
Étude de l'impact des modes de vie sur l'analyse du cycle de vie d'un logement unifamilial belge

Auteur : Chapiron, Antoine

Promoteur(s) : Reiter, Sigrid

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master : ingénieur civil architecte, à finalité spécialisée en "urban and environmental engineering"

Année académique : 2020-2021

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/13051>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Faculté des Sciences Appliquées

*« ÉTUDE DE L'IMPACT DES MODES DE VIE SUR L'ANALYSE DU
CYCLE DE VIE D'UN LOGEMENT UNIFAMILIAL BELGE »*

Mémoire de fin d'étude réalisé en vue de l'obtention du grade de Master Ingénieur
Civil Architecte par Antoine CHAPIRON

Promotrice : Sigrid REITER

Composition du jury : Guirec RUELLAN, Shady ATTIA

Année académique : 2020-2021

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| REMERCIEMENTS..... | 3 |
| RESUME | 4 |
| ABSTRACT..... | 5 |
| CHAPITRE 1 : INTRODUCTION | 6 |
| 1.1. L'ENVIRONNEMENT PLACE AU CENTRE DES DEBATS | 6 |
| 1.2. L'IMPACT DU SECTEUR DE LA CONSTRUCTION ET DU BATIMENT | 7 |
| 1.3. LES ASPECTS REGLEMENTAIRES DU SECTEUR DU BATIMENT EN BELGIQUE | 7 |
| 1.4. LES OBJECTIFS DU TRAVAIL DE FIN D'ETUDES..... | 9 |
| 1.5. STRUCTURE DU MEMOIRE DE FIN D'ETUDES | 10 |
| CHAPITRE 2 : ÉTAT DE L'ART | 10 |
| 2.1. LES MODES DE VIE | 11 |
| 2.1.1. Évolution du concept et définition | 11 |
| 2.1.2. Le caractère multifactoriel des modes de vie | 14 |
| 2.1.3. Évolution des modes de vie, conscience environnementale et développement durable | 20 |
| 2.2. DES MODES DE VIE Tournes vers l'efficacité énergétique..... | 26 |
| 2.2.1. Le revenu des ménages et le prix de l'énergie comme facteur explicatif..... | 26 |
| 2.2.2. Les modes de vie et la consommation d'énergie..... | 27 |
| 2.2.3. L'approche centrée sur l'individu..... | 27 |
| 2.2.4. ENERGIHAB..... | 29 |
| 2.2.5. Influence du comportement des habitants et des modes d'occupation du logement | 33 |
| 2.3. CONCLUSION | 37 |
| 2.4. HABITAT FLEXIBLE ET MODULABLE, UNE SOCIÉTÉ QUI ÉVOLUE | 37 |
| 2.4.1. Évolution de la société – 21 ^{ème} siècle | 38 |
| 2.5. HABITAT FLEXIBLE, ADAPTABLE ET ÉVOLUTIF, UNE NOUVELLE MANIÈRE D'HABITER | 42 |
| 2.5.1. Batipin Flat – Studio Wok Architects | 44 |
| 2.5.2. All I Own House – PKMN Architecture | 46 |
| 2.5.3. Le logement en question – Maxime Parin Architecte | 48 |
| 2.6. L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV)..... | 50 |
| 2.6.1. Définition | 50 |
| 2.6.2. Méthodologie | 51 |
| 2.6.3. Les limites de la méthode | 53 |
| 2.7. CONCLUSIONS | 54 |
| CHAPITRE 3 : METHODOLOGIE ET CHOIX METHODOLOGIQUES..... | 55 |
| 3.1. CHOIX DU BATIMENT ETUDIÉ..... | 56 |
| 3.1.1. Typologie du bâtiment..... | 56 |
| | 56 |
| 3.1.2. Taille du bâtiment..... | 57 |
| 3.1.3. Localisation du bâtiment | 58 |
| 3.1.4. Plans du bâtiment..... | 58 |
| 3.2. CHOIX DES PARAMÈTRES ETUDIÉS ET ÉLABORATION DES SCÉNARIOS | 60 |
| 3.2.1. Période 1 : Les 18-35 ans | 61 |
| 3.2.2. Période 2 : Les 36-60 ans | 64 |
| 3.2.3. Période 3 : Les plus de 60 ans | 67 |
| 3.2.4. Schéma de synthèse des paramètres et scénarios étudiés | 70 |
| 3.3. HYPOTHÈSES SUR L'ACV..... | 71 |
| 3.3.1. Objectifs de l'étude et champ d'étude..... | 71 |
| 3.3.1.2. Les frontières de l'étude..... | 71 |
| 3.3.2. Les impacts environnementaux | 72 |
| 3.4. CHOIX DE L'OUTIL D'ANALYSE..... | 73 |
| CHAPITRE 4 : MODELISATION DU BATIMENT ET SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE (STD) | 75 |

| | | |
|---|---|------------|
| 4.1. | LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES | 75 |
| 4.1.1. | <i>Les parois</i> | 75 |
| 4.1.2. | <i>État de surface et menuiseries</i> | 77 |
| 4.1.3. | <i>Les ponts thermiques</i> | 78 |
| 4.2. | LES DONNEES METEOROLOGIQUES | 78 |
| 4.3. | MODELISATION 2D & 3D DU BATIMENT | 79 |
| 4.4. | ZONAGE THERMIQUE ET SCENARIOS D'OCCUPATION | 80 |
| 4.4.1. | <i>Les températures de consigne</i> | 81 |
| 4.4.2. | <i>Les scénarios d'occupation</i> | 82 |
| 4.4.3. | <i>Les puissances dissipées</i> | 83 |
| 4.5. | LES RESULTATS DE LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE (STD)..... | 84 |
| 4.5.1. | <i>La période des 18-35 ans</i> | 85 |
| 4.5.2. | <i>La période des 36-60 ans</i> | 88 |
| 4.5.3. | <i>La période des plus de 60 ans</i> | 91 |
| 4.5.4. | <i>Les scénarios retenus pour l'Analyse du Cycle de Vie</i> | 93 |
| CHAPITRE 5 : ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV) | | 94 |
| 5.1. | ENCODAGE DES DONNEES SUPPLEMENTAIRES | 94 |
| 5.1.1. | <i>Les données relatives aux matériaux</i> | 95 |
| 5.1.2. | <i>Les données relatives à l'énergie</i> | 95 |
| 5.1.3. | <i>Les données relatives aux déchets</i> | 95 |
| 5.1.4. | <i>Les données relatives à l'eau</i> | 96 |
| 5.1.5. | <i>Les données relatives aux transports</i> | 97 |
| 5.2. | LES RESULTATS DE L'ACV – PERIODE DES 18-35 ANS | 97 |
| 5.2.1. | <i>Le scénario de référence</i> | 97 |
| 5.2.2. | <i>Impact de la gestion de la température</i> | 103 |
| 5.2.3. | <i>Impact de la modalité d'habitation</i> | 105 |
| 5.3. | LES RESULTATS DE L'ACV – PERIODE DES 36-60 ANS | 107 |
| 5.3.1. | <i>Le scénario de référence</i> | 107 |
| 5.3.2. | <i>Impact du mode d'occupation</i> | 110 |
| 5.3.3. | <i>Impact de la mobilité</i> | 111 |
| 5.4. | LES RESULTATS DE L'ACV – PERIODE DES PLUS DE 60 ANS | 113 |
| 5.4.1. | <i>Le scénario de référence</i> | 113 |
| 5.4.2. | <i>Impact de la modalité d'habitation</i> | 116 |
| 5.4.3. | <i>Impact de la gestion des déchets</i> | 117 |
| 5.5. | COMPARAISON DES RESULTATS DES DIFFERENTS SCENARIOS | 118 |
| CHAPITRE 6 : CONCLUSION | | 120 |
| BIBLIOGRAPHIE | | 122 |
| TABLE DES FIGURES | | 128 |
| TABLE DES TABLEAUX | | 131 |
| ANNEXES | | 132 |

Remerciements

Tout d'abord, je souhaite remercier chaleureusement Mme Reiter Sigrid, promotrice de ce travail de fin d'études pour son suivi, sa motivation, ses conseils avisés et son soutien indéfectible tout au long de ce mémoire. Ça a été un véritable plaisir de travailler et collaborer à ses côtés.

Je souhaite également remercier M. Ruellan Guirec et M. Attia Shady, membres du jury pour leurs précieux conseils, leurs temps, leurs professionnalismes et l'intérêt qu'ils m'ont consacré.

Je tiens également à remercier les membres d'Izuba Énergies pour leurs disponibilités et leurs précieux conseils sur le logiciel Pleiades.

Pour finir, je tiens à remercier ma famille et mes amis pour m'avoir motivé et soutenu tout au long de cette année.

Résumé

En 2020, le secteur du bâtiment représentait plus de 40 % de l'énergie consommée en France, émettant plusieurs centaines de millions de tonnes de CO₂. (Ministère de la transition écologique, 2021) Conscients du problème, nous avons vu naître au cours des dernières années de nombreuses réformes et plans d'action. (Plan climat, 2017) Les scientifiques et chercheurs se sont penchés sur la question de l'efficacité énergétique des bâtiments avec l'apparition de nombreuses études et nouvelles méthodes telle que l'Analyse du Cycle de Vie. (Sevin, 2018)

Depuis désormais quelques années, les scientifiques se sont intéressés à élargir le champ d'étude en intégrant l'échelle urbanistique ou encore l'individu aux travaux de recherche liés à la performance énergétique des bâtiments. Dans notre cas, nous avons souhaité élargir la réflexion en intégrant les occupants et leurs modes de vie au centre de notre travail de fin d'études.

Dans ce présent travail, nous chercherons à mesurer l'impact des modes de vie sur l'Analyse du Cycle de Vie d'une maison unifamiliale. Nous étudierons et ferons varier plusieurs paramètres propres aux modes de vie, telles que la gestion de la température, la manière dont les habitants occupent le logement ou encore les modalités d'habitation, afin de mesurer l'influence des modes de vies sur les impacts environnementaux et les consommations énergétiques.

A travers plusieurs scénarios, nous étudierons, dans un premier temps, l'impact des modes de vie sur les besoins de chauffage à travers une Simulation Thermique Dynamique. Dans un second temps, nous étudierons les impacts environnementaux liés aux modes de vie par l'intermédiaire d'une Analyse du Cycle de Vie réalisé sur un logement unifamilial. L'ACV comprendra l'analyse de plus de 12 indicateurs environnementaux et sera réalisée sur l'entièreté du cycle de vie (phase de construction, phase d'utilisation, phase de rénovation, phase de démolition) du bâtiment considéré.

Abstract

In 2020, the building sector accounted for 44% of the energy consumed in France, emitting over 123 million tons of CO₂. (Ministère de la transition écologique, 2021) Aware of the problem, we have seen the birth of many reforms and action plans in recent years. (Plan climat, 2017) Scientists and researchers have become increasingly interested in the issue of energy performance of buildings with the appearance of many studies and new methods such as Life Cycle Assessment. (Sevin, 2018)

For a few years now, scientists have been interested in broadening the field of study by integrating the urbanistic scale or even the individual into research work related to the energy performance of buildings. In our case, we wished to broaden the reflection by integrating the occupants and their lifestyles in the center of our end-of-studies work.

In this final study, we will try to measure the impact of lifestyles on the Life Cycle Assessment of a single-family home. We will study and vary several parameters specific to lifestyles such as temperature management, the way in which the inhabitants occupy the dwelling or the living arrangements in order to measure the influence of lifestyles on the environmental impacts and energy consumption.

Through several scenarios, we will study, in a first step, the influence of lifestyles on heating needs through a Dynamic Thermal Simulation. In a second step, we will study the environmental impacts related to lifestyles through a Life Cycle Assessment performed on a single-family dwelling. The LCA will include the analysis of more than 12 environmental indicators and will be performed on the whole life cycle (construction phase, use phase, renovation phase, demolition phase) of the considered building

Chapitre 1 : Introduction

1.1. L'environnement placé au centre des débats

Jusqu'à la fin du 20^{ème} siècle, les pays développés mettaient en avant un modèle sociétale tournée vers la productivité et la croissance économique sans jamais considérer les impacts négatifs que pouvait engendrer un tel modèle. Les enjeux sociétaux et environnementaux n'étaient alors jamais abordés et considérés. (Hugon, 2005)

Cependant, plusieurs grands évènements tels que la fin des 30 glorieuses, l'apparition du chômage de masse, les grandes crises pétrolières de 1973 et 1979 et plusieurs grandes catastrophes écologiques et industrielles viennent marquer le déclin du modèle économique tourné vers une croissance perpétuelle. (Sevin, 2018) La population et les politiques remarquent la nécessité de changer le fonctionnement de la société. (Simonen, 2014)

De cette première prise de conscience naissent deux organisations non gouvernementales visant à protéger la nature et l'environnement : World Wide Fund for Nature (1961) et Greenpeace (1971). En 1972, le club de Rome publie un rapport (*The limits to growth*) mettant en évidence la nécessité de freiner la croissance économique des pays industrialisés sous peine d'épuiser la totalité des réserves de pétrole et de gaz dès les années 1990. Face à ce constat accablant, les Nations Unies sont alors chargées de coordonner les actions à mettre en place à l'échelle internationale en vue de préserver la nature et l'environnement.

C'est réellement au début du 21^{ème} siècle que la prise de conscience environnementale à l'échelle internationale a lieu. Le GIEC (groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat) publie en 2007 un nouveau rapport consternant. Ils affirment que l'aggravation de l'effet de serre serait causée à 90% par l'action humaine. Ce phénomène catastrophique entraînerait une hausse de la température ainsi qu'une augmentation du niveau des océans comprise entre 28 et 43 cm. Face à ce constat plus qu'alarmant des mesures et objectifs sont fixés à l'échelle Européenne. La Commission européenne prévoit trois objectifs à atteindre d'ici 2030 à savoir (Commission européenne, 2014) :

- Réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40% par rapport aux émissions de 1990
- Porter la part des énergies renouvelables à au moins 32%
- Améliorer l'efficacité énergétique d'au moins 32,5%

1.2. L'impact du secteur de la construction et du bâtiment

En 2021, le bâtiment est l'un des secteurs les plus polluants et le plus consommateur en ressources naturelles induisant de nombreux impacts environnementaux. De ce fait, le bâtiment est certainement l'un des secteurs les plus concernés par le développement durable. Nous savons qu'actuellement la construction représente 40% des émissions de CO₂ des pays développés, 37% de la consommation d'énergie et 40% des déchets produits. (Deshayes, 2012)

En termes de macro-économie, le secteur du bâtiment représente plus d'une centaine de millions d'emplois dans le monde. En France, il existe plus de 300 000 entreprises dont 92% ont moins de 20 salariés. (Deshayes, 2012 ; SESSI, 2007) La prédominance de petites et moyennes entreprises (PME) peut en partie expliquer le retard du secteur du bâtiment sur le développement durable par le fait que le coût engendré par une politique de recherche et développement (R&D) n'est tout bonnement pas envisageable pour ce type d'entreprise. L'accent a donc été tourné vers les entreprises de matériaux et les fournisseurs de produits du bâtiment pour lesquels une recherche de la maîtrise énergétique, de la gestion des ressources naturelles et de la limitation de la pollution a été préconisée. (Deshayes, 2012) Les scientifiques, les politiques et les entreprises visent donc à réduire de manière significative l'impact environnemental du secteur de la construction donnant ainsi naissance à plusieurs réglementations, normes et labels. (Dridi, 2016) L'objectif principal étant la réduction des consommations énergétiques. (Buyle et al., 2013)

1.3. Les aspects réglementaires du secteur du bâtiment en Belgique

C'est à partir de 1985 que la première réglementation thermique apparaît en Wallonie. Pour la première fois, l'ensemble des futurs logements devaient obligatoirement atteindre un niveau d'isolation thermique globale (K70). Au fur et à mesure des années, de nombreuses réglementations toujours plus exigeantes ont vu le jour. À l'heure actuelle c'est la PEB (Performance Énergétique des Bâtiments) qui détermine les objectifs à atteindre. La réglementation PEB s'applique pour l'ensemble des travaux de rénovation, de transformation et de construction nécessitant un permis d'urbanisme. Depuis 2019, la PEB impose aux nouvelles constructions publiques de respecter le standard nZEB (nearly Zero Energy Building) visant à atteindre une consommation énergétique annuelle neutre. Depuis 2021, ce standard doit être appliqué à l'ensemble des nouvelles constructions.

Voici les exigences PEB à atteindre en 2021 en fonction de la nature des travaux :

| NATURE DES TRAVAUX SOUMIS À PERMIS | | | | Valeurs U | Niveau K | Niveau E _w | Consommation spécifique | Ventilation | Surchauffe |
|--|--|-----|---|--|----------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------|
| | | | | U | K | E _w | E _{spec} | V | S |
| Procédure AVEC responsable PEB | Bâtiment neuf ou assimilé | PER | Maisons unifamiliales Appartements | ≤ U _{max} (1) | ≤ K35 + nœuds constructifs | 45 | 85 kWh/m ² a n | Annexe C2 | < 6.500 Kh |
| | | PEN | Bureaux Services Enseignement Hôpitaux HORECA Commerces Hébergements collectifs ... | | | 90/45 (2) | | Annexe C3 | |
| | | I | Industriel | | | | | | |
| | Rénovation importante (4) | | | uniquement éléments modifiés | | | | (3) | |
| Procédure SANS responsable PEB Déclaration PEB simplifiée | Rénovation simple, y compris Changement d'affectation chauffé > chauffé (4) | | | ≤ U _{max} (1) des éléments modifiés et neufs | | | | (3) | |
| | Changement d'affectation non chauffé > chauffé (4) | | | | ≤ K65 + nœuds constructifs | | | Annexe C2 ou C3 | |

Figure 1 Les exigences PEB de 2021 en fonction de la nature des travaux – energie.wallonie.be

Vous pouvez également retrouver ci-dessous, les exigences fixées par la PEB des U_{max} :

| Élément de construction | U _{max} [W/m ² K] |
|---|---------------------------------------|
| Perois délimitant le volume protégé | |
| Toitures et plafonds | 0.24 |
| Murs (1) | 0.24 |
| Planchers (1) | 0.24 |
| Portes et portes de garage | 2.00 |
| Fenêtres : | |
| - Ensemble châssis et vitrage | 1.50 |
| - Vitrage uniquement | 1.10 |
| Murs-rideaux : | |
| - Ensemble châssis et vitrage | 2.00 |
| - Vitrage uniquement | 1.10 |
| Perois transparentes/translucides autres que le verre : | |
| - Ensemble châssis et partie transparente | 2.00 |
| - Partie transparente uniquement (ex : coupole de toit en polycarbonate,...) | 1.40 |
| Briques de verre | 2.00 |
| Perois entre 2 volumes protégés situés sur des parcelles adjacentes (2) | 1.00 |
| Perois opaques à l'intérieur du volume protégé ou adjacentes à un volume protégé sur la même parcelle (3) | 1.00 |

Figure 2 U_{max} d'après les exigences PEB de 2021 - energie.wallonie.be

1.4. Les objectifs du travail de fin d'études

Comme abordé précédemment, les années 70 ont marqué le début de la prise de conscience environnementale. Depuis, de nombreuses réglementations, normes et labels ont vu le jour en vue de diminuer drastiquement les consommations énergétiques des bâtiments et l'impact environnemental qui en découle. Lorsque l'on regarde de plus près ces réglementations, nous pouvons remarquer qu'elles s'intéressent uniquement aux consommations énergétiques pendant la phase d'utilisation. Les autres étapes du cycle de vie n'étant pas prises en considération.

Face à ce constat, de nombreux chercheurs se sont tout d'abord intéressés à étudier l'impact environnemental engendré par les consommations énergétiques sur l'ensemble du cycle de vie. Puis, ils se sont ensuite intéressés à intégrer plusieurs indicateurs environnementaux tels que les gaz à effet de serre, les dommages sur la santé humaine ou encore l'eutrophisation des milieux naturels. L'outil utilisé dans ces différentes études est appelé Analyse du Cycle de Vie (ACV) et permet d'étudier de nombreux indicateurs environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie d'un bâtiment.

Désormais la méthode est reconnue par la communauté scientifique et de nombreuses études retracent, sur l'ensemble du cycle de vie, les impacts environnementaux générés par les bâtiments. Cependant, lorsque l'on s'intéresse un peu plus en détails aux études ACV présentes dans la littérature, nous remarquons que dans la plupart des cas, la composante « occupant » et plus particulièrement ses modes de vie sont négligés voir exclus des simulations. Pourtant la présence de l'occupant est omniprésente dans le logement. Ne devrions-nous donc pas considérer à juste titre l'influence des occupants et en particulier l'impact de leurs modes de vie sur les résultats de l'ACV ?

