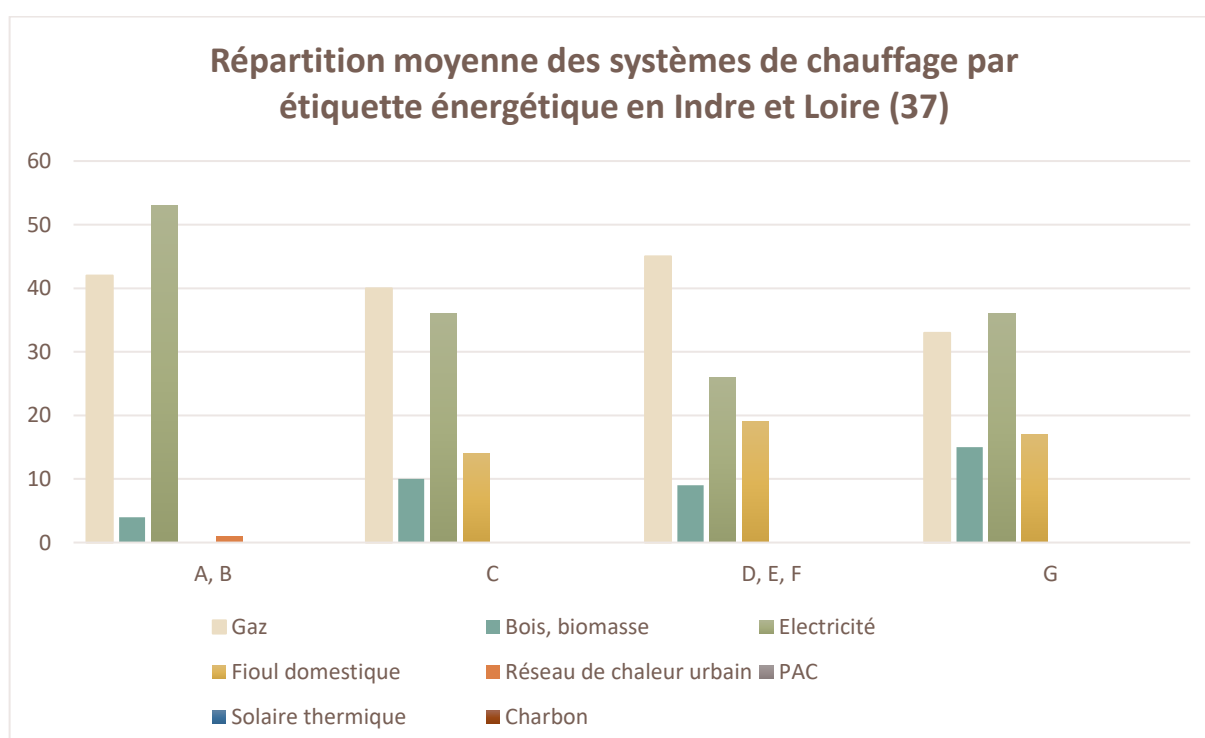


Figure 7 : Répartition des DPE par énergie de chauffage

Connaissant la consommation énergétique en kWh/m² ainsi que le système de chauffage, en appliquant le facteur d'émission propre à chaque source d'émission en kg CO₂ e / kWh_{ep} disponible sur la base carbone de l'ADEME (*ADEME - Site Bilans GES*, s. d.), on peut calculer les émissions de CO₂ e liées à la consommation de chaleur à condition de connaître la surface bâtie dans la métropole par étiquette énergétique (voir tableur – onglet 'Démonstrateur-Rénovation2028'). Les bases de données topographiques départementales de l'IGN (*IGN Géoservices - BD TOPO*, s. d.) permettent après traitement SIG de l'emprise au sol multipliée par le nombre d'étage qui a été estimé par la hauteur des bâtiments, de connaître la surface développée du bâti (voir tableur – onglet 'DonnéesSimul' - **Surface développée métropole de Tours**). Le schéma ci-dessous résume les données permettant de faire le bilan actuel des émissions de GES liées au chauffage et à l'ECS de la fonction résidentielle. Pour plus de précision sur certaines données et les hypothèses faites, il est possible de se référer à l'outil Excel qui commente certains points dans l'onglet 'DonnéesSimul'.