Face à cette interrogation, nous avons décidé dans le cadre de ce travail de fin d'études d'intégrer l'occupant et ses modes de vie au centre de notre étude. Nous chercherons donc à apporter une première piste de réflexion sur l'influence que peuvent avoir les modes de vie sur les besoins de chauffage (Simulation Thermique Dynamique) et sur les impacts environnementaux (Analyse du Cycle de Vie). Nous tenterons donc de répondre à la question suivante : « Quel est l'impact des modes de vie sur l'Analyse du Cycle de Vie d'un logement unifamiliale belge ? »

À travers différents scénarios, nous ferons varier plusieurs paramètres relatifs aux modes de vie des occupants tels que le choix de la modalité d'habitation, la gestion de la température, les modes d'occupation, le transport des occupants ou encore la gestion des déchets. Le tout afin de quantifier l'influence de ces différents paramètres sur les besoins de chauffage et les impacts environnementaux. L'étude ACV sera réalisée sur l'ensemble du cycle de vie du logement unifamiliale et comprendra l'analyse de plus de 12 indicateurs environnementaux.

1.5. Structure du mémoire de fin d'études

Ce présent travail de fin d'études s'articule en 6 chapitres. Ce paragraphe vient conclure le premier chapitre à savoir l'introduction qui nous a permis d'introduire le contexte et les objectifs de notre étude.

Le chapitre 2, l'état de l'art, permet de réaliser un tour d'horizon complet de la littérature scientifique se rapportant à notre sujet d'étude. Ce chapitre se décline en trois parties, la première étant liée à la notion des modes de vie, la deuxième se référant à la notion d'habiter et au logement et la troisième à l'outil « Analyse du Cycle de Vie ».

Le chapitre 3 permet de présenter la méthodologie mise en œuvre dans le cadre de ce présent travail de fin d'études. Nous présenterons les différents choix méthodologiques, les paramètres et les scénarios étudiés.

Le chapitre 4 sera lui consacré à la partie simulation. Dans un premier temps, nous présenterons les principales données que nous avons dû encoder sur le logiciel puis nous présenterons les résultats issus de la Simulation Thermique Dynamique.

Le chapitre 5 sera lui consacré à l'Analyse du Cycle de Vie. À travers différents scénarios, nous allons analyser l'influence de plusieurs paramètres liés aux modes de vie sur les résultats de l'ACV.

Enfin, le chapitre 6 vient conclure ce mémoire et nous permet de proposer plusieurs perspectives liées à la méthodologie mise en œuvre.

Chapitre 2 : État de l'art

Nous allons commencer notre travail par un état de l'art. Celui-ci comporte trois sections principales :

- La première étant liée à la notion des **modes de vie**, nous commencerons par mettre en lumière les différents courants de pensée qui ont façonné cette notion, puis nous aborderons le caractère multifactoriel des modes de vie. Dans un second temps, nous étudierons l'évolution récente des modes de vie avec l'arrivée de la conscience environnementale dû au concept du développement durable. Enfin, nous terminerons cette première section en analysant plusieurs études qui ont considéré les modes de vie comme un outil utile et nécessaire afin d'étudier les consommations énergétiques des ménages.
- La deuxième étant liée à la notion de **l'habitat et du logement**. Cela va nous permettre de mettre en lumière la nécessité de revoir intégralement notre manière de concevoir les logements de demain à travers l'habitat flexible, adaptable et évolutif.
- La troisième étant liée à la méthode de **l'Analyse du cycle de vie (ACV)**. Outil que nous allons utiliser dans la partie expérience de notre travail de fin d'études

2.1. Les modes de vie

2.1.1. Évolution du concept et définition

Le terme « Mode de vie » est l'une des notions les plus utilisées mais également la plus malmenée. En effet de nombreux sociologues, scientifiques, journalistes l'utilisent pour désigner ce qui les intéresse qu'il s'agisse de la mode, de la culture ou encore même de la cuisine. Ainsi, le terme n'a aujourd'hui presque plus aucun sens. Il convient donc dans un premier temps de définir correctement cette notion complexe appelé « mode de vie ». Nous allons commencer par passer en revue la littérature historique afin de mettre en évidence les différents points de vue et courants de pensées qui ont façonné cette notion. Nous concluons ce présent chapitre en donnant une définition concrète de ce que l'on appellera mode de vie dans le cadre de cette étude.

Il faut avoir conscience que de tout temps l'Homme s'est intéressé aux modes de vie sans pour autant parvenir à définir concrètement cette notion. Les premières littératures ont été réalisées par les sociologues au 19^{ème} siècle. Nous pouvons notamment citer Karl Marx qui est le premier à aborder concrètement cette notion. Il aborde la question du mode de vie comme un objet secondaire. Selon, l'idéologie Marxiste, le mode de vie permet de positionner de manière objective un groupe d'individu dans le processus de production utile à la société. En d'autres termes il définit une structure permettant de façonner les valeurs et les attitudes propre à l'homme déterminé par les expériences de la vie. (Bendix et al., 1967)

Un peu plus tard, Max Weber, le digne successeur de Karl Marx s'intéresse de manière plus implicite aux modes de vie. Il est par ailleurs le premier à mettre en évidence la difficulté de définir un mode de vie. Il est également le premier à introduire le terme « style de vie » (on verra à la fin de cette partie la différence entre mode de vie et style de vie qu'il est essentiel de clarifier). Selon lui, le style de vie permet de mettre en évidence le pouvoir et la richesse propre à un individu. Il évoque ainsi la notion de classe sociale qui est selon lui la condition initiale pour définir un style de vie. (Bendix et al., 1967)

K. Marx et M. Weber ont mis en évidence le fait que le mode de vie est une notion observable mettant en avant la réussite d'un individu et son classement, positionnement dans la société. Leurs travaux ont par ailleurs permis d'amorcer de nombreuses autres études sur les modes de vie, la plus connue d'entre elle étant l'approche symbolique comme nous l'indique Michael E. Sobel : « *La mesure dans laquelle ce point de vue a structuré la réflexion ultérieure sur les modes de vie est remarquable et explique l'avènement de plusieurs traditions de recherche. Parmi les plus importantes, on peut citer l'approche symbolique de la mesure du statut social, c'est-à-dire la mesure de la place dans le système de stratification par le mode de vie* » (Sobel, 2013)

Comme énoncé précédemment, je me dois de vous présenter brièvement les principaux travaux qui ont mis en avant cette approche symbolique. La première personne à aborder cette approche est le sociologue F. Stuart Chapin. Elle permet selon lui de définir le statut socio-économique d'un individu et/ou groupe d'individu en définissant le mode de vie comme la position d'un individu ou d'une famille par rapport à la norme moyenne actuelle en termes de produits culturels, de revenus réels, de produits matériels et de participation aux activités communautaires. (Chapin, 2021)

On peut ainsi observer que le mode de vie était jusqu'à présent utilisé comme base de référence pour classer un individu et/ou ensemble d'individus dans la société. Cependant, depuis les années 1940 peu de recherches ont été menées pour mesurer la position socio-économique de la manière énoncée précédemment. Cela s'explique par le fait que de nombreux chercheurs (sociologue, anthropologue, philosophe etc.) se sont accordés sur le fait que la variation des modes de vie dépendait de nombreuses dimensions sociales. Nous pouvons entre autres affirmer que de nombreuses recherches autour de l'affiliation culturelle, l'ethnicité, la position géographique (milieu urbain ou rural) et la psychologie sociale ont permis de développer la notion des modes de vie. (Zablocki et Kanter, 1976)

Dans les années 1970, le sociologue Pierre Kende affirme : « il est illusoire d'espérer définir le mode de vie d'une façon unitaire objective et arrêtée une fois pour toutes » (Kende, 1973). C'est ainsi qu'émerge le caractère multifactoriel des modes de vie ainsi que la nécessité fondamentale pour notre étude sur les modes de vie de mettre en évidence les limites et frontières de notre étude. Pour ce faire, nous choisissons la définition du sociologue Gérard Mauger qui affirme : « on peut définir un mode de vie comme un ensemble de **pratiques** et/ou de **représentations** propres à un groupe social ». (Mauger, 2005) Dans cette définition donnée par G. Mauger, le terme pratique, défini par le dictionnaire Larousse comme une « façon d'agir, conduite habituelle à un groupe » (Larousse, 2021) fait référence aux pratiques sociales et ainsi à un comportement humain. On entend donc ici par pratique sociale l'ensemble des activités humaines visibles (individuelles ou collectives). À contrario, le terme « représentation » faisant ici référence aux représentations sociales qui sont invisibles. Il est défini comme l'ensemble des savoirs, opinions, croyances et valeurs par lesquels l'être humain aperçoit et appréhende son environnement, justifiant ses comportements. (Le Gallic, 2021)

Cette notion comportementale abordée dans le paragraphe précédent est fondamentale dans l'étude des modes de vie. Je me dois donc de vous la présenter dans le présent état de l'art. Pour commencer, reprenons la définition du comportement dans le langage courant : « Manière d'être, d'agir, ou de réagir des êtres humains, d'un groupe » (Larousse, 2021) La définition du mode de vie donnée par le sociologue Hartmut Lüdtke me permet de vous présenter la nuance mais également le lien entre comportement et mode de vie. Selon lui, les modes de vie sont : « Les habitudes régulières de comportement, qui reflètent des situations structurelles en même temps qu'un comportement habituel et des affinités sociales ». (Lüdtke, 1996) On peut ainsi à travers cette définition comprendre qu'il faut prendre en compte les comportements se référant à une habitude (notion de récurrence) dans l'étude des modes de vie. En conclusion le comportement englobe l'ensemble des actions humaines caractérisées par leurs caractères observables tandis que le mode de vie prend en considération les caractères récurrents observables mais également les représentations sociales invisibles.

Enfin, avant de vous présenter la définition du mode de vie retenue pour mon étude, il convient de présenter une dernière notion très présente dans la littérature. Il s'agit du « style de vie ». Le terme « style » est très employé dans la littérature courante et est utilisé principalement de deux manières :

- Utilisation normative pour porter un jugement
- Utilisation descriptive
-

C'est cette deuxième approche qui nous intéresse tout particulièrement car les sociologues s'accordent sur le fait que le style de vie est un mode de vie distinctif, reconnaissable. Nous pouvons par ailleurs citer les auteurs Tallman et Morgner qui abordent cette notion de style de vie : « *L'absence de signification constitutive d'un concept tel que le "mode de vie" rend tout ensemble d'indicateurs vulnérable à la critique selon laquelle ils ne sont pas des mesures appropriées et n'exploitent pas les aspects "significatifs" du phénomène. Nous considérons donc le style de vie comme une vaste rubrique sous laquelle un certain nombre d'activités et d'orientations comportementales peuvent être incluses, chacune d'entre elles nécessitant un investissement particulier des ressources de l'individu en temps, en énergie et en argent. Les comportements étudiés ne sont pas exhaustifs de toutes les possibilités mais sont représentatifs des préoccupations de nombreux chercheurs en sciences sociales qui s'intéressent à la relation entre les modes de comportement et les types de communautés [p. 337].* » (Tallman et Morgner, 1970).

Cette citation est très intéressante pour deux raisons. La première étant que le style de vie se focalise ici sur l'individu et sur ses choix personnels. On ne s'intéresse donc plus à un groupe d'individus. La deuxième raison est que le concept de mode vie couvre un champ bien plus large et neutre que le style de vie, qui est quant à lui plus précis et propre à un seul individu. Dans le cadre de ce travail de fin d'étude, on se focalisera sur l'étude des modes de vie plus adapté à notre travail qui ne cherchera pas à clarifier la frontière entre l'individu et le groupe d'individus.

En conclusion, on peut définir le mode de vie comme « ***l'ensemble des pratiques et représentations sociales présentant un caractère récurrent pour un individu ou groupe d'individus*** ». Cela nous permettra dans la suite de notre travail d'aborder les différents facteurs de la vie (pratique de consommation, pratique culturelle, pratique sociale etc.) Nous mettons ainsi l'accent sur le caractère multifactoriel du mode de vie que nous allons approfondir dans la partie suivante.

2.1.2. Le caractère multifactoriel des modes de vie

Nous allons dans cette partie aborder le caractère multifactoriel des modes de vie. Il faut garder en mémoire que lorsque l'on réalise une étude incluant les modes de vie, nous devons systématiquement l'aborder avec une approche multidimensionnelle. En effet, le concept même du mode vie naît de la résultante de plusieurs dimensions, facteurs de la vie d'un individu ou groupe d'individus qui vont par la suite permettre de définir un scénario type, un mode de vie. Pour introduire ces différents facteurs nous allons nous référer au travail de Thomas Le Gallic dans sa thèse « *Penser nos futurs modes de vie dans les démarches de prospective énergétique : proposition d'une approche par la modélisation* ». (2018)

Dans sa thèse, T. Le Gallic a étudié sept publications majeures qui ont accordé une place significative aux modes de vie. Vous pouvez retrouver ces différentes études sur la ligne du temps ci-dessous :

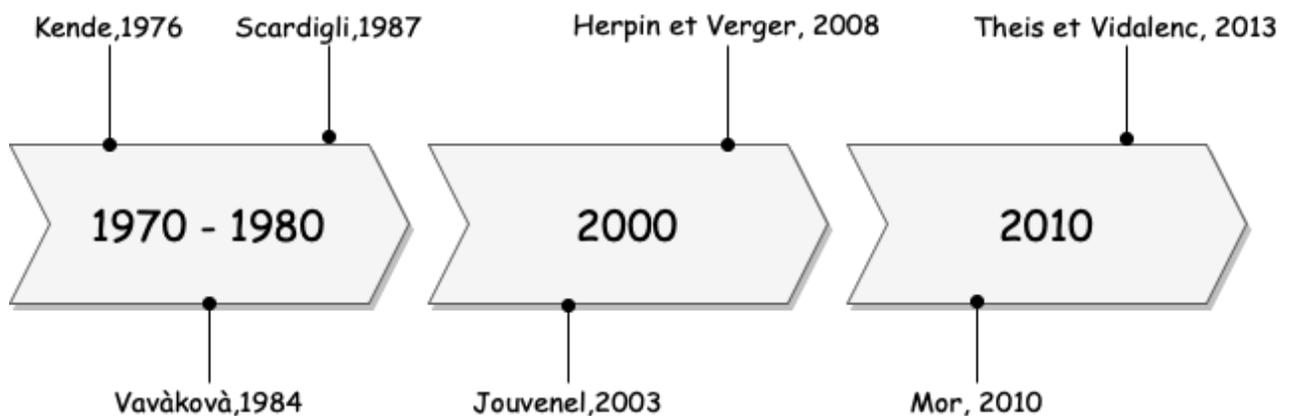


Figure 3 Frise chronologique reprenant les publications majeures

Année 1970-1980 :

- (Kende, 1976) « *La prospective de la consommation et des modes de vie. L'État des travaux Français.* » Dans ces travaux, Kende affirme qu'il est « illusoire d'espérer définir le mode de vie d'une façon unitaire, objective et arrêtée une fois pour toutes ». Il désigne néanmoins douze facteurs permettant de cadrer l'étude, vous le verrez par la suite que ces facteurs ont été repris comme référence par de nombreux sociologues.
- (Vavàkovà, 1984) « *La différenciation des modes de vie dans les sociétés de type soviétique.* » L'auteur, va comme pour l'étude précédente, réaliser une analyse comparative des modes de vie en Pologne, en Hongrie et en Tchécoslovaquie. Tout comme Kende, l'auteur met en évidence plusieurs facteurs qui vont impacter les modes de vie. On constate cependant, que le choix des facteurs est cette fois-ci plus restreint, en effet Vavàkovà va sélectionner les facteurs les plus influençant, propre à l'idéologie soviétique de l'époque, à savoir une approche communautaire. On retrouve les facteurs suivants :
 - Pratiques de consommation
 - Pratiques culturelles et loisirs
 - Pratiques de sociabilité
 - Attitude à l'égard du travail
- (Scardigli, 1987) « *L'Europe des modes de vie.* » L'auteur réalise ici une analyse comparative des modes de vie des pays de l'Europe de l'Ouest.

Année 2000 :

- (Herpin et Verger, 2008) « *Consommation et modes de vie en France : Une approche économique et sociologique sur un demi-siècle* »
- (Jouvenel et al., 2003) « *Radioscopie de la France en mutation, 1950- 2030. L'évolution socio-économique, les modes de vie, les territoires, les villes, la mobilité et l'environnement en 40 dimensions.* »

Année 2010 :

- (Mor, 2010) « *rétrospective des modes de vie 1960-1970 / 2000-2010, Rapports intermédiaires réalisés dans le cadre du projet PROMOV.* » Les auteurs, ont ici réalisé une analyse rétrospective des modes de vie et leurs évolutions. Ce travail s'est inscrit dans le cadre du projet PROMOV qui a pour objectif d'étudier les modes de vie polluants : « *Le projet de recherche vise en premier lieu à analyser l'évolution des modes de vie des urbains inducteurs de comportements générateurs de gaz à effet de serre, et à identifier les variables clés de cette évolution.* »
- (Theys et Vidalenc, 2013) « *Repenser les villes dans la société post-carbone* ». Ce travail avait pour objectif de déterminer et identifier les facteurs des modes de vie susceptibles de nuire à l'environnement. Cette étude est très intéressante car elle considère le mode de vie comme un outil d'analyse permettant de restructure les villes futures, en positionnant l'environnement au centre de l'étude.

Ces deux dernières études mettent en avant l'évolution des pensées et l'évolution des préoccupations de ces dernières années. On retrouve ainsi, l'intérêt de considérer l'environnement comme un élément central, nécessaire et indispensable dans les différents débats. Cela va de pair avec les modes de vie qui tendent ces dernières années à évoluer dans une démarche de développement durable. Nous reviendrons plus en détails sur cette évolution des modes de vie dans le chapitre suivant.

| | Kende, 1976 | Scardigli, 1987 | Vavàková, 1984 | Mor, 2011 | Theys et Vidalenc, 2013 | Herpin et Verger, 2008 | Jouvenel et al, 2003 |
|--|-------------|-----------------|----------------|-----------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Pratiques de consommation | | | | | | | |
| Choix des modalités d'habitation | | | | | | | |
| Pratiques d'équipement et rapport aux technologies | | | | | | | |
| Pratiques culturelles et loisirs | | | | | | | |
| Pratiques de mobilité et rapport à l'espace | | | | | | | |
| Pratiques alimentaires | | | | | | | |
| Comportements démographiques | | | | | | | |
| Pratiques de cohabitations | | | | | | | |
| Pratiques de sociabilité | | | | | | | |
| Pratiques relative à la santé, attitudes à l'égard du corps | | | | | | | |
| Pratiques d'éducation des enfants et de formation | | | | | | | |
| Pratiques touristiques et du voyage de loisir | | | | | | | |
| Attitude à l'égard du travail | | | | | | | |
| Niveau de vie, revenus et distribution, comportements financiers | | | | | | | |
| Implications citoyennes | | | | | | | |

Tableau 1 Tableau de synthèse des différentes dimensions abordées – (Le Gallic, 2018)

Ce tableau de synthèse met donc en évidence le caractère multifactoriel des modes de vie. On y retrouve 15 dimensions qui permettent d'affiner les limites du concept de mode de vie. On peut également observer que les auteurs n'utilisent pas forcément les mêmes dimensions lors de leurs études ; en effet, celles-ci dépendent du contexte, de la disponibilité des données et évidemment de l'objectif de l'étude.

Dans le *Tableau 2*, nous vous proposons de définir les pratiques et représentations auxquelles font référence les différentes dimensions. Ce tableau est une réalisation de l'auteur, sur base des descriptions nettement plus détaillées de ces différentes dimensions dans la thèse de doctorat de Le Gallic (2018).

Tableau 2 Définition des dimensions – synthèse de l'auteur (Le Gallic, 2018)

| | |
|---|---|
| <p>Pratiques de consommation</p> | <p>Les pratiques de consommations font références à l'ensemble des dépenses affectées à chaque poste de consommation (alimentaire, logement, loisir, culture etc.) Elles peuvent se décomposer en deux catégories :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Besoins fondamentaux (Alimentation, habillement, logement) 2. Besoins non fondamentaux (Loisir, voyage...) |
| <p>Choix des modalités d'habitation</p> | <p>Le choix des modalités d'habitation fait référence à deux principales questions :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Où se situe le logement ? 2. Quel est le type du logement ? <p>La première question fait référence à la localisation géographique du logement, par exemple en ville, en banlieue ou encore en milieu rural à noter qu'elle peut également faire référence à un territoire comme la Wallonie ou la Flandre. La deuxième question fait référence au type de logement on peut par exemple citer : un logement dans un immeuble collectif, un appartement, une maison unifamiliale, une maison mitoyenne etc. Le choix des modalités d'habitation va dépendre de différents facteurs, nous pouvons entre-autres citer le budget alloué, la surface au sol désiré, la proximité avec les transports en commun etc. Ces facteurs vont également dépendre de plusieurs contraintes comme la situation financière du ménage, l'offre disponible des logements etc.</p> |
| <p>Pratiques d'équipements et rapport aux technologies</p> | <p>Comme son nom l'indique cette dimension, va dans un premier temps s'intéresser aux rapports qu'entretiennent les ménages envers les technologies et les biens matériels puis dans un second temps à la quantité de biens et d'équipements possédés par les ménages. On entend par équipement les appareils électroménagers, les technologies liés à la communication et à l'information (téléphone, télévision, internet...) et les biens liés au confort thermique.</p> <p>On constate une variabilité des pratiques liées notamment au niveau d'équipement des ménages. Ces différences sont pour la grande majorité dues au revenu du ménage, la surface du logement, la situation géographique et le rapport entretenu envers les équipements et les technologies.</p> |
| <p>Pratiques culturelles et loisirs</p> | <p>Cette dimension couvre un très large panel d'activités, cela s'explique simplement par le fait que les loisirs divergent fortement selon les individus. On peut citer la lecture, les sorties (théâtre, cinéma, concert, évènement sportif, piscine), les pratiques artistiques, la visite de lieux culturels, l'écoute de musique, le visionnage de vidéos etc. à noter que certaines activités domestiques comme la cuisine ou le jardinage vont pour certains être considérées comme une contrainte alors que pour d'autres cela fait partie intégrante de leurs loisirs.</p> |

| | |
|---|--|
| | <p>Ces pratiques culturelles et loisirs vont dans la majorité des cas nécessiter de réaliser des dépenses mettant en évidence une contrainte économique.</p> |
| <p>Pratiques de mobilité et rapport à l'espace</p> | <p>Cette dimension fait référence à la fréquence des déplacements, aux modes de transport et aux activités pratiquées. Ce dernier point fait référence à la notion d'espace d'activités. Par espace d'activité on entend l'ensemble des lieux avec lesquels un individu va être en interaction (son domicile, le commerce de proximité, l'école de ses enfants, son lieu de travail etc.).</p> |
| <p>Pratiques alimentaires</p> | <p>Les pratiques alimentaires pourraient être considérées comme une composante des pratiques de consommations (vues précédemment). Or, trois études (Kende, 1976), (Scardigli, 1987) et (Herpin et Verger, 2008) ont considéré cette pratique comme une dimension à part entière notamment car l'évolution des pratiques alimentaires témoigne de l'évolution des modes de vie. L'alimentation et ces pratiques sont propres à chaque individu, elles mettent en évidence les différences culturelles mais également économique (choix d'un ingrédient coûteux par exemple). Cette dimension fait référence aux achats alimentaires, aux activités liées à la préparation du repas ainsi qu'aux modalités de prise des repas (repas pris à domicile, au restaurant, temps passé pendant le repas, la compagnie lors du repas etc.)</p> |
| <p>Comportements démographiques</p> | <p>Cette dimension fait référence aux choix de vies adoptés par les individus. Par choix de vie on entend : Se marier, avoir des enfants, divorcer, migrer, s'expatrier etc. Nous savons que depuis maintenant plusieurs années la société subit de profondes modifications (accès aux études pour tous, rôle de la femme) qui tendent à faire évoluer les comportements démographiques (moins de mariage, plus de divorce, âge moyen d'accouchement qui recule etc.) D'une manière générale, les comportements démographiques sont fonctions de l'âge, cela est d'autant plus vrai pour les jeunes, les étudiants et les retraités qui semblent avoir des comportements démographiques similaires.</p> |
| <p>Pratiques de cohabitation</p> | <p>Cette dimension fait référence à la situation des individus habitant au sein d'un même logement. Quelques exemples de pratiques de cohabitation les plus courantes : vivre seul, vivre en couple, vivre en couple avec enfant(s), vivre en colocation etc. On peut définir les pratiques de cohabitation comme étant l'ensemble des pratiques permettant de mettre en évidence le rapport aux autres dans un système de contraintes donné au sein d'un même logement.</p> |

| | |
|---|--|
| <p>Pratiques de sociabilité</p> | <p>Cette dimension fait référence à l'ensemble des interactions d'un individu/ménage avec d'autres individus. Ces pratiques peuvent être réalisées en tout lieu et peuvent se dérouler sur le temps libre ou le temps professionnel. Elles diffèrent fortement d'un individu à l'autre.</p> |
| <p>Pratiques relatives à la santé, attitudes à l'égard du corps</p> | <p>Cette dimension fait référence à l'état de santé d'un individu, à l'absence ou à la présence de douleurs, à l'état physique et psychique d'un individu ou encore l'attention que l'individu porte à son corps. Ce dernier point génère un investissement temporel et financier consacré à l'habiller, l'entretenir et l'embellir. Certaines dépenses et investissement sont jugés nécessaires comme le fait d'aller voir un médecin et d'acheter des médicaments, d'autres sont plus secondaires et dépendent des modes de vie (habits, alimentation, activité physique...)</p> |
| <p>Pratiques d'éducation et de formation</p> | <p>Cette dimension fait référence à l'ensemble des pratiques visant à apprendre et développer les capacités, les facultés, les aptitudes et les compétences d'un individu. Elle couvre un champ très large en considérant les aptitudes du langage, les aptitudes physiques et plus globalement l'ensemble des sciences (sciences sociales, sciences humaines, sciences naturelles).</p> |
| <p>Pratiques touristiques et du voyage de loisir</p> | <p>Cette dimension fait référence à l'ensemble des séjours ou voyages effectués pour des motifs de loisirs et/ou visites à la famille, aux amis. La différence notable avec les autres dimensions est que ces pratiques ont un caractère exceptionnel.</p> |
| <p>Attitude à l'égard du travail</p> | <p>Cette dimension fait référence à l'ensemble des notions qui touchent au travail. Elle permet de déterminer la place qu'un individu accorde au travail dans sa vie en considérant notamment : la satisfaction au travail, la durée du travail etc.</p> |
| <p>Niveaux de vie, revenus et distribution, comportements financiers</p> | <p>Cette dimension fait référence aux conditions de vie, on y observe une composante individuelle (revenu, épargne disponible, consommation possible) et une composante collective (niveau de vie général d'une commune, d'une région, d'un pays). Cette dimension est considérée comme une base, une fondation sur laquelle les modes de vie vont s'établir.</p> |

2.1.3. Évolution des modes de vie, conscience environnementale et développement durable

Nous allons désormais aborder la question environnementale qui est un point essentiel de ce présent TFE. Il faut tout d'abord avoir en mémoire que cette prise en considération de l'environnement dans les différents questionnements et débats est extrêmement récente. Jusque dans les années 1970, les modèles sociétaux mettaient en avant la croissance économique sans considérer les impacts négatifs engendrés par celle-ci (pollution, dépendance énergétique, croissance des inégalités etc.) (Hugon, 2005)

Cependant de nombreux évènements majeurs tel que les crises pétrolières (1973 et 1979), les grandes catastrophes naturelles et les nombreuses crises économiques ont freinés la croissance économique des pays développés. (Le Van Lemesle, 2004)

Cela a conduit à la nécessité de changer de modèle et d'intégrer l'environnement au cœur des préoccupations, comme en témoigne le rapport du club de Rome « Halte à la croissance » qui met en évidence le fait que l'on utilise un modèle économique basé sur la croissance infinie dans un monde aux ressources limitées. (Donella H, 1972) C'est ainsi que depuis les années 1970, la question environnementale a pris une place significative et centrale dans les différents débats à l'échelle internationale, illustrée par les nombreux évènements internationaux majeurs (conférence, sommet, protocole etc.) qui se sont déroulés ces cinquantes dernières années. (Tsayem Demaze, 2009)

Vous pouvez retrouver les principaux évènements majeurs qui ont conduit à peaufiner le concept de développement durable sur la *Figure 4* créée par mes soins.

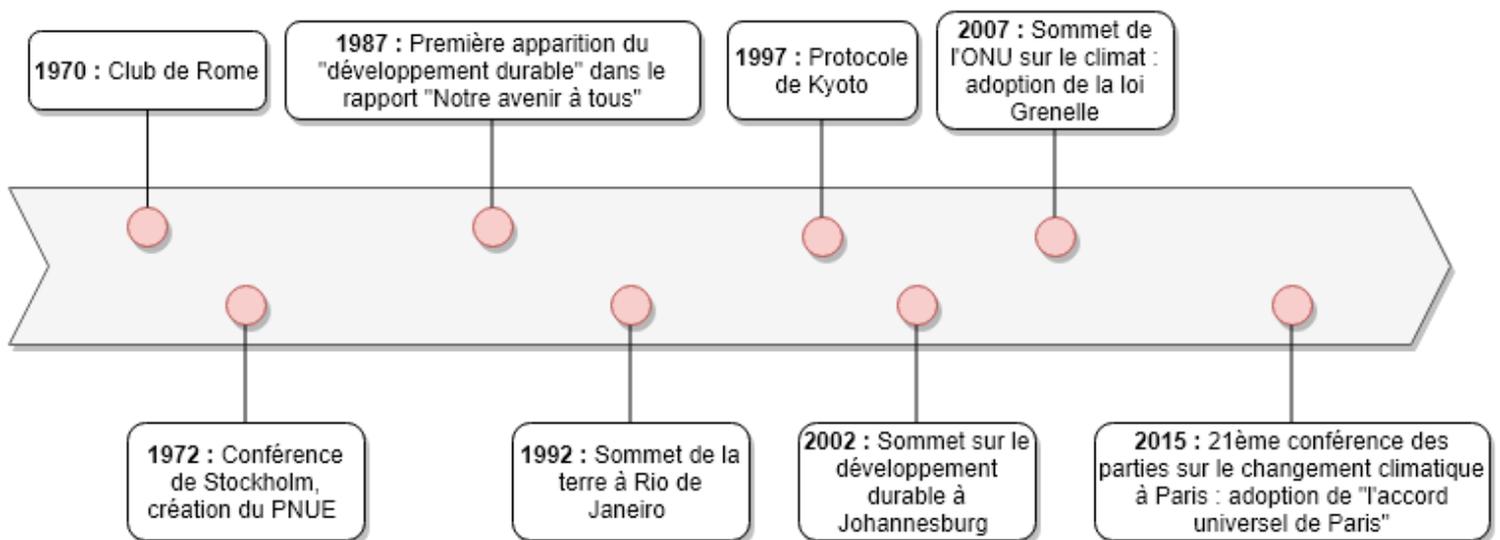


Figure 4 Frise chronologique du développement durable

Cette prise de conscience environnementale soudaine a immanquablement conduit à la nécessité de s'intéresser « à la relation entretenue par l'homme avec le reste de la nature ainsi qu'avec tous les éléments qui rendent possibles et conditionnent son existence. Cette définition suppose donc d'une part que l'homme fait partie des écosystèmes - les écologues diraient qu'il appartient à la biocénose de ces écosystèmes, d'autre part, que l'environnement ne se limite pas à la nature « naturelle » mais inclut ce que l'on appelle en anglais le built environment, l'environnement construit, l'environnement façonné par l'homme. » (Massard-Guilbaud, 2010)

En outre, de nombreuses études scientifiques ont également cherché à mesurer les impacts de l'action humaine sur l'environnement. On peut notamment citer l'étude de Lester Brown qui met en évidence un rapport de causalité quasi certaine entre l'émission de gaz à effets de serre, le réchauffement de la planète et probablement aussi les catastrophes naturelles. (Brown, 2003) On constate donc un besoin urgent d'agir, d'évoluer et de changer profondément les modèles économiques et sociétaux qui doivent prendre en considération la croissance, l'environnement et l'homme à part égale. C'est ainsi qu'est apparu la notion de développement durable qui a été abordée pour la première fois dans le rapport de Brundtland de 1987, qui la définit de la manière suivante : « Le développement durable est un mode de développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir. » (Catellani et al., 2019)(Brundtland, 2011) C'est lors du sommet de la terre de Rio de 1992 que sont définis les trois piliers du développement durable mettant en évidence l'approche multicritère du concept. (Dridi, 2016)



Figure 5 Les trois piliers du développement durable – source : un.org

Le concept s'est affiné et a évolué au cours du temps. Initialement le développement durable se focalise sur les aspects économiques, sociaux et environnementaux. Mais avec le temps, le concept évolue et se développe en intégrant de nouvelles dimensions comme les dimensions éthiques et morales, culturelles, législatives et de participation, qui placent ainsi l'Homme au centre du concept. (Verchère, 2012) (Youmatter, 2021)

On constate donc que le concept du développement durable induit inéluctablement la notion de mode de vie. En effet, en plaçant l'Homme au centre de la réflexion, c'est tout notre mode de vie, individuel et collectif qui se trouve interpellé par le développement durable qui vient créer de nouveaux impératifs en termes de consommation de biens (consommation alimentaire, électroménagers), de services (mode de déplacement, énergies renouvelables), mais également d'espaces (compacité, mixité, densité) directement liés à la notion de mode de vie. (Lasida, 2009)

De nombreuses études ont donc cherché à mesurer l'évolution des pratiques environnementales au sein des foyers et ainsi mettre en évidence le lien entre le développement durable et les modes de vie. Nous allons pour appuyer ces propos, nous baser sur l'étude « Modes de vie et pratiques environnementales des français » publiée en 2018 par le ministère de la transition écologique et solidaire français. Depuis les années 90, une série de sondages et d'enquêtes pluriannuel a été mise en place par le ministère de l'environnement. Elles ont pour objectif de quantifier l'importance accordée à l'environnement chez les français en se focalisant sur les préoccupations, les représentations et les pratiques des citoyens. Le document « Modes de vie et pratiques environnementales des français » publié en avril 2018 permet de mettre en évidence l'évolution des pratiques environnementales des français en se basant sur trois séries de données :

1. Enquête sur les pratiques environnementales des ménages (EPEM, 2016)
2. Baromètre annuel sur les opinions et pratiques environnementales des Français (CGDD, SOeS, 2016)
3. Baromètre de l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) :
 - i. « Représentation sociales de l'effet de serre et du réchauffement climatique » (ademe.fr)
 - ii. « Les Français et l'environnement » (Opinion Way, 2017) (ademe.fr)
 - iii. « Les Français et les nouvelles technologies de l'énergie » (Opinion Way, 2017) (ademe.fr)

Le premier élément mis en évidence dans ce rapport est l'évolution de la considération environnementale chez les Français. En effet, depuis les années 2000, l'opinion sur les causes des désordres climatiques a profondément évolué comme en témoigne le graphique suivant qui montre que désormais une grande majorité des Français (62 % en 2017 contre 32% en 2001) estiment que l'effet de serre est la principale cause des désordres climatiques.

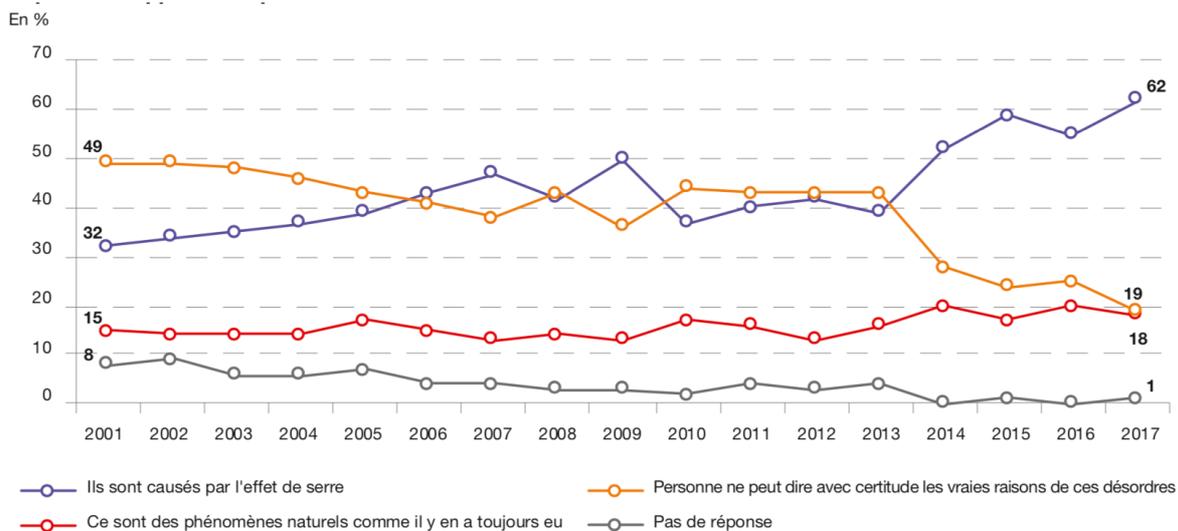


Figure 6 « De ces trois opinions sur les désordres climatiques (tels que les tempêtes et inondations en France), laquelle se rapproche le plus de la vôtre ? » - Source : Ademe (Enquête sur les représentations sociales du changement climatique 2001-2017)

Cette prise de conscience environnementale se traduit par une volonté de s'informer, d'apprendre et de comprendre les causes de ces problèmes environnementaux. On constate ainsi que les Français sont de plus en plus informés et sont désormais conscients des secteurs les plus polluants.

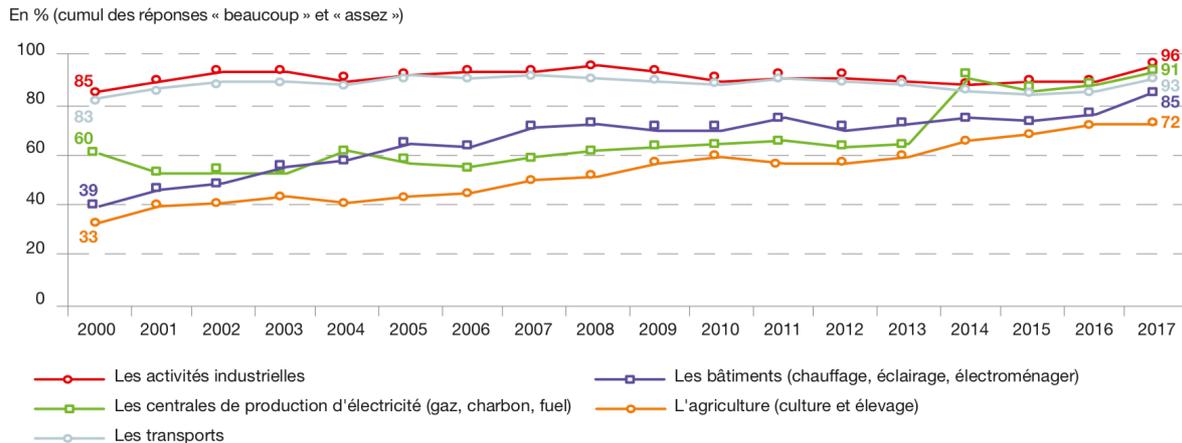


Figure 7 « Pour chacune des activités que je vais vous citer, dites-moi si, d'après ce que vous savez, elle contribue beaucoup, assez, peu ou pas du tout à l'effet de serre ? » - Source : Ademe (Enquête sur les représentations sociales du changement climatique : 20^{ème} vague)

Cette prise de conscience très récente, ainsi que les inquiétudes engendrées par les dérèglements climatiques chez les Français. Cela se traduit tout d'abord par un constat non équivoque de dégradation de l'environnement à l'échelle mondiale, du pays et de la commune.



Figure 8 « Comment jugez-vous l'état de l'environnement ? » - Sources : CGDD/SDES (Epem 2011-2016)

Cette inquiétude croissante chez les Français peut également être mise en évidence par l'intermédiaire du graphique ci-dessous, qui interroge les Français sur les conséquences du réchauffement climatique sur le long terme (50 ans). On constate qu'une majorité des Français sont inquiets et soucieux de l'avenir de notre planète mettant ainsi en évidence la nécessité d'agir.