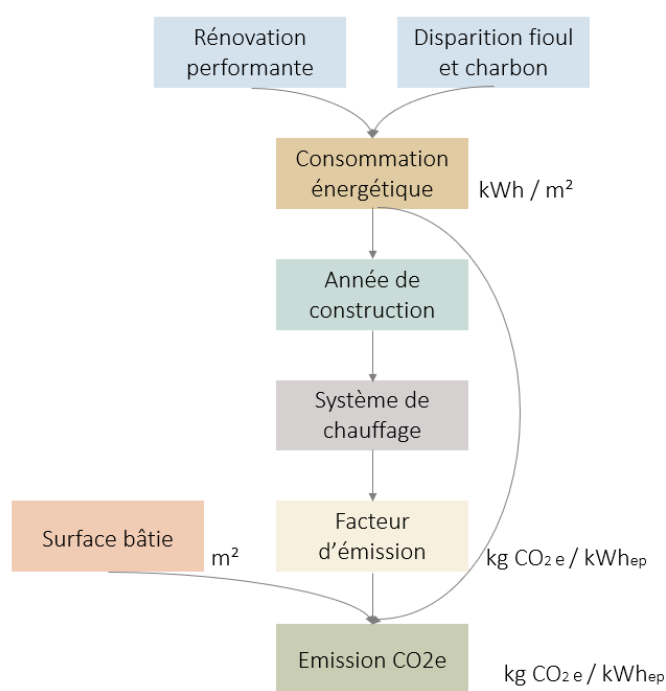


Figure 8 : Méthodologie de modélisation

Simulation des objectifs de la SNBC

Comme vu précédemment, un logement faisant l'objet de travaux de rénovation performant peut réduire sa consommation énergétique annuelle. Cette réduction a été estimée pour chaque typologie de logements dans le rapport sur « la typologie des bâtiments résidentiels et la rénovation énergétique », rédigé dans le cadre du projet européen EPISCOPE (Rochard et al., 2015). Ce projet a vocation à rendre plus efficace le processus de rénovation énergétique des logements. Le rapport qui en découle a permis d'estimer en moyenne pour chaque étiquette énergétique des logements sur lesquels on applique des travaux de rénovation, la nouvelle consommation énergétique en kWh_{ep}/m² qu'ils peuvent atteindre (voir tableur – onglet 'DonnéesSimul' - **Objectifs SNBC - Calcul de la consommation énergétique des logements après rénovation performante**).

La rénovation complète performante d'un bâtiment intervient sur « l'ensemble des éléments de l'enveloppe et des installations techniques » (Rochard et al., 2015). Les installations techniques liées à la consommation énergétique d'un logement regroupent à la fois le système de chauffage et d'ECS, de refroidissement, de ventilation, l'électricité spécifique ainsi que l'énergie de cuisson. Les rénovations performantes entraînent donc souvent un changement du système de chauffage/ECS. Afin de simuler ces réductions d'émissions de GES (et non pas de consommation d'énergie), on associera aux logements rénovés passant d'une étiquette énergivore à une étiquette énergétique plus soutenable, les mêmes pourcentages de répartition des sources d'énergie que celles utilisées dans les logements plus récents. Les autres usages étant électriques, leurs consommations peuvent être réduites grâce à des appareils ayant des meilleurs rendements ou moins énergivores mais cela joue directement sur les consommations d'énergie et non pas sur un changement de facteur d'émission. Ces travaux sont donc directement comptabilisés par le changement d'étiquette énergétique et il n'est pas nécessaire d'appliquer un traitement supplémentaire aux systèmes électriques dans le démonstrateur.

Selon une étude statistique du ministère de la Transition écologique, l'énergie consommée dans les logements provient à 75% du chauffage et de l'ECS. Les 25% restant regroupent toute l'électricité nécessaire aux autres usages cités (*Consommation d'énergie par usage du résidentiel*, s. d.). Pour des simplifications de calcul, nous estimons que l'ensemble du parc résidentiel de Tours utilise le mix énergétique pour la cuisson et non pas le gaz. Le démonstrateur prend ainsi en compte plusieurs phénomènes des travaux de rénovation énergétique (voir tableur – onglet 'Démonstrateur-Rénovation2028') :

- La réduction de consommation énergétique du logement ;
- Le changement de source énergétique des systèmes de chaleur selon les parts des systèmes de chauffage utilisés dans les nouveaux logements classé A.