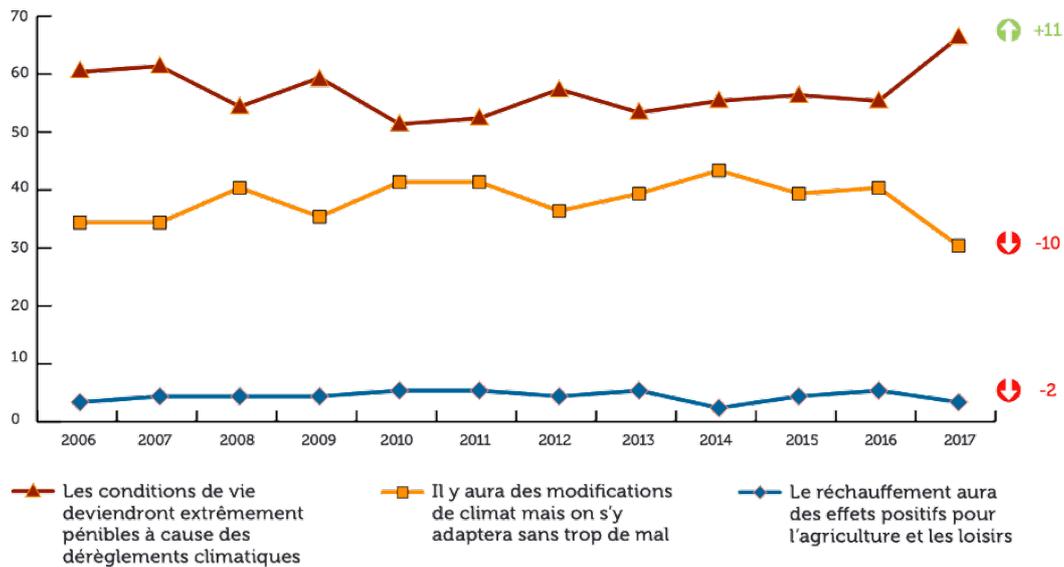


Figure 9 « Si le réchauffement/changement climatique continu, à votre avis, quelles seront les conséquences en France d'ici une cinquantaine d'années ? » - Source : ADEME, Les représentations sociales (de l'effet de serre) du changement climatique », GLS - Opinion Way

Ces différentes inquiétudes liées aux changements climatiques ainsi qu'à l'épuisement des ressources ont eu pour effet de développer une conscience environnementale chez les Français qui sont désormais 1 sur 2 à se dire « sensible » à l'environnement et 1 sur 3 « très sensible » à l'environnement. En 2017, on observe même un record, avec 39% des Français qui se déclaraient « très sensible » à l'environnement. (ADEME, 2018) Cela se traduit donc par une volonté d'agir dans un premier temps à l'échelle internationale par le biais de grandes conférences internationales puis à l'échelle du pays par l'intermédiaire des pouvoirs publics mais également à l'échelle locale en faisant évoluer nos modes de vie. Les Français sont d'ailleurs majoritairement convaincus de la nécessité de modifier nos modes de vie pour limiter les émissions de gaz à effet de serre (60%) devant la réglementation internationale (16%), le progrès technique (10%) ou la fatalité (13%). Ainsi, les individus sont donc de plus en plus convaincus d'agir à leur échelle. Vous pouvez retrouver ci-dessous, les principales actions mises en œuvre dans les ménages en vue de réduire les émissions de GES, à noter que ces actions sont directement liées aux modes de vie.

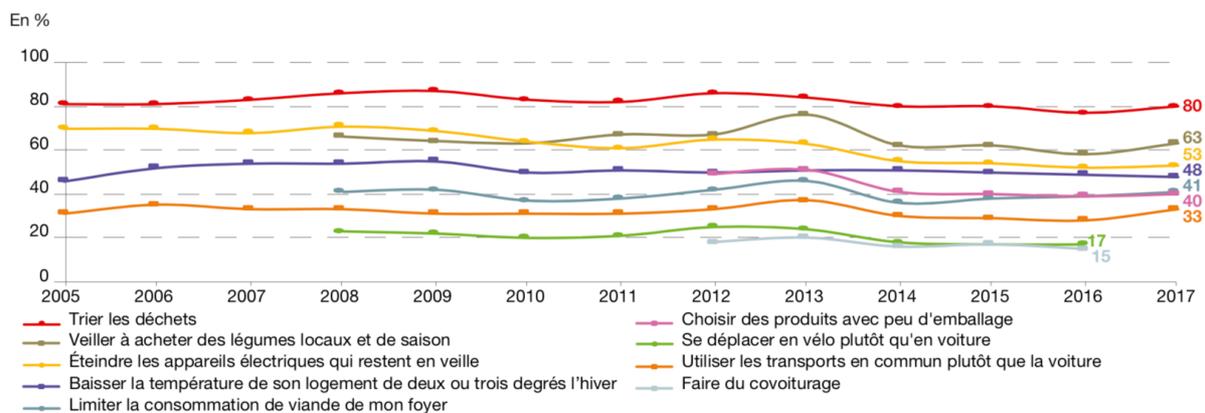


Figure 10 « Je vais vous citer des actions qui pourraient réduire les émissions de gaz à effet de serre ; pour chacune, dites-moi si vous le faites déjà ? » - Source : Ademe (Enquête sur les représentations sociales du changement climatique 2001-2017)

On constate que les comportements vertueux dépendent d'une part des motivations personnelles mais également des contraintes économiques et matérielles. Le tri des déchets accessible à tous et peu coûteux s'est imposé comme une évidence avec 80% des Français déclarant le mettre en œuvre en 2017. Ensuite, on retrouve les comportements liés à la consommation (fluctuation entre 40% et 63%) qui vont dépendre du confort, des goûts mais également du budget disponible. Enfin, en queue de peloton on retrouve les pratiques liées aux transports qui sont appliquées par moins de 20% des pratiquants. Cela s'explique dans un premier temps par l'attachement des Français à l'automobile mais dépend également du contexte dans lequel nous nous situons (offre de transports en commun, distances à parcourir, condition physique, topographie) qui met en évidence un ensemble de pratiques plus contraignantes.

Il faut tout de même nuancer ces propos en gardant en mémoire que la problématique environnementale n'est pas la priorité des Français, la dimension économique et la dimension liée au confort sont les principales priorités des français. (Lévy et al., 2014)

2.2. Des modes de vie tournés vers l'efficacité énergétique

La prise en considération des modes de vie dans l'étude des consommations énergétiques remonte aux années 70 suite aux deux grandes crises pétrolières de 1973 et 1979 qui ont naturellement amené les pays industrialisés à s'interroger sur leur dépendance au pétrole. Plusieurs études pionnières ont ainsi vu le jour, en France, on peut citer l'étude de Maréchal (1977) qui s'est intéressée à la mutation des modes de vie avant et après les deux grandes crises pétrolières. Maréchal observe à travers ses études, une mutation des comportements des individus en vue de réduire leur consommation énergétique. Il met ainsi en évidence la forte corrélation entre consommation énergétique et modes de vie, en considérant la consommation énergétique comme étant la résultante d'une société de production et de consommation. Léonard-Barton (1981) s'est quant à elle intéressée à l'évolution des comportements des individus qui adoptent des modes de vie plus vertueux et respectueux de l'environnement en réduisant leurs consommations énergétiques. Dillman et al. (1983) ont repris les travaux de Léonard-Barton en mettant en évidence que l'évolution des modes de vie répondait à la crise économique, et de ce fait, ils estimaient que certaines évolutions comportementales n'étaient pas choisies mais contraintes. Finalement, ces premières études ont conduit à considérer les modes de vie dans l'analyse des consommations énergétiques, nous allons désormais étudier l'évolution du concept au travers de différents travaux majeurs.

2.2.1. Le revenu des ménages et le prix de l'énergie comme facteur explicatif

Comme énoncé précédemment, les deux crises pétrolières ont conduit à la nécessité de comprendre et d'expliquer les facteurs influençant les consommations énergétiques. Dans un premier temps, les chercheurs, ont considéré le revenu des ménages et le prix de l'énergie comme facteur déterminant. Rapidement, plusieurs études ont démontré les limites de ces deux facteurs, notamment celle réalisée par Lundström (1986) qui met en évidence le fait que l'augmentation des revenus d'un ménage n'entraîne pas pour autant l'augmentation des consommations énergétiques en témoigne la *Figure 11*.

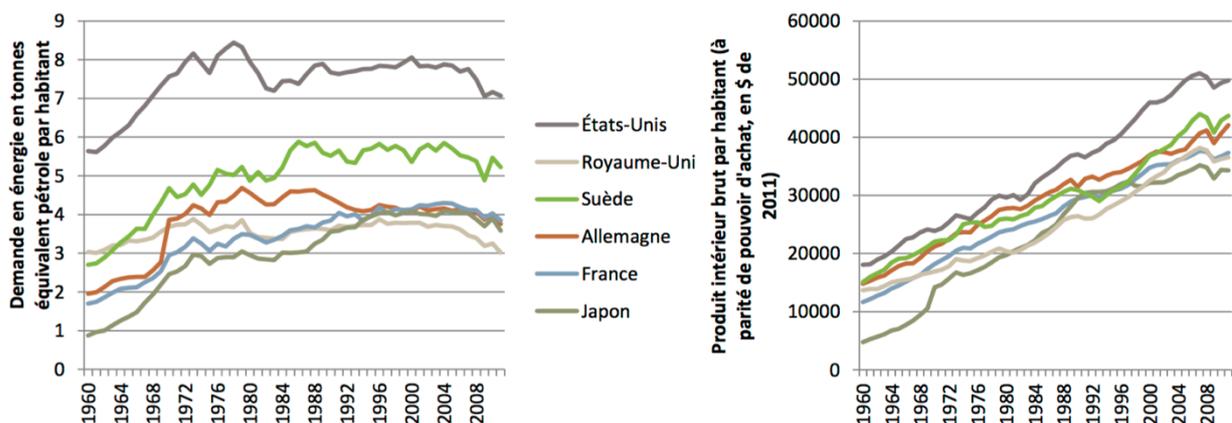


Figure 11 Consommation énergétique et PIB par habitant dans 6 pays (USA, R-U, Suède, Allemagne, France, Japon) – (Le Gallic, 2018)

À la vue de ces limites, les chercheurs se sont donc intéressés à étudier plus en profondeur les modes de vie pour expliquer les consommations énergétiques. Ils ont par la suite intégré de nouveaux paramètres tel que le profil du ménage, la taille du ménage, les modes d'occupation etc.

2.2.2. Les modes de vie et la consommation d'énergie

Pour pouvoir étudier le lien entre mode de vie et consommation d'énergie sur base d'enquêtes et sondages, plusieurs chercheurs ont regroupés les individus en plusieurs catégories qui semblaient développer des modes de vie « similaires ». Ils ont ainsi créé une typologie de modes de vie permettant de simplifier leurs études.

Nous pouvons citer les travaux de Wolvén (1991) qui, avait pour objectif d'approfondir la compréhension du comportement énergétique de différents individus et groupes d'individus en reliant leurs comportements aux modes de vie. A travers une enquête auprès de 800 ménages, il définit 9 modes de vie (orienté nature, orienté travail, orienté famille etc.) qui ont des consommations d'énergie qui varient significativement.

On peut également citer le travail de Tabbone et al. (2016) qui, comme leur confrère Wolvén, définissent une typologie de modes de vie en vue d'analyser les consommations d'énergie des habitants. Leur étude plus approfondie prend en considération les consommations d'énergie domestiques mais également celles liées à la mobilité. Ils définissent 6 catégories, et à l'instar des travaux de Wolvén, ils mettent en évidence une variation significative des consommations d'énergie en fonction de la catégorie à laquelle l'individu appartient.

2.2.3. L'approche centrée sur l'individu

La dernière approche que je souhaite vous présenter est celle centrée sur l'individu. Cela consiste à s'intéresser aux activités humaines autrement dit à ses modes de vie. L'énergie est à ce titre consommée pour satisfaire des usages. La première étude qui utilise cette approche est celle de Schipper et al. (1989). Les auteurs ont cherché à étudier les activités humaines (biens et équipement possédés, la mobilité, l'usage du temps etc.). Ces activités ont été décomposées en trois grandes catégories d'usages : les activités domestiques, les activités liées à la mobilité et les activités liées aux services. Ces auteurs se sont par la suite intéressés à quantifier l'énergie consommé selon les différents usages comme vous pouvez l'observer sur la *Figure 12*.

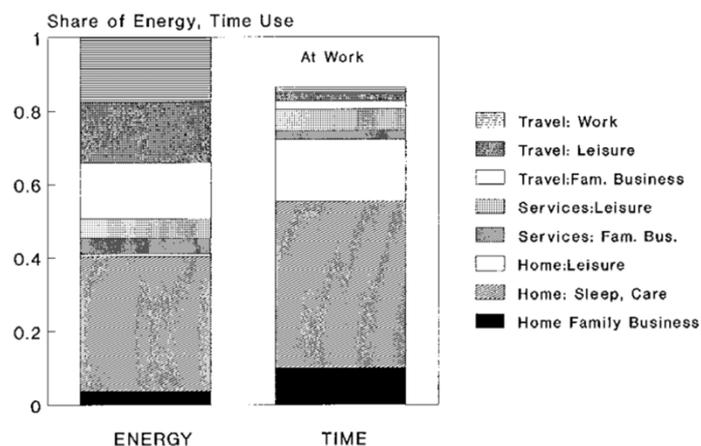


Figure 12 Usage de l'énergie et usage du temps aux États-Unis en 1985 – (Schipper et al., 1989)

Une deuxième étude intéressante, est celle réalisée par Bin et Dowlatabadi (2005) qui souhaitent proposer une alternative à l'analyse par secteur des émissions de gaz à effet de serre¹ en s'intéressant à la demande énergétique. Les auteurs ont adopté une posture dite « *consumer lifestyle approach* » qui considère l'individu en tant que consommateur. Les modes de vie des individus sont décomposés en trois grandes catégories : les pratiques de mobilité, les dépenses des ménages et la consommation d'énergie résidentielle. Par la suite, ces trois catégories sont converties en consommation d'énergie directe ou indirecte. Finalement, leur étude montre que les modes de vie des consommateurs ont une influence à hauteur de de 84,6% sur la consommation d'énergie aux États-Unis lors de l'année 1997.

Figure 13

| Consumer activities | Energy use (EJ) | CO ₂ emissions (Mt CO ₂) |
|--|-----------------|---|
| <i>Direct influences</i> | 28.3 | 2230 |
| Home energy | 10.9 | 1046 |
| Space heating | 5.5 | 338 |
| Other appliances and lighting | 2.4 | 381 |
| Water heating | 2.0 | 157 |
| Refrigeration | 0.5 | 89 |
| Air conditioning | 0.4 | 81 |
| Personal travel | 17.4 | 1184 |
| Short distance by automobiles and trucks | 12.7 | 855 |
| Long distance by air planes | 2.2 | 149 |
| Long distance by automobiles and trucks | 1.9 | 130 |
| Long distance by others | 0.3 | 25 |
| Short distance by others | 0.3 | 25 |
| <i>Indirect influences</i> | 56.4 | 3289 |
| Housing operation | 25.6 | 1411 |
| Transportation operation | 17.4 | 954 |
| Food and beverages | 6.4 | 426 |
| Apparel and services | 2.6 | 167 |
| Others | 1.6 | 117 |
| Personal insurance and pensions | 1.1 | 81 |
| Entertainment | 1.1 | 76 |
| Health care | 0.5 | 56 |
| <i>Total direct and indirect</i> | 84.6 | 5519 |

Figure 13 Consommation d'énergie et émissions de CO₂ aux États-Unis en 1997 - (Bin et Dowlatabadi, 2005)

¹ Analyse par secteur des émissions de gaz à effet de serre est une analyse qui distingue le résidentiel, l'industrie, le tertiaire et le transport

Enfin, l'étude réalisée par Pourouchottamin et al. (2013) permet de représenter la consommation énergétique moyenne d'un ménage en France. Pour aboutir à un résultat intéressant les auteurs ont utilisés de nombreuses études statistiques et enquêtes sur les consommations des ménages. A l'instar de l'étude de Bin et Dowlatabadi, les auteurs ont veillé à prendre en compte les consommations directes et indirectes. Finalement, comme vous pouvez l'observer sur la *Figure 14*, les résultats obtenus permettent de mettre en évidence le poids (exprimé en %) des différentes composantes des modes de vie.

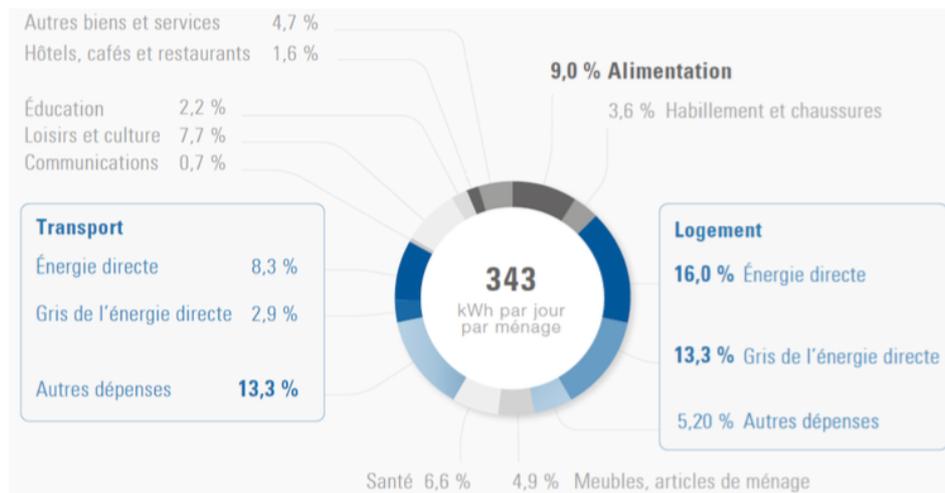


Figure 14 Structure des consommations énergétiques des Français en 2005 – (Pourouchottamin et al., 2013)

Pour finaliser cette partie, je vais vous présenter deux publications scientifiques qui vont me servir de cadre de référence dans la suite de mon travail.

2.2.4. ENERGIHAB

La première étude, ENERGIHAB (2014) réalisée par une équipe pluridisciplinaire composée de géographes, urbanistes, sociologues et ingénieurs a cherché à développer une méthode d'investigation innovante en vue d'étudier le lien entre les modes de vie et les consommations énergétiques. Pour mener à bien leur étude, les chercheurs ont développé deux principales approches :

- 1. Approche socio-économique** : Elle consiste à identifier les modes de consommations énergétiques liés à l'habitat, aux pratiques et à l'effort économique que cela engendre pour les ménages. Pour ce faire, les chercheurs se sont servis de plusieurs enquêtes réalisées par l'INSEE² (enquête nationale sur le logement 2002 et 2006) afin d'étudier les variations des consommations énergétiques selon des caractéristiques sociales, démographiques et économiques.

² INSEE : Institut National (Français) de la Statistique et des Études Économiques.
<https://www.insee.fr/fr/accueil>

- 2. Approche socio-technique :** Elle consiste à s'intéresser à un échantillon bien plus restreint en se concentrant uniquement sur 59 ménages volontaires. Les chercheurs se sont intéressés aux pratiques et représentations énergétiques des ménages à travers trois étapes :
- a. Entretien semi-directif visant à s'intéresser à la perception des modes de consommation à l'intérieur du domicile d'une part et aux déplacements d'autres part.
 - b. Observation des pratiques énergétiques réelles des ménages sur une période de deux semaines.
 - c. Observation des consommations énergétiques réelles des ménages sur une période de deux semaines en mettant en place un ensemble de capteurs.

Cette méthode d'investigation poussée et innovante à part la suite fait l'objet d'une analyse empirique dans le but de définir une typologie de consommateurs, analyser l'intensité des consommations énergétiques selon les caractéristiques des ménages (consommation/personne) et des logements (consommation/m²) et identifier les causes des variations de consommations des ménages (cycle de vie).

La typologie des consommateurs a été créée à partir des combinaisons d'énergie les plus couramment utilisées par les Français. Les chercheurs ont considéré six types d'énergie à savoir l'électricité (E), le gaz (G), le fuel (F), le GPL (GPL), le bois (B) et le charbon (C). Ils ont ensuite étudié les consommations d'énergie finale exprimées en KWh en définissant trois groupes : pas de consommation, faible consommation (-) et forte consommation (+). Finalement, les chercheurs ont également considéré les consommations énergétiques par personne et par surface (m²). Vous pouvez retrouver les résultats obtenus sur la *Figure 15* .

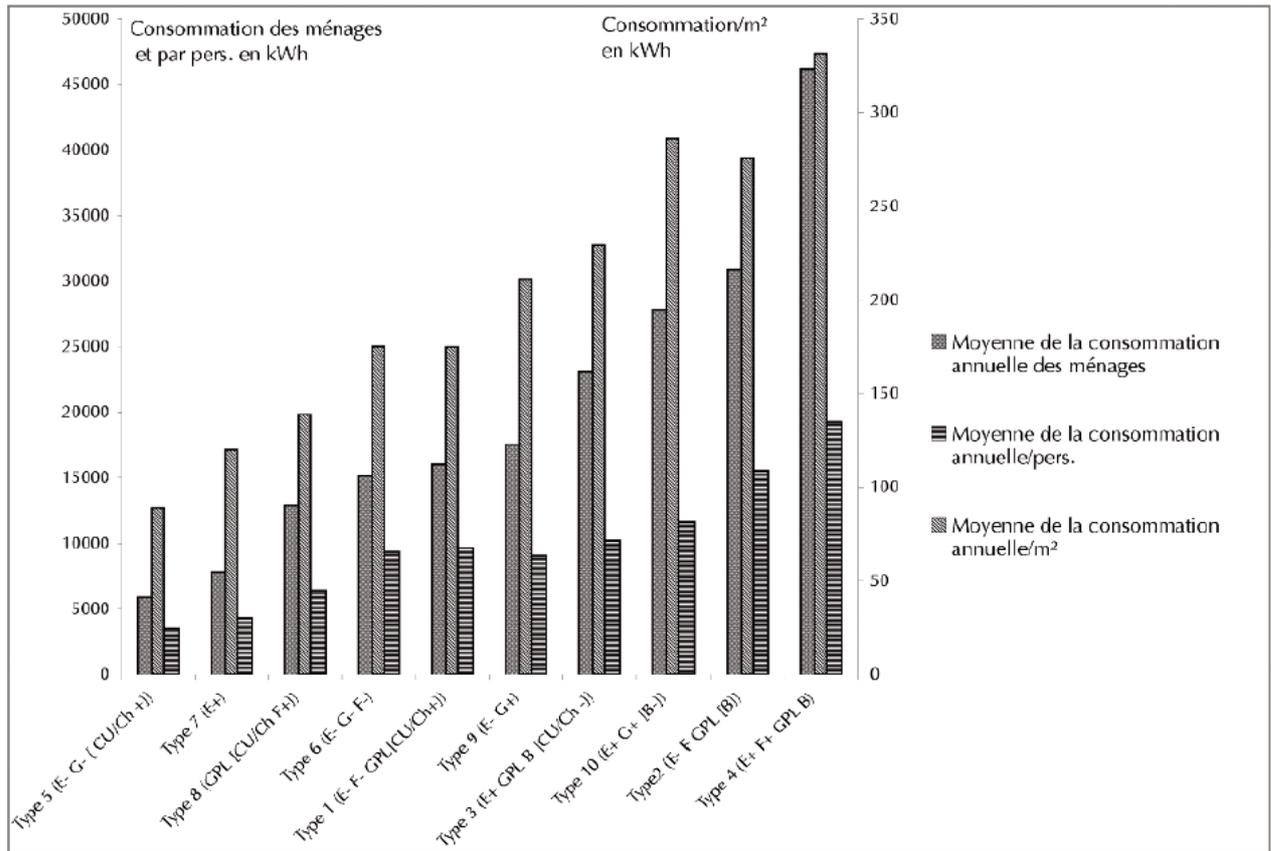


Figure 15 Synthèse des consommations globales, par personne et par m2 – (INSEE, Enquête nationale sur le logement, 2002)

On observe dix profils de consommateurs qui mettent en évidence le fait qu'il n'y a pas de correspondance entre les consommations globales des ménages, les consommations par personne et les consommations par m². Ce constat a donc naturellement conduit les chercheurs à s'intéresser aux profils dominants des ménages et des logements selon les types de consommateur. Ils observent ainsi la correspondance entre les modes d'énergie, les logements et les ménages. Cet intérêt pour l'étude des profils dominants permet aux chercheurs de montrer que pour l'habitat, à savoir la typologie du logement, l'année de construction ou encore la surface sont des facteurs discriminants³ tandis que pour les ménages, la présence (ou non) d'enfant(s), l'âge de l'individu référent et le statut social sont des facteurs signifiants⁴. (Figure 16) Pour pousser l'étude plus loin et dans une volonté d'approfondir les connaissances sur le sujet, les chercheurs ont décidé de compléter la typologie des consommateurs en y ajoutant quatre variables spécifiant les intensités de consommation par m² et par personne. La Figure 17, reprend les résultats obtenus et met en évidence un élément important, à savoir qu'il n'existe pas un lien systématique entre l'intensité d'un mode de consommation et celle par personne et par m². En d'autres termes, il existe une hétérogénéité des intensités de consommation par personne et par m² pour une typologie de consommation donnée.

³ Qui établit une différenciation

⁴ Qui établit une homogénéité

Cette hétérogénéité est en grande partie expliquée par le cycle de vie des individus (âge, taille du ménage etc.) et plus précisément par leur position dans le cycle de vie, qui a été décomposé en profils dominant selon l'étude d'une évolution familiale « classique » en quatre grandes étapes à savoir :

- Couples ou personnes seules sans enfants (moins de 30 ans)
- Couples avec enfants (entre 30 et 49 ans)
- Couples avec enfants (entre 50 et 59 ans)
- Couples et personnes seules de plus de 60 ans (en supposant que les enfants ont quitté le nid familiale).

Il est important de préciser que ce découpage ne prend pas en compte les personnes seules de 30 à 60 ans ainsi que les familles monoparentales.

| Types de consommateurs | % | Énergies | Profils dominants |
|------------------------|------|-------------------|---|
| Type 1 | 4,6 | E- F- GPL (CU/C+) | Couples sans enfant ou personnes seules jeunes ou âgés appartenant aux couches populaires aux revenus moyens ou bas ; locataires d'un appartement de moins de 4 pièces et de moins de 100 m ² d'un immeuble construit entre 1950 et 1974 en zone rurale ou urbaine |
| Type 2 | 8,5 | E- F GPL (B) | Couples sans enfant ou personnes seules retraités appartenant aux couches populaires aux revenus moyens ; propriétaires d'une maison de plus de 100 m ² construite avant 1975 en zone rurale ou périurbaine |
| Type 3 | 26,3 | E+ GPL B (CU/C-) | Familles de 40-59 ans aux revenus moyens ; propriétaires d'une maison de plus de 70 m ² construite avant 1948 ou après 1975 en zone rurale ou périurbaine |
| Type 4 | 1,5 | E+ F+ GPL B | Familles de plus de 40 ans cadres ou prof. int. (dont retraités) ; propriétaires d'une maison ancienne de plus de 100 m ² construite en zone rurale ou périurbaine |
| Type 5 | 13,2 | E- G- (CU/C+) | Jeunes couples sans enfant ou personnes seules des couches populaires (parfois précaires) aux revenus moyens ou faibles ; locataires d'un logement social ou privé de 4 pièces et moins construit entre 1949 et 1974 en zone urbaine |
| Type 6 | 1,1 | E- G- F- | Couples sans enfant ou personnes seules retraités cadres ou couches populaires ; locataires d'un logement social ou privé de 4 pièces et moins construit entre 1949 et 1974 en zone urbaine |
| Type 7 | 22,2 | E+ | Jeunes couples sans enfant ou personnes seules ; locataires d'un logement social ou privé d'une ou deux pièces de moins de 70 m ² construit après 1975 en zone urbaine |
| Type 8 | 7,2 | E- GPL (CU/C F+) | Couples sans enfant ou personnes seules retraités appartenant aux couches populaires aux bas revenus ; locataires d'une maison de 4 pièces et moins et de moins de 70 m ² construite avant 1975 en zone rurale ou périurbaine |
| Type 9 | 9,7 | E- G+ | Couples sans enfant ou personnes seules retraités cadres ou couches populaires ; locataires d'un logement social ou privé de 3 ou 4 pièces de 70 à 100 m ² construit entre 1949 et 1974 en zone urbaine |
| Type 10 | 5,5 | E+ G+ (B-) | Familles de 40-59 ans cadres ou prof. intermédiaires aux revenus élevés ; propriétaires d'une maison de plus de 100 m ² construite avant 1975 en zone urbaine |
| Total | 100 | | |

Figure 16 Profils dominants selon les types de consommateurs - Source : Enquête nationale sur le logement 2002 (INSEE)

| Types en % | Énergies | Faible conso/m ² : Faible conso/per | Faible conso/m ² : Forte conso/pers | Forte conso/m ² : Faible conso/per | Forte conso/m ² : Forte conso/pers | Total |
|--------------|------------------|--|--|---|---|------------|
| Type 5 | E- G- (CU/C+) | 52,5 | 14,5 | 13,1 | 19,8 | 100 (13,2) |
| Type 7 | E+ | 71 | 10 | 9,4 | 9,6 | 100 (22,2) |
| Type 8 | E- GPL (CU/C F+) | 45,8 | 8,8 | 12,5 | 32,9 | 100 (7,2) |
| Type 6 | E+ G- F- | 15,5 | 14,1 | 19,9 | 50,5 | 100 (1,1) |
| Type 1 | E- F- GPL (CU/C) | 24,3 | 19,5 | 15,3 | 40,8 | 100 (4,6) |
| Type 9 | E- G+ | 8,5 | 9,5 | 17,5 | 64,4 | 100 (9,7) |
| Type 3 | E+ GPL B (CU/C-) | 34,8 | 14,9 | 11,6 | 38,7 | 100 (26,3) |
| Type 10 | E+ G+ (B-) | 7,5 | 9,7 | 19,1 | 63,8 | 100 (5,5) |
| Type 2 | E- F GPL (B) | 8 | 13,8 | 9,8 | 68,3 | 100 (8,5) |
| Type 4 | E+ F+ GPL B | 1,7 | 5,7 | 3,5 | 89,1 | 100 (1,5) |
| Total | | 38,2 | 12,5 | 12,4 | 36,9 | 100 |

Figure 17 Intensité de consommation selon les types de consommateurs - Source : Enquête nationale sur le logement 2002 (INSEE)

2.2.5. Influence du comportement des habitants et des modes d'occupation du logement

La deuxième publication scientifique que je souhaite vous présenter en détail est un article scientifique issue de « *Energy and Buildings* » publié en 2013 : « *Impacts of occupant behaviours on residential heating consumption for detached houses in a temperate climate in the northern part of Europe* » (De Meester et al., 2013)

L'étude rédigée par Tatiana De Meester, Sigrid Reiter, Anne-Françoise Marique et André De Herde a pour objectif d'étudier l'influence de trois paramètres relatifs au comportement humain à travers leurs modes d'occupation (taille du ménage, gestion du système de chauffage et gestion de la zone chauffée) sur les demandes de chauffage d'une maison en Belgique. Les chercheurs ont fait le choix de réaliser leur étude sur une maison individuelle de type « 4façades » représentant 30% du bâti Belge. *Figure 18*

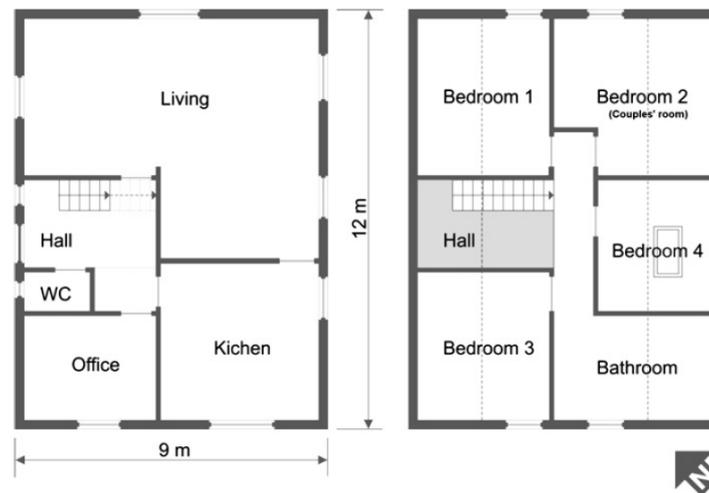


Figure 18 Plans du logement étudié – (De Meester et al., 2013)

L'étude a également consisté à faire varier les caractéristiques thermiques du bâtiment en adoptant sept niveaux d'isolations (pas d'isolation, 3 cm d'isolation, 6 cm d'isolation, norme de 2013 pour les nouvelles constructions, niveau énergétique faible, niveau énergétique très faible, standard passif) afin d'étudier l'impact du mode de vie des occupants et les interactions entre les modes d'occupation et les différents niveaux d'isolations du bâtiment.

Les paramètres pris en compte pour l'étude des comportements humains sont les suivants : (De Meester et al., 2013)

Le premier paramètre concerne la taille de la famille et le mode d'occupation correspondant.

1. Mode d'occupation 1 (OM1) : un couple actif travaille à l'extérieur de la maison pendant la journée tandis que ses trois enfants vont à l'école.
2. Mode d'occupation 2 (OM2) : un couple indépendant ou sans emploi travaille/reste à la maison pendant la journée tandis que ses trois enfants vont à l'école.
3. Mode d'occupation 3 (OM3) : un couple actif sans enfants travaille/reste à l'extérieur pendant la journée. Cinq cas sont examinés.
4. Mode d'occupation 4 (OM4) : couple âgé qui n'est pas très actif et passe beaucoup de temps à la maison. Quatre cas sont examinés.

Le deuxième paramètre concerne la gestion du système de chauffage.

1. T1 : 20°C (6-8h et 16h à 12h) dans les chambres occupées avec une baisse de température à 16°C la nuit et pendant les heures de bureau (1-5h et 9h à 15h).
2. T2 : 20°C (6-12h) dans les chambres occupées avec une baisse de température à 16°C la nuit (1-5h).
3. T3 : 21°C dans les chambres occupées, toute l'année, de jour comme de nuit.
4. T4 : 24°C (7 h à 22 h) dans les chambres occupées avec une baisse de la température à 20°C la nuit (23 h à 6 h).

Le troisième paramètre concerne la gestion de la zone chauffée. En effet, pour la simulation la taille de la maison reste fixe, cependant en fonction des scénarios mis en place, certaines zones de la maison peuvent être abandonnées. Deux cas de figures sont présents :

1. Maison entièrement occupée GF (rez-de-chaussée + R1)
2. Maison partiellement occupée G (uniquement le rez-de-chaussée)

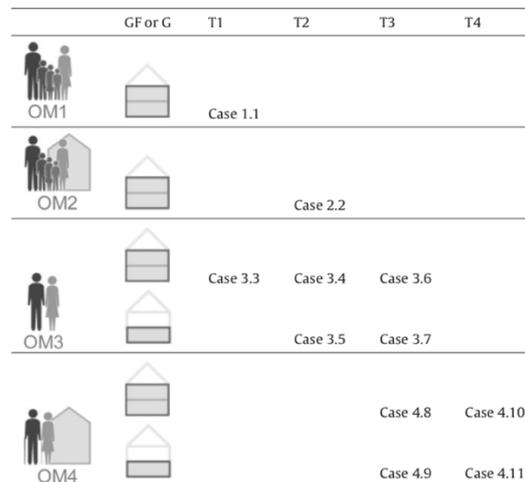


Figure 19 Synthèse des scénarios étudiés – (De Meester et al., 2013)

Les onze scénarios mis en œuvre ont par la suite été étudiés à travers les sept niveaux d'isolations par l'intermédiaire du logiciel TAS qui est un outil d'analyse thermique et de simulation énergétique dynamique des bâtiments. Vous pouvez retrouver la synthèse des résultats sur la *Figure 20*, exprimés sous la forme d'un tableau composé de deux parties (A et B). **La partie A** correspond aux besoins de chauffages totaux divisés par la surface totale de la maison, à savoir 182 m². **La partie B** correspond aux besoins de chauffages totaux divisés par la surface occupée et chauffée (182 m², 138 m² ou 91 m²). Les résultats permettent d'affirmer que plus un bâtiment est isolé, plus les modes de vie vont influencer les besoins de chauffage et ainsi les consommations énergétiques.

| (A) kWh/m ² (Heating loads are divided by the total surface area of the house (182 m ²)) | | | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| | Case 1.1 | Case 2.2 | Case 3.3 | Case 3.4 | Case 3.5 | Case 3.6 | Case 3.7 | Case 4.8 | Case 4.9 | Case 4.10 | Case 4.11 |
| NI | 180.13 | 195.11 | 154.78 | 170.70 | 132.19 | 231.00 | 178.71 | 214.71 | 175.43 | 177.48 | 215.15 |
| 3 cm | 96.46 | 101.30 | 92.94 | 101.35 | 88.25 | 132.15 | 115.16 | 122.76 | 111.96 | 118.49 | 129.09 |
| 6 cm | 77.50 | 79.97 | 76.94 | 83.35 | 74.59 | 106.52 | 95.47 | 99.07 | 92.36 | 100.29 | 106.98 |
| CS | 59.53 | 59.08 | 60.50 | 64.92 | 59.69 | 80.75 | 74.54 | 74.88 | 71.62 | 80.96 | 84.42 |
| LE | 28.46 | 31.03 | 30.18 | 36.19 | 31.99 | 44.82 | 39.74 | 40.69 | 36.99 | 43.61 | 47.58 |
| VLE | 17.03 | 10.27 | 16.47 | 18.48 | 17.48 | 22.22 | 21.15 | 19.51 | 18.91 | 24.83 | 25.75 |
| PHS | 7.25 | 5.16 | 11.88 | 13.28 | 12.76 | 15.93 | 15.39 | 13.54 | 13.15 | 17.86 | 18.53 |

| (B) kWh/m ² (Heating loads are divided by the occupied area (182, 138 or 91 m ²)) | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| m ² | Case 1.1 | Case 2.2 | Case 3.3 | Case 3.4 | Case 3.5 | Case 3.6 | Case 3.7 | Case 4.8 | Case 4.9 | Case 4.10 | Case 4.11 |
| 182 | 180.13 | 195.11 | 154.78 | 170.70 | 132.19 | 231.00 | 178.71 | 214.71 | 175.43 | 177.48 | 215.15 |
| 138 | 205.40 | 226.53 | 265.46 | 226.53 | 265.46 | 306.55 | 358.88 | 310.73 | 352.28 | 356.41 | 311.37 |
| 91 | 123.34 | 134.50 | 177.22 | 134.50 | 177.22 | 175.37 | 231.25 | 177.67 | 224.83 | 237.94 | 186.82 |
| 182 | 77.50 | 79.97 | 102.11 | 110.60 | 149.78 | 141.35 | 191.72 | 143.38 | 185.48 | 201.39 | 154.83 |
| 138 | 80.29 | 86.15 | 119.87 | 107.16 | 149.68 | 108.37 | 143.82 | 162.58 | 122.18 | | |
| 91 | 40.05 | 48.02 | 64.24 | 59.48 | 79.79 | 58.89 | 74.29 | 87.58 | 68.85 | | |
| 182 | 17.03 | 10.27 | 21.85 | 24.53 | 35.10 | 29.49 | 42.48 | 28.24 | 37.98 | 49.86 | 37.27 |
| 138 | 21.85 | 24.53 | 35.10 | 29.49 | 42.48 | 28.24 | 37.98 | 49.86 | 37.27 | | |
| 91 | 10.27 | 16.47 | 18.48 | 17.48 | 22.22 | 21.15 | 19.51 | 18.91 | 24.83 | 25.75 | |
| 182 | 7.25 | 5.16 | 15.76 | 17.62 | 25.61 | 21.14 | 30.91 | 19.59 | 26.41 | 35.87 | 26.81 |
| 138 | 11.88 | 13.28 | 12.76 | 15.93 | 15.39 | 13.54 | 13.15 | 17.86 | 18.53 | | |
| 91 | 16.47 | 18.48 | 17.48 | 22.22 | 21.15 | 19.51 | 18.91 | 24.83 | 25.75 | | |

Figure 20 Synthèse des résultats - (De Meester et al., 2013)

Pour aller plus loin dans leur étude, les chercheurs se sont intéressés à étudier l'impact des modes de vie au cours du cycle de vie du bâtiment en considérant que plusieurs modes d'occupation allaient être appliqués au cours du cycle de vie du logement. Ils ont donc réalisé une ACV (Analyse du cycle de vie) sur 100 ans en considérant les trois modes d'occupation les plus extrême (cas 1.1, cas 3.4 et cas 4.9). Vous pouvez retrouver les quatre hypothèses d'occupation sur la *Figure 21* ainsi que les besoins de chauffage tout au long du cycle de vie du bâtiment sur la *Figure 22*.



Figure 21 Les 4 scénarios étudiés dans l'analyse du cycle de vie - (De Meester et al., 2013))

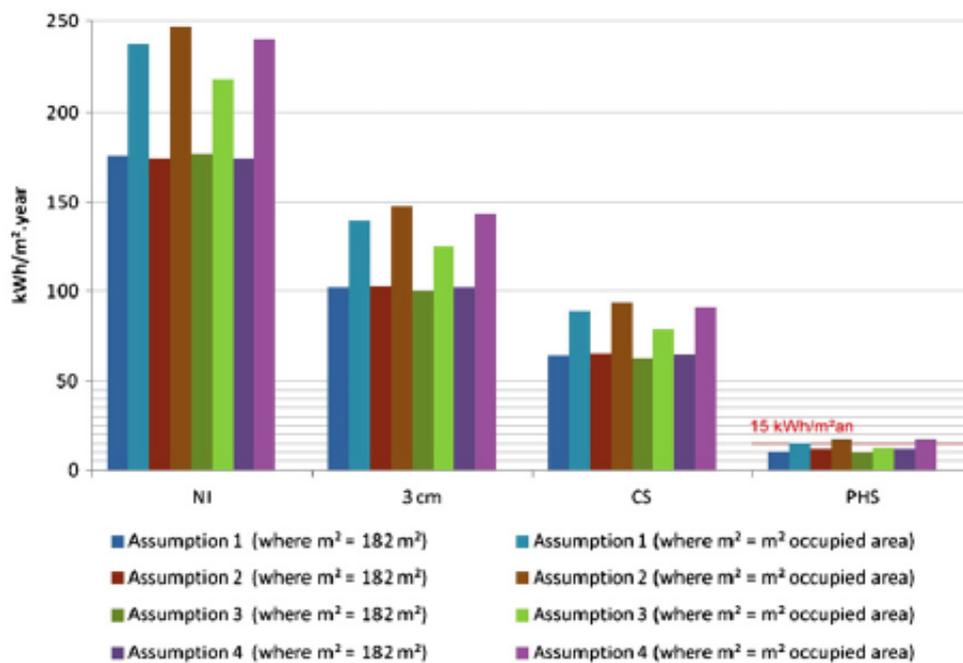


Figure 22 Les charges de chauffage selon les degrés d'isolation et selon les 4 scénarios étudiés – (De Meester et al., 2013)

Cette étude sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment permet de mettre en évidence l'impact significatif des modes de vie sur la phase d'occupation et d'utilisation du bâtiment. Or, les modes de vie ne sont jamais pris en compte lors d'une ACV. Pour conclure, nous savons qu'au cours du cycle de vie d'un bâtiment, la taille du ménage qui l'occupe va évoluer, de ce fait, le logement ainsi que les modes d'occupation doivent être en mesure de s'adapter. Cette stratégie permettrait de réduire de manière significative les consommations énergétiques en optimisant l'occupation de l'habitation.