Le démonstrateur ne prend cependant pas en compte les émissions de GES liées aux travaux de rénovation. Seuls les gains liés à la consommation d'émission sont comptabilisés car nous étudions dans un premier temps seulement les émissions liées aux usages domestiques d'énergie. Il sera possible de prendre en compte ces émissions dans une seconde itération dans la partie « [Opérations physiques sur le logement et son environnement – Rénovation](#) ».

Afin de simuler la seconde préconisation à court terme de la SNBC : la disparition des systèmes de chauffage/ECS au fioul et au charbon d'ici 2028 ; l'outil permet de remplacer tous les systèmes actuellement au fioul et au charbon par des systèmes énergétiques décarbonés comme il préconisé dans la SNBC(voir tableur – onglet 'Démonstrateur-FioulCharbon').

Résultats

En suivant les préconisations de rénovations énergétiques performantes de la SNBC à partir de 2018, en rénovant 0,32 km²/an de logement jusqu'en 2030, puis 0,6 km²/an (surface calculée à partir du nombre total de rénovation par an fixée par la SNBC, pondéré par le nombre de logements dans la métropole de Tours – calculs et sources détaillés dans l'outil Excel onglet 'DonnéesSimul' - **Objectifs SNBC - Calcul de la surface à rénover à Tours proportionnellement aux objectifs nationaux**), le modèle prévoit la disparition des passoires thermiques en 2032 (voir Figure 10). L'objectif étant fixé à 2028, le rythme de rénovation proposé par la SNBC ne semble pas suffisant pour la métropole tourangelle. Il est important de noter que les données disponibles grâce au ministère de la Transition écologique concernant la consommation des logements par département s'applique au parc de 2018. Nous avons donc fait l'hypothèse qu'entre 2018 et 2022, les opérations de rénovation ont suivies les scénarios prescrits par la SNBC. Nous pouvons tout de même retenir que la disparition des passoires thermiques entraînerait sur le territoire étudié une réduction de 28,4% des émissions de GES liées à la consommation d'énergie pour les usages domestiques résidentiels par rapport à 2018 ce qui représente une surface rénovée de 4,9 km², soit environ 21 685 logements : 15% du parc.