2.3. Conclusion

L'étude des différents courants de pensées qui ont façonné la notion de mode de vie, la mise en évidence de son caractère multidimensionnel, l'évolution récente des modes de vie ou encore l'intérêt d'intégrer les modes de vie dans des études plus techniques ont permis d'étoffer nos connaissances sur cette notion si complexe à appréhender. Finalement, on se rend compte qu'il semble aujourd'hui nécessaire d'intégrer pleinement les modes de vie dans les études qui vont inclure l'individu. Ainsi, l'intérêt d'étudier l'impact des modes de vie sur l'analyse du cycle de vie d'une habitation unifamiliale semble donc pertinente et justifiée.

2.4. Habitat flexible et modulable, une société qui évolue

Nous avons précédemment défini la notion du « mode de vie » en mettant en évidence son caractère multifactoriel et changeant. Dans la présente partie, nous allons aborder la question de l'habitat et du logement. Dans un premier temps, nous allons par l'intermédiaire de données statistiques fournies par *L'Institut wallon de l'évaluation, de la prospective et de la statistique (IWEPS)*⁵ mettre en évidence les changements sociétaux (vieillesse de la population, évolution de la taille des ménages, évolution des configurations familiales, consommation d'espace artificialisé, internalisation des loisirs etc.) qui impactent directement la relation que nous entretenons avec nos espaces habités. Ces évolutions sociétales, génèrent des nouvelles problématiques et besoins qui soulignent les limites du logement stéréotypé classiquement mis en œuvre jusqu'à présent.

⁵ Institut scientifique public d'aide à la prise de décision à destination des pouvoirs publics. Depuis le 1er janvier 2016, l'Institut a été désigné par le Gouvernement wallon comme l'Autorité Statistique de la Région wallonne, et fait partie, à ce titre, de l'Institut Interfédéral de Statistique (IIS) et de l'Institut des Comptes Nationaux (ICN) (Cfr. Arrêté du 12/11/2015, MB 23.11.2015)(Meyer et Joukovsky, 2019)

2.4.1. Évolution de la société – 21^{ème} siècle

2.4.1.1. Croissance d'une population vieillissante

Nous allons tout d'abord décrire l'évolution de la population de Wallonie en comparant les données statistiques sur plusieurs années. Cela va nous permettre de constater que nous faisons face à un phénomène d'accroissement d'une population vieillissante.

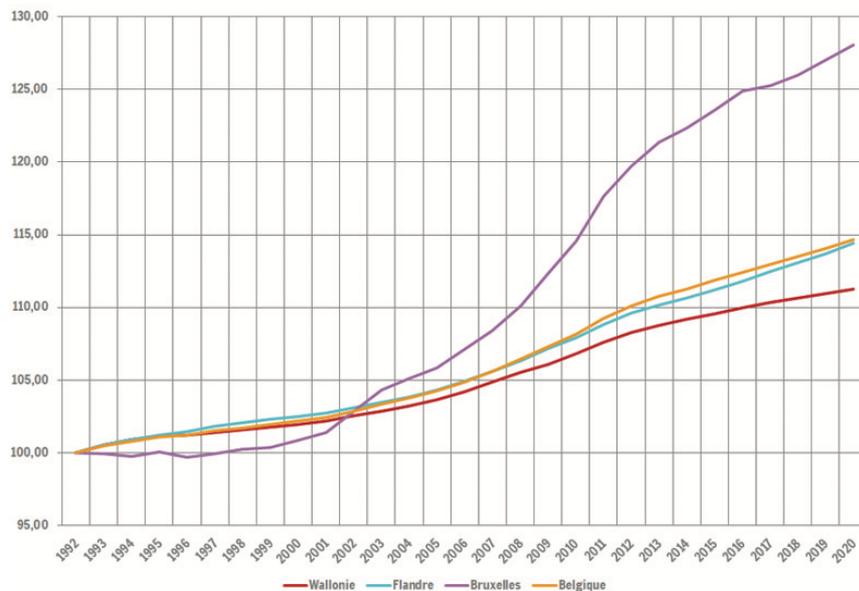


Figure 23 Évolution des populations des régions belges (1992-2020) - Source : IWEPS

La *Figure 23*, met en évidence l'accroissement de la population Belge depuis 1992. On constate que sur les 10 dernières années, la population wallonne a augmenté +4,2 %. On constate cependant, que la région Wallonne est celle qui subit le plus faible accroissement derrière la Flandre (6%) et Bruxelles-Capitale (12%). Ces différences s'expliquent par la contribution importante des migrations externes à la Belgique, liée à une forte fécondité, qui est le moteur de la croissance de la population bruxelloise de ces dernières années. (IWEPS, 2021)

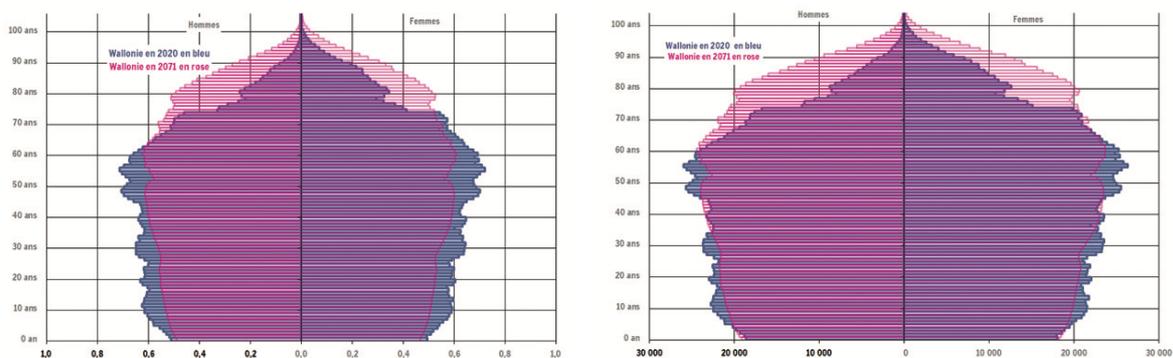


Figure 24 Pyramide des âges de la Wallonie en 2020 et en 2071 - Sources : Bureau fédéral du Plan juin 2020 ; Statbel ; Calculs : IWEPS

Figure 24 met en évidence la pyramide des âges de la Wallonie en 2020 ainsi qu'une prévision à l'horizon 2071. On constate une augmentation de l'âge moyen en Wallonie mettant ainsi en évidence le vieillissement de la population : « *L'âge moyen de la population wallonne devrait croître de 4,1 ans d'ici à 2071 par une augmentation importante de la population âgée, mais aussi par une diminution relative des jeunes classes d'âge.* » (IWEPS, 2021) Cela se traduit graphiquement par un gonflement de l'effectif au sommet de la pyramide (accroissement de la population âgée) et un rétrécissement au pied de la structure (diminution de la population des jeunes). Les démographes appellent cela une silhouette en « meule de foin » qui confirme le vieillissement de la population de Wallonie.

Cette évolution démographique va engendrer deux principales problématiques. La première est directement liée à l'accroissement de la population qui engendre un besoin croissant d'habitat résidentiel. Cela se traduit par la construction de bâtiments, d'infrastructures et d'équipements (Tableau 3) entraînant une artificialisation du territoire avec des conséquences environnementales multiples (perte de ressources naturelles et agricoles, imperméabilisation des sols, fragmentation des habitats naturels etc.). (Lefèvre et L'Echo, 2018) Afin de réduire cette consommation croissante des espaces, il est urgent d'augmenter l'efficacité de cette artificialisation des sols. Pour cela, il existe deux leviers majeurs : la densité des opérations (compacité de l'habitat) et l'augmentation du renouvellement urbain.

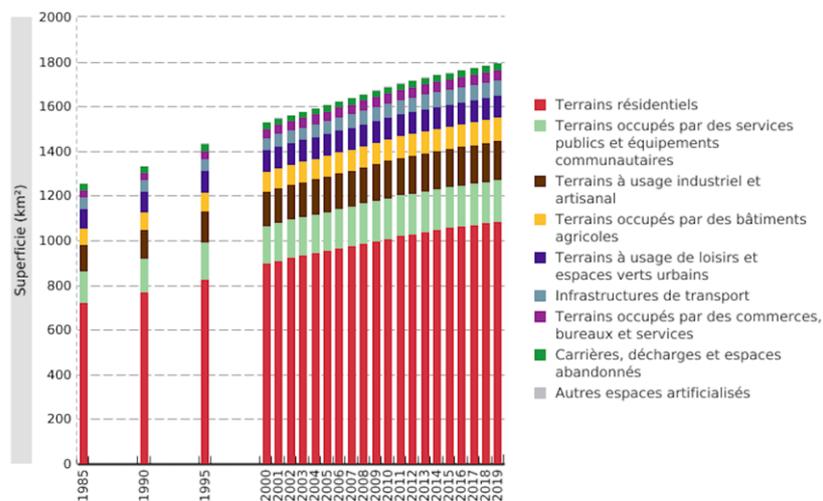


Tableau 3 Superficie des terrains artificialisés en Wallonie - Sources : SPF Finances - AGDP (base de données Bodem/Sol) ; Statbel (SPF Économie - DG Statistique)

La deuxième problématique est quant à elle liée au vieillissement de la population. Pour les personnes ayant 60 ans et plus, environ 35 % des personnes déclarent avoir des gênes quant à l'accomplissement des tâches quotidiennes. (*État de santé déclaré par groupe d'âge et par sexe* (IWEPS, 2021)) Cela s'explique en grande partie par la perte d'autonomie. Les logements ne répondent plus aux besoins des personnes âgées. Cela se traduit dans la majorité des cas à placer les personnes âgées dans des maisons de repos, qui depuis les années 2000 voient leur nombre de lits diminuer peu à peu. (Dagnies, 2016) Il convient donc de réfléchir à des nouveaux logements qui seront en mesure de s'adapter à l'évolution des besoins des occupants.

2.4.1.2. Évolution de la taille des ménages et des configurations familiales

Nous allons dans un premier temps mettre en évidence l'évolution de la taille des ménages en Wallonie depuis les années 1990. On constate tout d'abord une forte croissance des ménages composés de 1 ou 2 personnes (croissance de plus de 50% des ménages 1 personnes depuis les années 90). A contrario, les ménages « classiques » composés de 3,4 ou 5 personnes ont tendance à stagner voir même à diminuer. D'une manière générale, les ménages augmentent significativement depuis les années 90 laissant place peu à peu à des ménages restreints à une ou deux personnes comme en témoigne la *Figure 25* issue de l'IWEPS.

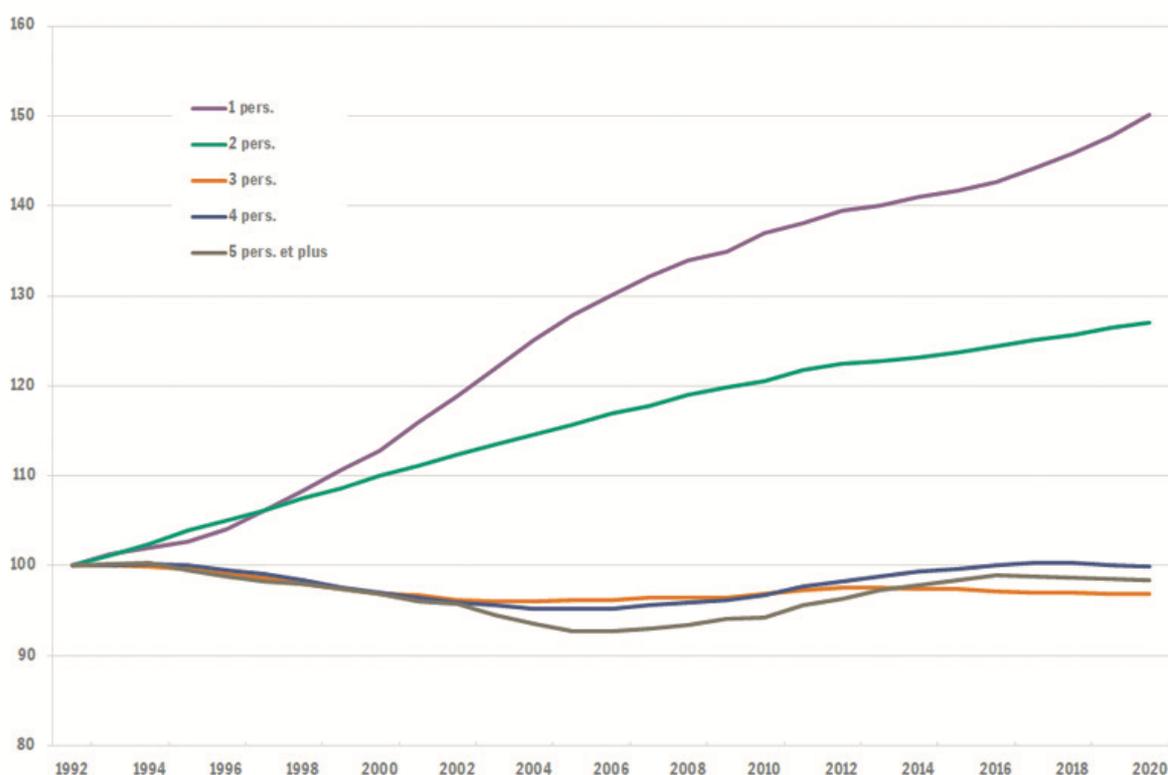


Figure 25 Évolution de la taille des ménages privés en Wallonie (indice 1992=100) - Source : Demobel – Statbel ; Calculs : IWEPS

L'évolution de la taille des ménages va de pair avec l'évolution des configurations familiales. Le profil des ménages évolue laissant place aujourd'hui à des situations très variées :

- Couples vivant chez les parents
- Enfants adultes vivant chez les parents
- Personnes seules
- Familles monoparentales
- Colocations multigénérationnelles etc.

Finalement, on constate que le modèle de la famille traditionnelle (couples mariés avec enfant(s) biologique(s)) n'est plus le modèle prédominant comme observé sur la *Figure 26*.

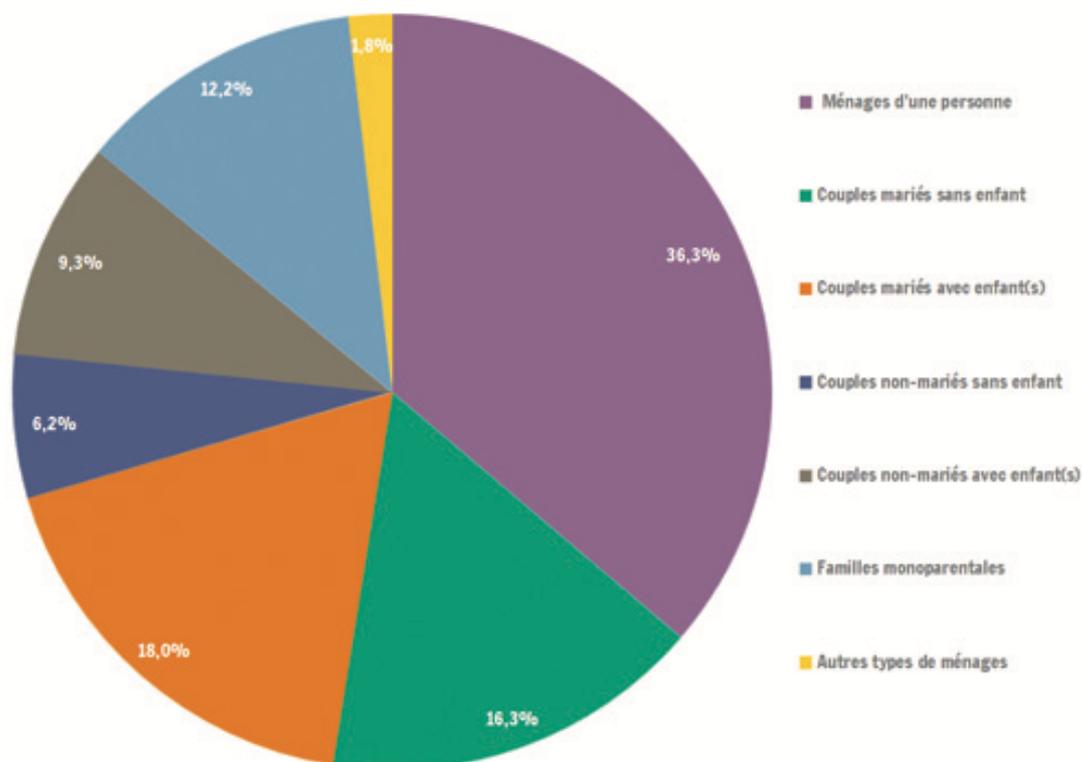


Figure 26 Répartition des ménages privés wallons selon le type au 1er janvier 2020 (en pourcentage) - Source : Demobel – Statbel ; Calculs : IWEPS

Ces différents changements impactent directement les besoins et la manière d'utiliser le logement. Les séparations, les ruptures familiales, les logements multigénérationnels, la hausse du prix des logements... accroissent la nécessité de moduler et de faire évoluer les logements. L'habitat stéréotypé, classiquement mis en œuvre depuis les 30 glorieuses, qui répondait aux besoins des modèles familiaux de l'époque n'est plus adapté aux besoins actuels. Cette analyse va dans le sens de nombreuses études qui ont mis en évidence l'arrêt du processus de standardisation. On constate aujourd'hui que le passage à l'âge adulte ou encore la transition vers la retraite est compliquée et diffère selon chaque individu. Cela se traduit notamment par une irrégularité de plus en plus courante dans les trajectoires familiales et professionnelles, obligeant les individus à quitter leur logement en fonction des évolutions de leur statut social. (Cavalli, 2007)

Finalement, les évolutions sociales du 21^{ème} siècle mis évidence précédemment nous apprennent que la société a profondément évolué. Désormais, les activités, les loisirs et le travail se font à la maison. On parle alors d'un phénomène « d'internalisation » qui est d'autant plus vrai avec la situation sanitaire que l'on connaît actuellement. Ainsi les modalités de vie chez soi, les usages de la maison se sont transformés et l'espace proposé n'est plus adapté et organisé pour cela. Ces questions nous amènent à aborder les notions d'adaptabilité, de flexibilité et de réversibilité dans un habitat concilient et résilient, qui sera en mesure de s'adapter aux besoins de l'individu. (Eleb, 2017)

2.5. Habitat flexible, adaptable et évolutif, une nouvelle manière d'habiter

Nous avons précédemment mis en évidence le fait que les logements actuels ne permettent plus de répondre aux différents besoins des utilisateurs. Il convient donc de revoir intégralement nos manières de concevoir les logements. Depuis maintenant quelques années des logements adaptables, flexibles ou encore évolutifs ont vu le jour. On retrouve dans la littérature différents termes permettant finalement de définir un même concept, une même idée, celle que le logement va être en mesure de suivre l'évolution des besoins de l'individu tout au long de son cycle de vie. D'une manière plus générale on parle d'une architecture évolutive. Elle naît du fait que l'Homme est un être flexible qui bouge, qui manipule des objets, qui interagit avec l'environnement et qui évolue. L'habitat jusqu'à présent inamovible n'est plus adapté aux besoins actuels. En tant qu'architecte, nous devons désormais prendre en compte tout un ensemble de préoccupations (environnementale, économique et sociale) à travers une recherche de flexibilité et d'adaptabilité permettant à l'individu de réagir face aux différents changements. Finalement, nous pouvons définir l'architecture évolutive comme « *l'art de concevoir une structure ou un simple bâtiment capable de supporter des modifications ultérieures. Ce concept entretient un lien étroit à la notion de temps et de durabilité et pourrait être associé à d'autres préceptes tels que souplesse, adaptabilité, flexibilité, convertibilité, polyvalence, simplicité...* » (XB Architectes, 2015)

Il est également important de préciser que l'architecture évolutive ne dispose pas de règle précise qui régit sa mise en œuvre, elle diffère selon les cas et dépend du contexte dans lequel elle va être mise en œuvre. On peut toutefois distinguer trois grandes familles :

1. Évolution formelle – L'extension

Cette première famille de l'architecture évolutive va conserver le bâti existant, l'évolution va avoir lieu à l'extérieur du volume existant en mettant en place une extension qui va faire l'objet d'une conception à part entière. On appelle cela l'architecture évolutive externe.

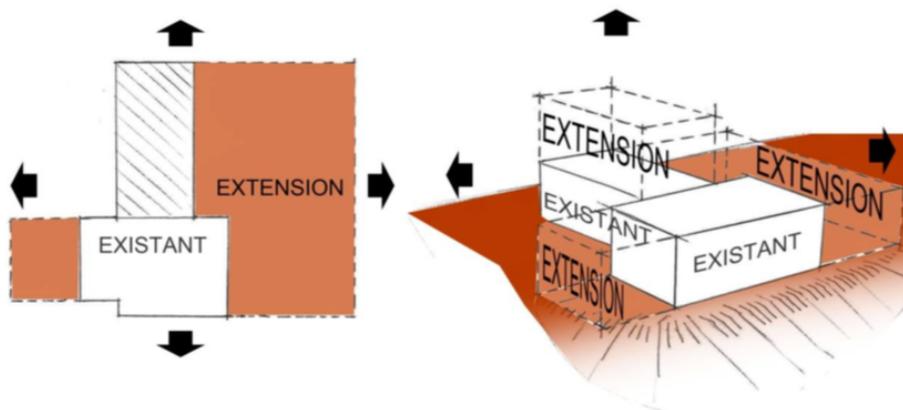


Figure 27 Évolution externe, l'extension - (XB Architectes, 2015)

2. Évolution d'usage – La transformation

Cette deuxième famille de l'architecture évolutive va cette fois-ci s'intéresser uniquement au volume existant. En général, on s'intéresse uniquement à faire évoluer la partie interne du bâti, c'est donc au sein de l'enveloppe intérieure que les modifications et évolutions vont prendre place. On appelle cela l'architecture évolutive interne

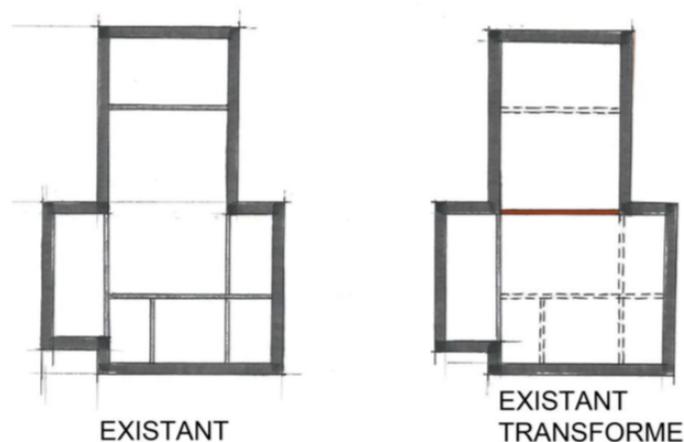


Figure 28 Évolution interne – (XB Architectes, 2015)

3. Architecture évolutive interne et externe

Nous concernant, nous nous focaliserons sur l'architecture évolutive interne. En effet, dans le cadre de ce présent travail de fin d'étude nous ne modifierons pas la volumétrie extérieure du bâtiment. Désormais, nous allons présenter quelques projets centrés au cœur de cette problématique qui permettent de répondre aux nouveaux besoins de l'individu en s'adaptant à l'évolution des modes de vie.

Nous allons désormais présenter quelques projets intéressants qui ont mis en place une modularité des espaces habités.

2.5.1. Batipin Flat – Studio Wok Architects

Ce projet qui a vu le jour en 2015 à Milan a été conçu par l'équipe de Studio Wok Architects. Il consiste en la création d'un logement multifonctionnel dans une surface réduite de 28 m². L'objectif est simple : condenser la vie d'un grand appartement dans l'espace d'un petit studio. Pour réussir ce défi de taille, les architectes ont décidé de créer un espace principal donnant sur une grande fenêtre permettant d'accéder à une terrasse qui va élargir la perception de l'espace intérieur.



Cet espace de vie principale est composé de deux murs "actifs" qui permettent de dissimuler tous les meubles fixes, le lit pliant, les portes coulissantes de la salle de bain et de la cuisine, une armoire et l'espace pour l'unité de climatisation. Cette optimisation de l'espace et ce mobilier intégré offre une grande flexibilité permettant de changer l'apparence de l'habitation aux différentes heures de la journée en fonction de l'utilisation souhaitée et des besoins. Ce premier projet est un parfait exemple de l'optimisation et flexibilité qu'il est possible de mettre en œuvre dans un espace réduit, que l'on retrouve couramment dans les villes dû notamment au manque d'espace mais également à cause de l'inflation des prix.



L'ensemble des photos et informations proviennent du site internet suivant : studiowok.com



Figure 29 Évolution de l'habitat au cours d'une même journée en fonction des besoins - Source : Studio Wok Architects (2015)

2.5.2. All I Own House – PKMN Architecture

Ce projet qui a vu le jour en 2014 à Madrid a été conçu par l'équipe de PKMN Architecture. A l'instar du projet précédent les architectes ont dû composer avec une surface très réduite. On retrouve deux espaces, un espace vie de 23 m² et un espace modulable de 15 m² qui permet de regrouper l'ensemble des fonctions. Le travail des architectes se base sur les notions d'adaptabilité et d'appropriation de l'espace, PKMN déclare : « All I Own House est un projet qui matérialise l'intérieur d'une maison à travers les effets personnels de son habitant ».

Pour réaliser leur projet, les architectes ont mis en place un appartement entièrement modulable. Ils se sont inspirés des systèmes et mobiliers que l'on peut retrouver dans de nombreuses bibliothèques en créant des murs entièrement modulables montés sur des rails permettant de les déplacer aisément selon les convenances. Ce système ingénieux comprend du mobilier intégré sur-mesure permettant de transformer le logement en à peu près toutes les pièces que l'on pourrait retrouver dans un grand appartement : Studio, chambre à coucher, salle de bain, bureau, cuisine, bibliothèque. Tous les éléments sont amovibles mis à part les appareils et la tuyauterie qui sont fixes pour des raisons techniques évidentes. Ce procédé permet à l'utilisateur d'adapter aisément les espaces en fonction de ses besoins. Ce type d'habitation fonctionnel, compact et flexible permet aux utilisateurs de faire évoluer le logement tout au long de la journée selon les convenances. L'ensemble des photos et informations proviennent du site internet suivant : archdaily.com





Figure 30 Évolution du logement selon les besoins – (PKMN Architecture, 2014)

2.5.3. Le logement en question – Maxime Parin Architecte

Ce projet issu du concours « Le logement en question » a été réalisé par l'architecte Maxime Parin. Il n'a pas abouti et est resté au stade d'avant-projet mais on y retrouve divers éléments extrêmement intéressants. Il a tout d'abord décidé de travailler avec un pan libre, qui est un des cinq points de l'architecture moderne selon Le Corbusier (1926). Ce genre de plan permet de travailler les espaces avec des cloisons légères qui permettent une liberté totale dans la composition des espaces.

Le système structurel utilisé est de type poteau-poutre accueillant d'un côté une coursive permettant de desservir les appartements et de l'autre côté des jardins privatifs. L'aménagement intérieur est donc totalement libre et facilement modifiable. Cela permet au bâtiment d'évoluer selon les besoins en ajoutant ou supprimant les cloisons légères qui permettent de délimiter les espaces.

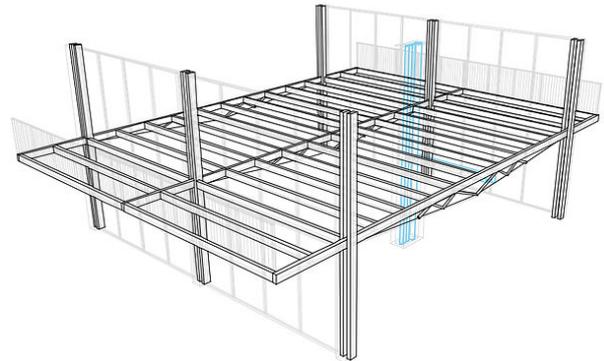


Figure 31 Système structurel utilisé – (Maxime Parrin Architecte, 2018)

Le projet offre la possibilité aux habitants de définir leurs besoins selon leur mode de vie, ainsi à partir d'une étude très poussée auprès des clients l'architecte a pu créer des plans adaptés à leurs envies et besoins. On remarque donc qu'à partir d'une même surface au sol, nous obtenons une composition d'aménagement très différente selon les modes de vie des clients.

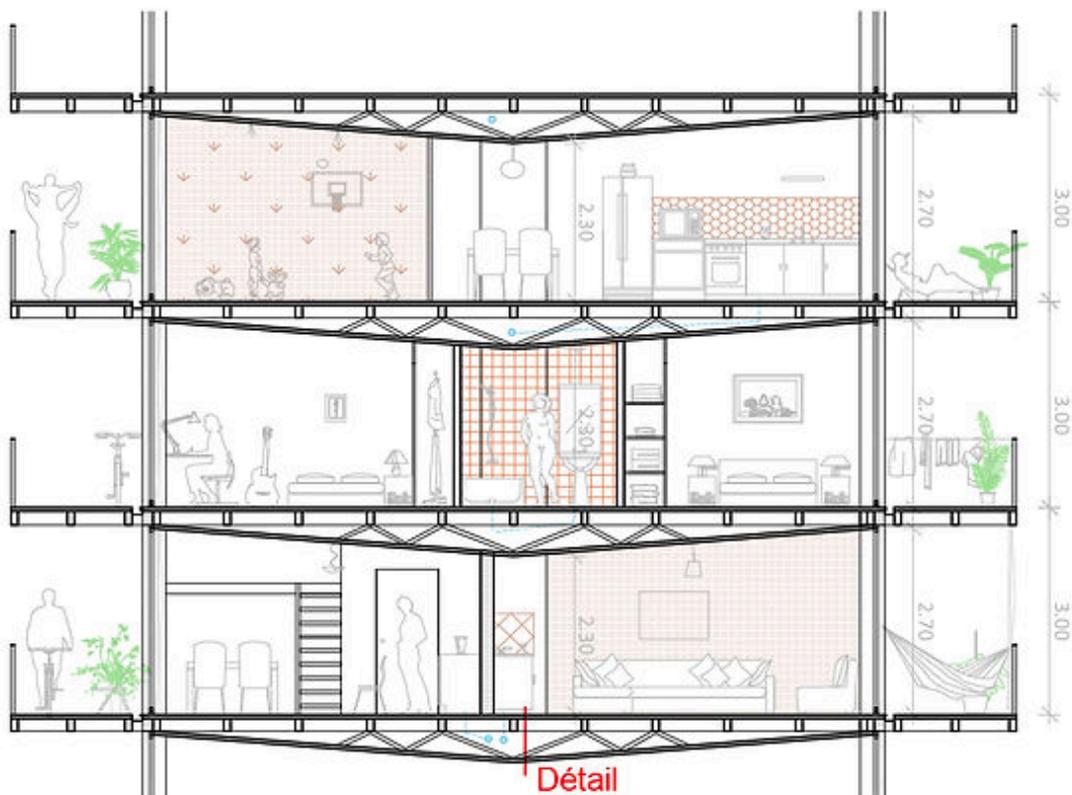
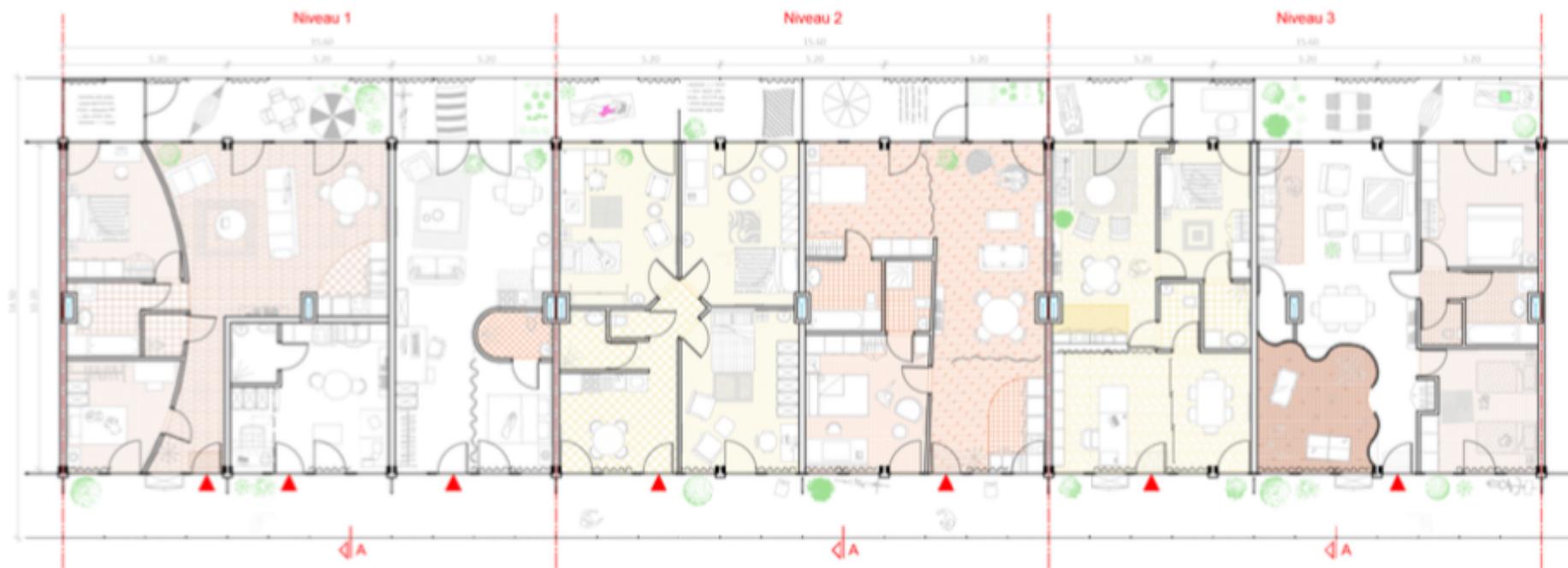


Figure 32 Coupe technique – (Maxime Parrin Architecte, 2018)



Indépendance

Une famille coccupe un grand appartement. L'ainé des enfants entamant ses études, la famille a décidé de lui aménager un studio indépendant.

Minimalisme

Un jeune homme célibataire a opté pour la plus grande surface possible à moindre frais. A part la salle de bain, le volume ne comporte ni cloisonnement, ni revêtement particulier.

Groupement

L'appartement est destiné à une collocation pour étudiants ou jeunes travailleurs désirants se grouper pour diminuer leur loyer.

Intergénérationnel

Une personne âgée seule a choisi d'aménager son logement pour pouvoir y accueillir une jeune personne, pouvant lui apporter un peu d'aide et de compagnie.

Travail à domicile

Une jeune femme en couple, exerçant une activité indépendante a choisi de consacrer une partie de son logement à son lieu de travail pour diminuer ses charges.

Jeux

Dans la famille, il a été décidé de grouper les deux enfants dans une chambre, pour en contrepartie, pouvoir leur offrir une véritable salle de jeu.

Figure 33 Des compositions d'aménagement différentes adaptées aux modes de vie – (Maxime Parrin Architecte, 2018)

2.6. L'Analyse du cycle de vie (ACV)

Pour terminer cet état de l'art, nous allons présenter l'outil d'évaluation principal que nous allons utiliser dans ce travail de fin d'études, à savoir, l'analyse du cycle de vie. Dans un premier temps nous définirons ce que l'on entend par analyse du cycle de vie puis nous présenterons la méthodologie générale pour finalement aborder les limites de l'outil.

2.6.1. Définition

L'analyse du cycle de vie plus communément appelée ACV est une méthode d'ingénierie initialement développée pour le secteur de l'industrie qui permet de déterminer les impacts environnementaux d'un produit ou système tout au long de son cycle de vie. (Allacker, 2010). Elle est par ailleurs, d'après la norme ISO 14044, défini comme « *un processus de compilation et de quantification des flux de matière et d'énergie, entrant et sortant du système considéré, et des impacts environnementaux potentiels qui y sont associés, tout au long du cycle de vie* » (ISO 14040 :2006) On entend par impact environnemental toute conséquence ou effet que peut avoir un produit, un système ou encore une activité sur l'environnement naturel, la santé humaine et l'épuisement des ressources naturelles. (Simonen, 2014)

La méthode aujourd'hui très démocratisée est régie par plusieurs normes :

- ISO 14040 (ISO, 2006a)
- ISO 14044 (ISO, 2006b)

Ces deux premières normes internationales permettent de décrire de manière générale la méthode ACV. En 2010, l'Union Européenne ajoute également sa contribution en publiant un guide pratique pour l'ACV (International Reference Life Cycle Data System Handbook) qui permet de compléter les deux normes ISO. Enfin, deux nouvelles normes Européennes spécifiques à l'application de la méthode ACV au bâtiment ont vu le jour en 2011 et 2012 :

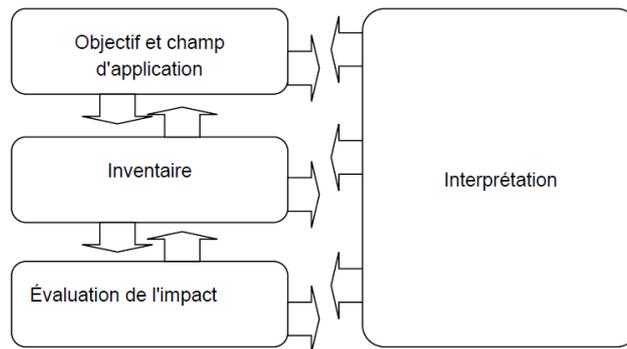
- EN 15978
- EN 15804

Il est important de préciser que la méthode ACV ne permet de déterminer les impacts réels mais d'étudier les impacts potentiels. Ainsi, les résultats issus de l'ACV sont à prendre avec du recul et doivent servir de support en vue d'améliorer les performances énergétiques du système étudié. (Allacker, 2010) à noter également que la méthode ACV, est, à l'heure actuelle l'outil d'évaluation multicritères le plus abouti en vue d'étudier les impacts environnementaux d'un bâtiment. (Reiter, 2010)

2.6.2. Méthodologie

Nous allons désormais décrire la méthodologie à suivre afin de réaliser une ACV. Comme énoncé précédemment, deux normes internationales ISO 14040 (ISO, 2006a) et ISO 14044 (ISO, 2006b) décrivent la démarche à suivre. On y retrouve entre-autres les quatre étapes principales à suivre en vue de réaliser une analyse du cycle de vie :

- L'objectif et le champ d'application
- L'analyse de l'inventaire (LCI)
- L'évaluation des impacts (LCIA)
- L'interprétation des résultats



2.6.2.1. Objectif et champ d'application

Cette première étape primordiale permet de définir le but et les objectifs de l'étude. On y retrouve également la description du champ d'étude, le choix de l'unité fonctionnelle, les flux de références et les frontières du système. Dans le cas d'une ACV réalisée pour une construction neuve, le champ d'étude est défini par les normes EN 15978 et EN 15804. On y retrouve 4 modules à savoir :

- Module A : Phase de production (A1, A2 et A3) et de construction (A4 et A5)
- Module B : Phase d'utilisation (B1, B2, B3, B4 et B5)
- Module C : Phase de fin de vie (C1, C2, C3 et C4)
- Module D : Phase de recyclage, réutilisation et récupération

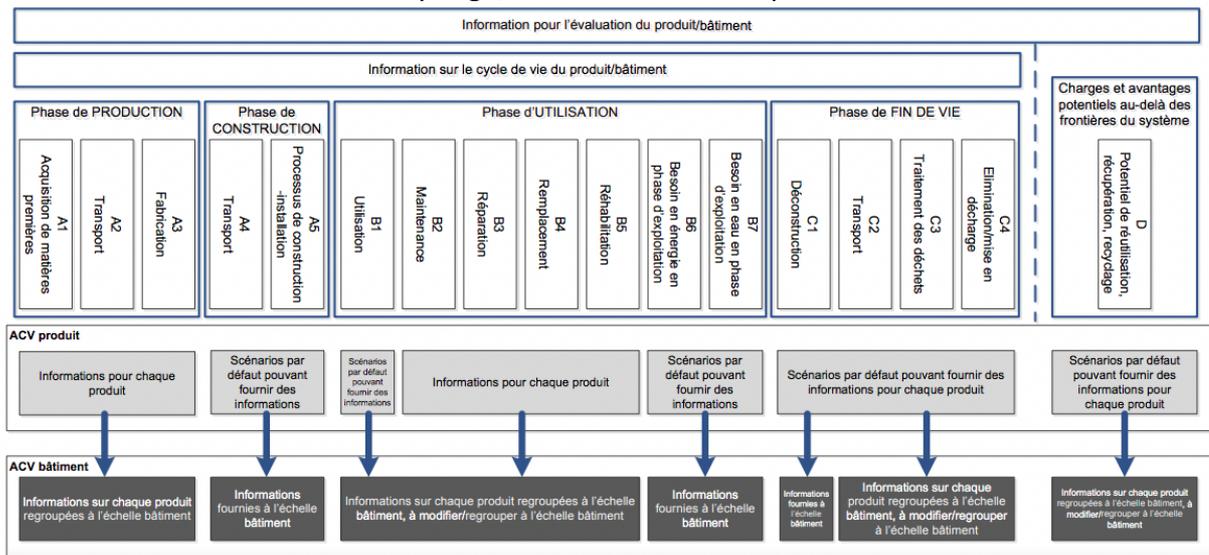


Figure 34 H. Gervasio, P. Santos, L-S. da Silva et al., "Large valorisation on sustainability of steel structures", 2014

2.6.2.2. *L'inventaire du cycle de vie (LCI)*

C'est au niveau de cette étape que l'on récolte l'ensemble des données des flux entrants et sortants. Il s'agit donc de récolter de manière exhaustive l'ensemble des émissions et consommations pour chacune des étapes du cycle de vie. (Reiter, 2010) Pour nous aider dans notre démarche plusieurs base de données approuvées par la communauté scientifique sont à notre disposition tel que [Ecoinvent](#). (Reiter, 2010) Dans notre cas, nous allons nous servir de cette base de données qui permet d'obtenir l'inventaire d'émissions et de ressources sur plus de 4000 produits, services et processus industriels. D'après Verbeeck et Hens (2010), Ecoinvent est la base de données la plus fréquemment mis à jour et la plus complète d'Europe occidentale.