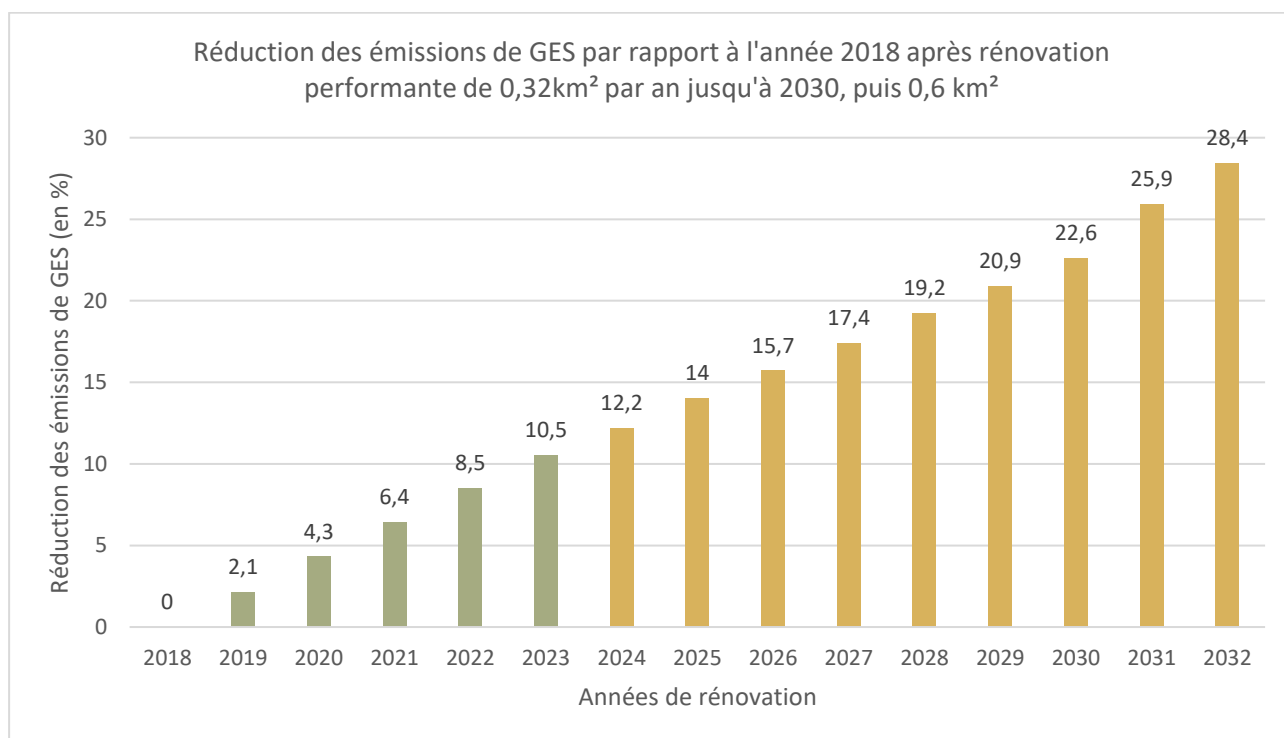


Figure 9 : Simulation des rénovations des passoires thermiques selon le scénario de la SNBC

Concernant la disparition des systèmes de chauffage et d'ECS au fioul et au charbon, un tel objectif nécessite des interventions sur environ 23 795 logements ce qui représente 17% du parc. De telles opérations permettraient une réduction de 18,6% des émissions de GES liées à l'énergie pour les usages domestiques de la fonction urbaine résidentielle (voir onglet 'démonstrateur-fioul' du tableur).

Selon le modèle conçu, on peut estimer que la disparition des passoires thermiques et des systèmes de chauffage au fioul et au charbon permettra de réduire les émissions de GES de 41,6% sur le territoire par rapport à 2018. Cette différence d'émissions n'est pas égale à la somme des deux pourcentages calculés indépendamment précédemment pour les rénovations et la disparition des systèmes au fioul et au charbon car les travaux de rénovations prennent aussi en compte la transformation des systèmes de chaleur au fioul et au charbon.

Discussion

Les objectifs de la SNBC étant fixés à une réduction de 49% des émissions de GES par rapport à 2015 et non pas 2018 comme c'est le cas dans le tableur, on ne peut pas conclure de manière précise sur les objectifs fixés par la SNBC. Pour cela, il serait nécessaire d'avoir les consommations énergétiques du territoire en 2015 afin de comparer l'impact des opérations avec le scénario de la SNBC. Il serait aussi nécessaire d'avoir les consommations énergétiques de 2022 afin de prendre en compte la réelle différence entre le parc actuel et celui de 2015.

Afin de rendre compte plus précisément de la situation par rapport aux objectifs de la SNBC nous avons établi une courbe de tendances de l'évolution des économies d'énergies permises par des rénovation en France entre 2016 et 2019 (ONRE, Observatoire national, 2021) (voir Figure 11) . On observe que sur l'ensemble du territoire national, les rénovations ont permis des économies d'énergie selon un coefficient de 0,7 entre chaque année. Or dans notre cas, le démonstrateur considère que les réductions de consommations énergétiques entre 2018 et 2022 sont constantes.

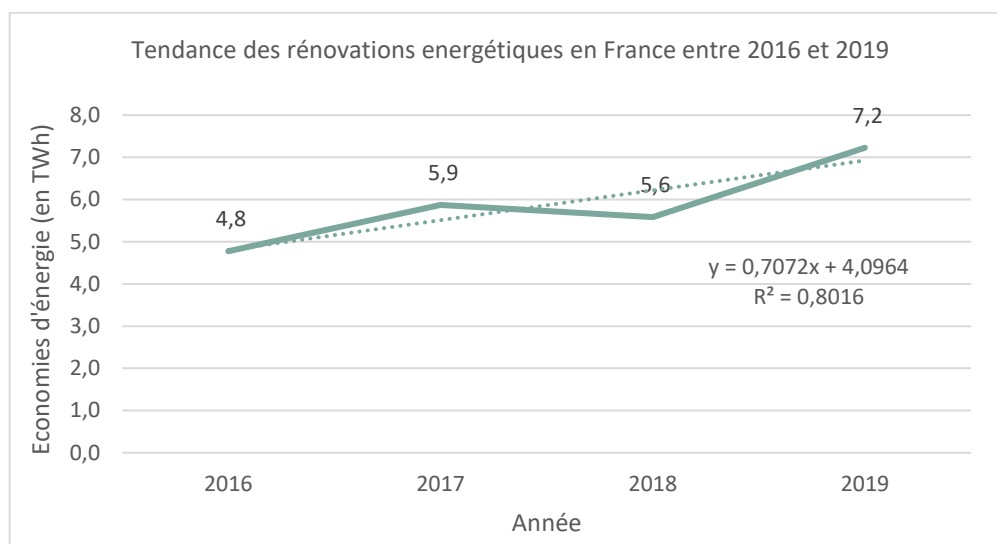


Figure 10 : Tendence des économies d'énergie par rénovation énergétique des logements sur l'ensemble du parc français

Malgré les hypothèses faites sur la dynamique des rénovations énergétiques avant 2022, on peut tout de même valider les ordres de grandeur obtenus par le démonstrateur. Il est néanmoins compliqué de conclure précisément sur la temporalité des objectifs de la SNBC par manque de donnée.

La difficulté méthodologique principale consiste à proposer un outil qui soit le plus simple possible pour l'utilisateur tout en donnant les bons ordres de grandeur sans pour autant buter sur la disponibilité des données. L'objectif du démonstrateur n'est pas de faire un bilan carbone exhaustif des émissions de GES liées aux consommations énergétiques résidentielles mais de comparer deux situations afin de voir leurs poids sur une situation antérieure. Ce processus de comparaison est un outil d'aide à la décision pour les élus afin d'orienter leur politique de réduction de GES de manière plus efficaces et d'avoir une vision plus précise de ce qu'induisent les objectifs de la SNBC. Les rénovations énergétiques et les travaux permettant de baser les systèmes de chauffages sur des énergies plus décarbonées sont donc deux leviers efficaces qui doivent être conduits de manière simultanée.

En effet, les rénovations énergétiques permettent de réduire significativement les consommations de GES. Si l'on suit la méthodologie ERC, ce levier permet d'éviter des émissions de GES ce qui est la finalité à prioriser par rapport à réduire ou compenser. Cependant, les travaux de rénovation émettent aussi une part non négligeable de GES qui n'a pas été prise en compte dans cette première itération mais qui peut faire l'objet de l'analyse des opérations physiques sur le logement. L'Observatoire de l'Immobilier Durable (OID) a estimé à 170 kg CO₂eq / m² émis de travaux d'isolation. Ceci a permis de calculer un retour carbone à 17 ans (l'Observatoire de l'Immobilier Durable (OID), 2021). Le temps de retour carbone est le temps qu'il faut pour amortir les émissions de GES liées au cycle de vie de l'objet étudié.

Quant au changement de chauffage, l'OID a estimé un différentiel de 30% entre les économies de carbone liées à l'utilisation de la nouvelle source énergétique et les réelles économies de carbone (l'Observatoire de l'Immobilier Durable (OID), 2021). Ce différentiel est dû aux émissions de la mise en œuvre du nouveau système de chauffage : matériaux, construction, transport pose, fin de vie. Le démonstrateur compare le passage du fioul au PAC. Avec un temps de retour carbone estimé à 4 ans pour le passage d'une source énergétique très carbonée telle que le fioul à une autre considérée comme décarbonée lors de son utilisation, telle qu'une PAC, le changement de chauffage semble plus efficace que les travaux d'isolation. Néanmoins le temps de retour carbone est très variable en fonction des systèmes comparés. De plus, le changement de chauffage permet seulement de réduire les émissions de GES selon la séquence ERC mais ne permet pas de les éviter en réduisant les consommations énergétiques comme c'est le cas des travaux d'isolation des logements.

Il est important de noter que les rénovations énergétiques risquent d'engendrer un effet rebond qui consiste à ce que l'utilisateur, suite de tels travaux, augmente sa consommation énergétique du fait que de sa facture énergétique soit réduite. Cet effet n'est pas négligeable. Selon l'OID, les économies de carbone que permettent le passage du fioul au gaz s'annulent si l'utilisateur augmente la température de consigne de 5 °C. Il est donc important que l'effet rebond soit intégré dans les outils de modélisation et dans les politiques de rénovation énergétique.

Par ailleurs, le démonstrateur ne prend pas en compte la dynamique du parc résidentiel. Nous avons soulevé comme levier à analyser la réduction des constructions neuves selon le scénario proposé par le Shift Project. Concernant les consommations d'énergie, l'outil actuel ne prend pas en compte ce scénario ni la tendance actuelle mais considère la surface du parc comme constante. Or selon l'INSEE, le parc national évolue en moyenne de +1,1% par an entre 2010 et 2015 (*374 000 logements supplémentaires chaque année entre 2010 et 2015 - Insee Première - 1700, s. d.*). Cette croissance est certes significative mais nous pouvons tout de même considérer que les ordres de grandeurs des résultats restent valides. Comme proposé dans le [diagramme des leviers potentiels](#), il pourra être intéressant de comparer cette tendance actuelle avec le scénario du Shift Project afin de rendre compte de l'impact des constructions neuves sur les émissions de GES.

Enfin, il est important de noter que l'ensemble de l'étude ne prend en compte que les émissions de GES mais pas les effets antagonistes des travaux de rénovations et des sources d'énergie notamment sur la qualité de l'air, la préservation des sols et des eaux, la consommation d'espace, la préservation de la biodiversité, la consommation de ressources ainsi que sur les déchets. Tous ces enjeux sont à prendre en considération avant de lancer une politique de rénovation énergétique afin de conseiller au mieux les décideurs et les usagers. Pour cela il est possible de se référer à l'outil de pilotage des politiques énergétique : les Programmations Pluriannuelles de l'Énergie (PPE) afin d'évaluer les conséquences de l'utilisation de chaque source énergétique sur l'environnement (*Programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE), s. d.*).

Conclusion

Dans le cadre du projet de fin d'étude de quantification des émissions de GES d'un espace métropolitain, le démonstrateur s'adresse aux élus locaux afin d'éclairer les choix des politiques énergétiques dans le cadre du PCAET. Le caractère comparatif de l'outil entre la situation actuelle du parc résidentiel et une situation test permet de simuler l'impact de propositions d'orientation. De cette manière il a été possible de dégager les ordres de grandeur des leviers dictés par la SNBC concernant la consommation d'énergie pour l'usage domestique dans la fonction résidentielle. Les leviers consistent à la fois à opérer des travaux de rénovations énergétiques sur les passoires thermiques, ainsi que de remplacer les systèmes de chauffage au fioul et au charbon par des sources énergétiques décarbonées. Malgré un déficit des données nécessaires pour comparer la situation en 2015 avec la dynamique proposée par la SNBC qui nous empêche de conclure sur l'aspect temporel des orientations dictées, le démonstrateur a pu confirmer les ordres de grandeurs de ces deux leviers par rapport aux objectifs de la SNBC. Cela signifie que la disparition des passoires thermiques et des chauffages au fioul et au charbons semblent être des leviers suffisamment significatifs pour atteindre les objectifs de court terme de la SNBC.

Néanmoins, les efforts à fournir pour atteindre la décarbonation complète de l'énergie dans les logements d'ici 2050 restent importants. Pour cela, la disparition totale des systèmes de chauffage au gaz est inévitable. De tels travaux représentent une économie de 27,4% des émissions de CO₂e par rapport au parc de 2018 (voir onglet 'DémonstrateurGNL' du tableur). C'est une baisse non négligeable mais ayant cependant un coût important. En effet, la part des logements se chauffant au gaz en Indre et Loire environnant les 43% du parc résidentiel, c'est un nombre considérable de logements sur lesquels il faudrait intervenir : environ 61 000. Nous pouvons estimer que la combinaison des trois leviers étudiés concernant les chauffages au fioul et le charbon, au gaz, ainsi que la disparition des passoires thermiques, permettrait de réduire de 70% les émissions liées à l'énergie pour usage domestique de la fonction résidentielle. Si l'ensemble du parc atteint en 2050 les normes BBC, nous pouvons estimer à 65% de réduction les émissions de GES par rapport à 2018. Un parc aux normes BBC et dont les systèmes de chauffage au fioul et au gaz ont disparu permettrait ainsi d'atteindre des réductions des émissions de GES jusqu'à 80% par rapport à 2018 (voir onglet 'Démonstrateur-2050' du tableur).

Malgré ces pistes qui semblent efficaces pour tenir les objectifs de la SNBC, celles-ci ne touchent qu'aux émissions liées à la consommation d'énergie. Les leviers à étudier afin que la fonction résidentielle dans son ensemble suivent les objectifs de la SNBC sont encore nombreux. Dans une seconde itération, un autre [domaine de causes d'émissions de GES](#) parmi ceux listés plus en amont dans le rapport pourra être étudié en parallèle des objectifs de la SNBC permettant d'identifier des leviers d'action pour les élus locaux.

Bibliographie

374 000 logements supplémentaires chaque année entre 2010 et 2015—Insee Première—1700.

(s. d.). Consulté 15 janvier 2022, à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3572689>

2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf. (s. d.). Consulté 6 janvier 2022, à l'adresse

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf

ADEME - Observatoire DPE - Statistiques. (2012). [https://www.observatoire-](https://www.observatoire-dpe.fr/statistique/statDpeParEnergieChauffage)

[dpe.fr/statistique/statDpeParEnergieChauffage](https://www.observatoire-dpe.fr/statistique/statDpeParEnergieChauffage)

ADEME - Site Bilans GES. (s. d.). Consulté 7 janvier 2022, à l'adresse [https://bilans-](https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/choix-categorie)

[ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/choix-categorie](https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/choix-categorie)

Communauté de commune du Haut Poitou. (2020). *Rapport Final Plan Climat Air Energie*

Territorial 2020-2026 de la communauté de commune du Haut Poitou. [https://cc-](https://cc-hautpoitou.fr/wp-content/uploads/2020/11/2.-PCAET-HautPoitou_RapportFinal_Synthetique-VF.pdf)

[hautpoitou.fr/wp-content/uploads/2020/11/2.-PCAET-](https://cc-hautpoitou.fr/wp-content/uploads/2020/11/2.-PCAET-HautPoitou_RapportFinal_Synthetique-VF.pdf)

[HautPoitou_RapportFinal_Synthetique-VF.pdf](https://cc-hautpoitou.fr/wp-content/uploads/2020/11/2.-PCAET-HautPoitou_RapportFinal_Synthetique-VF.pdf)

Consommation d'énergie par usage du résidentiel. (s. d.). Données et études statistiques pour le

changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement et les transports. Consulté

12 janvier 2022, à l'adresse [https://www.statistiques.developpement-](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/consommation-denergie-par-usage-du-residentiel)

[durable.gouv.fr/consommation-denergie-par-usage-du-residentiel](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/consommation-denergie-par-usage-du-residentiel)

Effinergie. (2021). *Bâtiment Basse Consommation.*

<https://www.effinergie.org/web/images/divers/guides/reno/Guide%20Renovation.pdf>

IGN Géoservices—BD TOPO. (s. d.). Consulté 12 janvier 2022, à l'adresse

<https://geoservices.ign.fr/telechargement>

Interdiction à la location des logements avec une forte consommation d'énergie dès 2023. (s. d.).

Gouvernement.fr. Consulté 9 janvier 2022, à l'adresse

<https://www.gouvernement.fr/interdiction-a-la-location-des-logements-avec-une-forte-consommation-d-energie-des-2023>

La lutte contre les logements (durablement) vacants. (s. d.). Consulté 6 janvier 2022, à l'adresse <https://www.franceinter.fr/emissions/l-urbanisme-demain/l-urbanisme-demain-du-samedi-20-novembre-2021>

La sobriété "énergétique" au quotidien, ça s'apprend ! (s. d.). Consulté 6 janvier 2022, à l'adresse <https://www.franceinter.fr/emissions/le-telephone-sonne/le-telephone-sonne-du-mercredi-03-novembre-2021>

Le parc de logements par classe de consommation énergétique. (s. d.). Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement et les transports. Consulté 10 janvier 2022, à l'adresse <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/le-parc-de-logements-par-classe-de-consommation-energetique>

l'Observatoire de l'Immobilier Durable (OID). (2021). *Poids carbone des logements.*

https://resources.taloen.fr/resources/documents/569_20210527_OIDxCS_poids_carbone_logements.pdf

Loi de transition énergétique pour la croissance verte. (s. d.). Ministère de la Transition écologique. Consulté 5 janvier 2022, à l'adresse <https://www.ecologie.gouv.fr/loi-transition-energetique-croissance-verte>

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. (2020a). *Stratégie Nationale Bas-Carbone révisée synthèse.* <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/SNBC-2%20synthe%CC%80se%20VF.pdf>

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. (2020b). *Stratégie Nationale Bas-Carbone révisée complète.* https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf

ONRE, Observatoire national. (2021). *La rénovation énergétique des logements—Bilan des travaux et des aides entre 2016 et 2019*. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-05/rapport_onre_%20mai2021.pdf

Plan de rénovation énergétique des bâtiments. (s. d.). Ministère de la Transition écologique. Consulté 15 janvier 2022, à l'adresse <https://www.ecologie.gouv.fr/plan-renovation-energetique-des-batiments>

Programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE). (s. d.). Ministère de la Transition écologique. Consulté 15 janvier 2022, à l'adresse <https://www.ecologie.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>

Rochard, U., Shanthirablan, S., Brejon, C., & Chateau le Bras, M. (2015). *Bâtiments résidentiels—Typologie du parc existant et solutions exemplaires pour la rénovation énergétique en France*. https://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/FR_TABULA_TypologyBrochure_Pouget.pdf

Shift Project. (2020). *Vers un plan de transformation de l'économie française (PTEF) en faveur du climat et de la résilience-Vision globale V1-Secteur Logement*. <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/04/TSP-PTEF-V1-FL-Logement.pdf>

Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC). (s. d.). Ministère de la Transition écologique. Consulté 5 janvier 2022, à l'adresse <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>

Directeur de recherche :

Sébastien Larribe

Philomène Pagès

PFE/DAE5

RESEAU

2021-2022

Quantification et réduction des émissions de gaz à effet de serre d'un espace métropolitain : Fonction résidentielle – Energie des usages domestiques

Résumé :

Dans le cadre de ce projet de fin d'étude à Polytech Tours, l'objectif est de quantifier les émissions de GES d'un espace métropolitain afin d'évaluer l'impact de changements de pratiques visant à réduire ces émissions. Cette première itération d'un travail plus complet futur recentre l'étude aux émissions de GES liées aux usages domestiques d'énergie de la fonction urbaine résidentielle. L'enjeu est ainsi d'éclairer les choix des politiques énergétiques dans le cadre de l'élaboration du PCAET des collectivités territoriales. Pour cela, un démonteur numérique à caractère comparatif entre la situation actuelle du parc résidentiel et une situation test permet de simuler l'impact de propositions d'orientation. De cette manière il a été possible de dégager les ordres de grandeur des leviers dictés par la SNBC concernant la consommation d'énergie pour l'usage domestique dans la fonction résidentielle. Les leviers consistent à la fois à opérer des travaux de rénovations énergétiques sur les passoires thermiques, ainsi que de remplacer les systèmes de chauffage au fioul et au charbon par des sources énergétiques décarbonées.

Mots Clés :

Quantification des émissions de gaz à effet de serre, fonction résidentielle, énergie, Stratégie Nationale Bas-Carbone, Plan Climat Air Energie Territorial