2.6.2.3. *L'évaluation des Impacts (LCIA)*

C'est au niveau de cette troisième étape que l'on évalue les impacts environnementaux. Concrètement, les émissions sont converties en impacts sur l'environnement et la santé d'un produit, d'un service ou d'un système. (Reiter, 2010) La norme EN 15978 recommande d'utiliser les 7 indicateurs environnementaux suivant afin d'étudier l'impact de notre bâtiment sur la santé et l'environnement.

| Indicateur | Unité |
|--|--|
| Potentiel de réchauffement global, GWP | kg d'équiv. CO ₂ |
| Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique, ODP | kg d'équiv. CFC 11 |
| Potentiel d'acidification des sols et de l'eau, PA | kg d'équiv. SO ₂ ⁻ |
| Potentiel d'eutrophisation, PE | kg d'équiv. (PO ₄) ³⁻ |
| Potentiel de formation d'ozone troposphérique, POCP | kg d'équiv. éthène |
| Potentiel d'épuisement pour les ressources abiotiques non fossiles ; (ADP-éléments) | kg d'équiv. Sb |
| Potentiel d'épuisement pour les ressources abiotiques fossiles (ADP-combustibles fossiles) | MJ |

Pour plus d'information sur les indicateurs environnementaux, nous vous invitons à vous référer au document « *Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures, Background Document.* » (Gervasio et al., 2014).

2.6.2.4. *L'interprétation des résultats*

Cette dernière étape permet d'observer si les objectifs et les ambitions du champ d'étude sont atteints. D'après les normes ISO 14040 (2006a) et ISO 14044 (2006b), la phase d'interprétation comprend trois étapes :

- L'identification des points significatifs
- L'évaluation
- Les recommandations, les conclusions et le rapport d'analyse

2.6.3. Les limites de la méthode

La méthode ACV appliquée au bâtiment est complexe et demande une extrême rigueur. La principale limite concerne la comparabilité et la reproductibilité de l'étude. (Vilches et al., 2017) Cela s'explique par le choix de l'unité fonctionnelle qui régit l'ensemble de l'étude et conditionne les possibilités de comparaison. Or, dans le contexte du bâtiment, le choix de l'unité fonctionnelle est complexe car chaque bâtiment est unique. Par exemple, un même bâtiment, étudié dans un contexte géographique différent présentera des résultats contradictoires. L'étude de Cuéllar-Franca et Azapagic (2012) montre que pour une ACV réalisée sur un même bâtiment le choix d'une unité fonctionnelle différente va avoir pour effet de présenter des résultats qui varient significativement.

La deuxième grande limite de la méthode ACV correspond aux hypothèses que l'on réalise. En effet, lors d'une étude ACV il existe de nombreuses incertitudes et hypothèses qui peuvent grandement influencer sur les résultats de l'étude. On peut par exemple citer le choix de la base de données, les hypothèses réalisés sur le transport des matériaux ou encore les distances avec le chantier, la durée de vie considérée etc. (Vuarnoz et al., 2020)

Pour finir, les résultats de l'ACV sont exprimés à une échelle très macroscopique (à l'échelle de la planète) de façon globalisée négligeant ainsi l'aspect local et micro de l'étude. Or, nous savons que dans le cas d'un bâtiment le contexte local peut être très impactant (pollution local, transport, accès à l'eau et à l'électricité etc.) (Buyle et al., 2013)

Finalement la méthode de l'ACV permet d'observer à une échelle macroscopique les impacts environnementaux. Il convient également de rappeler qu'une telle méthode ne permet pas de déterminer les impacts environnementaux réels mais bien les impacts environnementaux potentiels. Cela nous apprend donc que la méthode peut et doit servir d'aide à la prise de décision. L'outil est certes complexe et demande une certaine rigueur mais il permet d'obtenir des résultats qui peuvent aisément remettre en question le choix de tel ou tel composant. Nous pouvons donc en conclure que l'ACV est un outil très puissant qui doit être utilisé et analysé en étant conscient des limites de l'étude.

2.7. Conclusions

Cet état de l'art basé sur des littératures scientifiques nous a permis d'étoffer nos connaissances sur les trois principaux axes de ce travail de fin d'études à savoir :

- Les modes de vie
- L'habitat flexible et modulable
- L'analyse du cycle de vie

La première partie consacrée aux modes de vie nous a permis de présenter l'évolution du concept des modes de vie dans les grands courants de pensée sociologique du 20^{ème} et 21^{ème} siècle. Cette première approche historique nous a permis de présenter la définition des modes de vie retenue dans le cadre de ce travail. Nous avons également pu aborder l'aspect multifactoriel des modes de vie pour finalement présenter l'évolution des modes de vie moderne qui se tournent désormais vers l'énergie et l'environnement.

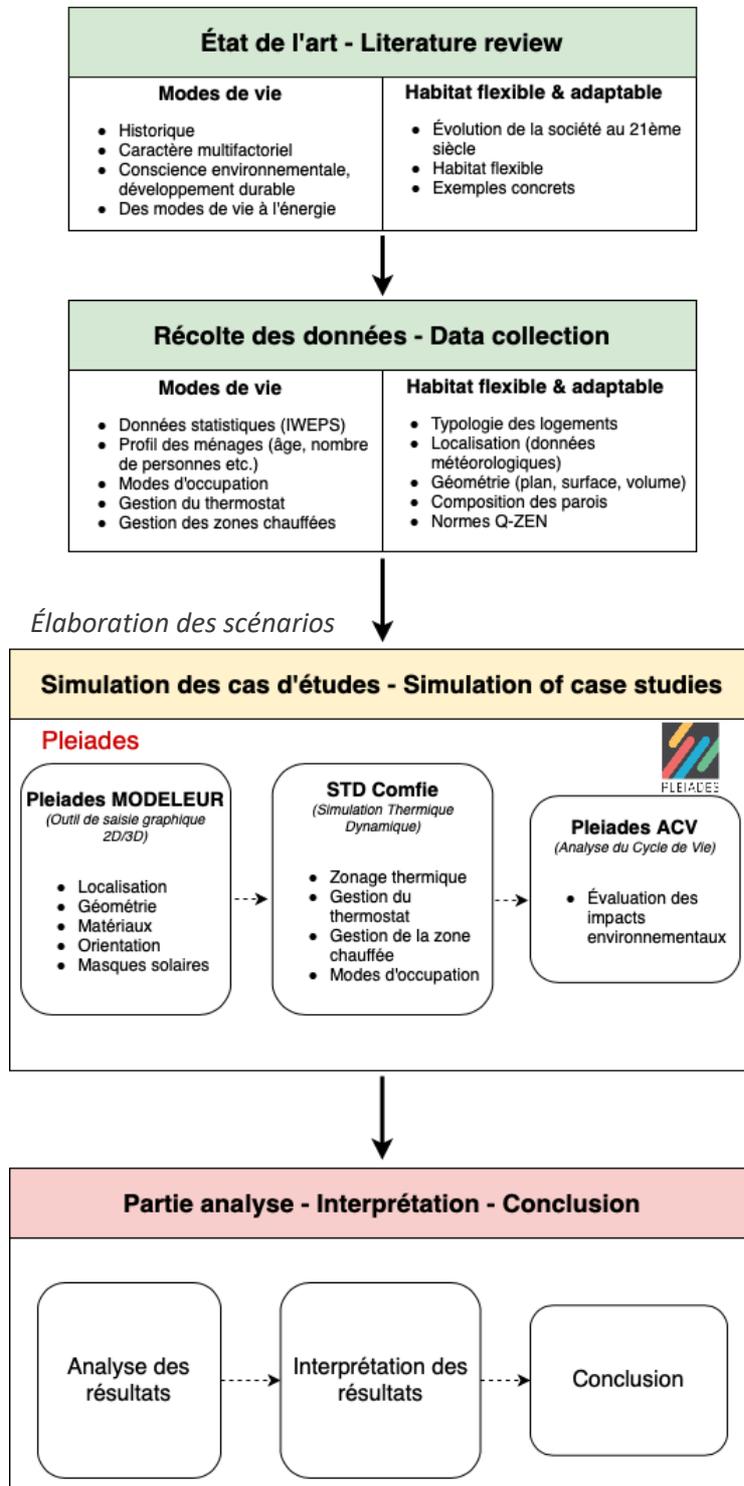
La seconde partie consacrée cette fois-ci à la question du logement et de l'habitat nous a permis de présenter une nouvelle typologie d'habitation dit logement flexible et modulable. Pour ce faire, nous vous avons présenté plusieurs projets réels dans lesquelles les concepteurs ont su créer des logements capables de répondre aux besoins des utilisateurs leur permettant de suivre l'évolution de leurs modes de vie.

Finalement, la troisième relative à l'analyse du cycle de vie nous a permis de vous présenter les principaux éléments à connaître en vue de réaliser une ACV. Nous avons ainsi pu donner une définition, présenter les normes, présenter la méthodologie appliquée au cas d'un bâtiment et enfin aborder les limites de la méthode.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter la méthodologie retenue en vue de répondre à la question de recherche suivante : « Quel est l'impact des modes de vie sur l'analyse du cycle de vie d'un logement unifamilial ? ». Nous présenterons la méthodologie générale puis nous aborderons les différents choix méthodologiques de notre travail de fin d'études.

Chapitre 3 : Méthodologie et choix méthodologiques

Dans cette partie, nous mettrons en évidence la méthodologie mise en œuvre dans ce travail de fin d'études.



Pour commencer, nous avons, à travers un premier travail de recherche, pu élaborer un état de l'art. Cette première étape, primordiale, nous a permis de prendre connaissance des différents travaux de recherche et articles scientifique se référant aux mots clés suivants : modes de vie, habitat flexible/modulable et Analyse du Cycle de Vie.

Dans un second temps, nous avons réalisé ce que l'on appelle une « récolte des données » (data collection) permettant de justifier les scénarios retenus ainsi que le bâtiment étudié.

Une fois le bâtiment connu et les scénarios définis, nous les avons encodés dans un logiciel spécialisé dans les Simulations Thermiques Dynamique (STD) et les Analyses du Cycle de Vie (ACV). Le but étant, à partir d'un même bâtiment, de réaliser une STD qui a dans un premier temps servi à analyser et comparer les consommations énergétiques des scénarios étudiés. Dans un second temps, la STD nous a permis de sélectionner et finalement retenir trois scénarios (cas de référence, cas le plus défavorable, cas le plus favorable) que l'on analysera et comparera à travers une ACV.

Figure 35 Méthodologie générale du présent TFE

3.1. Choix du bâtiment étudié

Dans une volonté de réaliser une étude réaliste nous nous sommes référés à l’office belge de statistique (<https://statbel.fgov.be/fr>). Ce site nous donne accès à une multitude de données statistiques qui nous ont permis de déterminer la typologie ainsi que la taille du bâtiment à étudier.

3.1.1. Typologie du bâtiment

La *Figure 37*, met en évidence les différentes typologies de logement en Belgique. Dans notre cas, nous étudierons une maison de type ouverte, autrement dit, **une maison quatre façades** qui d’après les données statistiques est la typologie de bâtiment la plus représentative en Belgique.

| Caractéristiques | Année | 2020 | | | |
|--|------------------|-----------------------|----------------------------|--|---------------------------------------|
| | Type de bâtiment | Maisons de type fermé | Maisons de type demi-fermé | Maisons de type ouvert, fermes, châteaux | Buildings et immeubles à appartements |
| | | ↕ Nombre | ↕ Nombre | ↕ Nombre | ↕ Nombre |
| Nombre de bâtiments | | 1.179.416 | 979.945 | 1.417.715 | 218.293 |
| Nombre de bâtiments érigés après 1981 | | 113.726 | 222.855 | 595.277 | 77.023 |
| Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol inférieure à 45 m² | | 60.884 | 14.935 | 3.249 | . |
| Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol de 45 à 64 m² | | 253.479 | 74.813 | 9.540 | . |
| Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol de 65 à 104 m² | | 586.597 | 367.940 | 163.979 | . |
| Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol supérieure à 104 m² | | 278.456 | 522.257 | 1.240.947 | . |
| Nombre de bâtiments équipés de chauffage central ou de conditionnement d'air | | 637.654 | 681.493 | 1.212.540 | 195.917 |
| Nombre de bâtiments comportant au moins une salle de bains | | 898.489 | 852.407 | 1.326.424 | 204.803 |
| Nombre de logements | | 1.339.344 | 999.521 | 1.433.898 | 1.498.002 |

Source: Statbel (Direction générale Statistique - Statistics Belgium)

Figure 37 Typologie des logements de Belgique en 2021 - (Statbel, 2021)

3.1.2. Taille du bâtiment

La *Figure 38*, met en évidence les superficies bâties au sol en fonction des régions et des typologies de logement. On constate que les bâtiments ayant une superficie bâtie au sol supérieure à 104 sont les plus représentés en Belgique. Cependant, pour notre étude, nous avons décidé d'étudier un **bâtiment ayant une superficie bâtie au sol comprise entre 65 et 104** (deuxième cas le plus représentatif) pour deux raisons. (statbel.be)

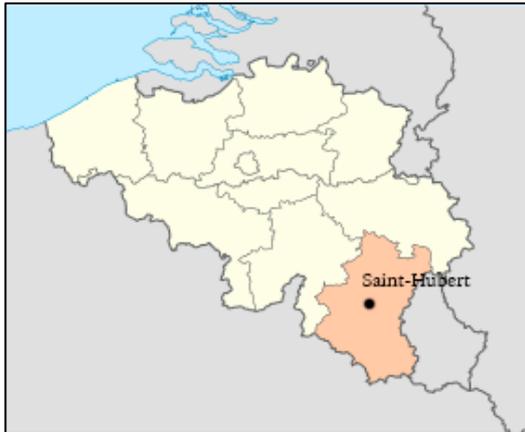
1. La taille des ménages ainsi que la taille des logements tendent à diminuer.
2. Le logement ayant une superficie bâtie au sol comprise entre 65 et 104 est plus adapté aux scénarios étudiés

| Caractéristiques | Belgique | Région | Année | 2020 | | |
|---|----------|------------------------------|------------------|-----------------------|----------------------------|--|
| | | | Type de bâtiment | Maisons de type fermé | Maisons de type demi-fermé | Maisons de type ouvert, fermes, châteaux |
| | | | Nombre | Nombre | Nombre | |
| Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol inférieure à 45 m ² | | Région flamande | 25.496 | 4.174 | 1.551 | |
| | | Région de Bruxelles-Capitale | 5.271 | 510 | 34 | |
| | | Région wallonne | 30.117 | 10.251 | 1.664 | |
| | Belgique | | 60.884 | 14.935 | 3.249 | |
| Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol de 45 à 64 m ² | | Région flamande | 121.209 | 21.866 | 3.224 | |
| | | Région de Bruxelles-Capitale | 29.929 | 4.147 | 89 | |
| | | Région wallonne | 102.341 | 48.800 | 6.227 | |
| | Belgique | | 253.479 | 74.813 | 9.540 | |
| Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol de 65 à 104 m ² | | Région flamande | 340.559 | 216.182 | 65.911 | |
| | | Région de Bruxelles-Capitale | 54.521 | 7.528 | 940 | |
| | | Région wallonne | 191.517 | 144.230 | 97.128 | |
| | Belgique | | 586.597 | 367.940 | 163.979 | |
| Nombre de bâtiments ayant une superficie bâtie au sol supérieure à 104 m ² | | Région flamande | 166.009 | 349.782 | 830.826 | |
| | | Région de Bruxelles-Capitale | 16.032 | 3.389 | 4.748 | |
| | | Région wallonne | 96.415 | 169.086 | 405.373 | |
| | Belgique | | 278.456 | 522.257 | 1.240.947 | |

Source: Statbel (Direction générale Statistique - Statistics Belgium)

Figure 38 Superficies bâties au sol en fonction des régions et des typologies de logement en 2021 - (Statbel, 2021)

3.1.3. Localisation du bâtiment



Dans une volonté de réaliser une étude réaliste nous avons dû positionner géographiquement notre bâtiment. Dans notre cas, nous avons décidé d’implanter notre bâtiment au sein de la ville de Saint-Hubert qui appartient à la province du Luxembourg située en Région Wallonne. Le choix de Saint-Hubert se justifie par le fait que la ville possède une station météo qui va nous permettre d’avoir accès à des données météorologiques indispensables à la Simulation Thermique Dynamique et à l’Analyse du Cycle de vie.

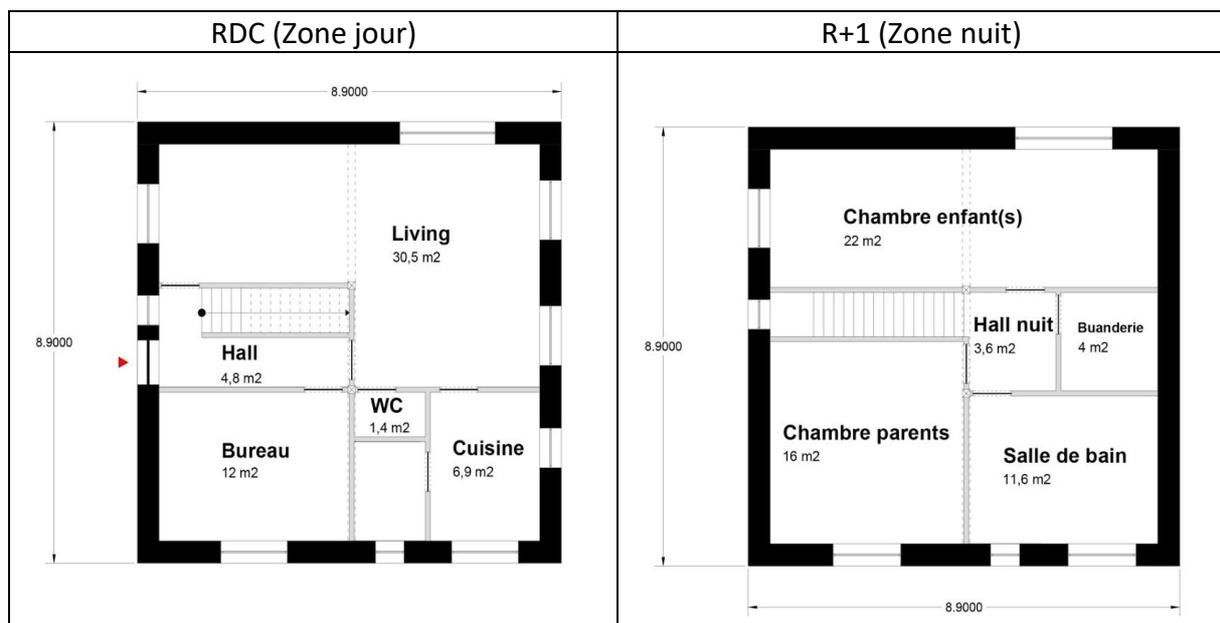
Figure 39 Localisation géographique du logement étudié

3.1.4. Plans du bâtiment

La typologie, la taille ainsi que la position géographique du bâtiment connue, nous pouvons désormais présenter les plans du bâtiment étudié. Il faut bien comprendre que dans notre cas, nous avons décidé de créer nous-mêmes les plans. Cela se justifie pour deux raisons. La première étant que les plans créés par nos soins permettent de s’adapter aux différents scénarios considérés. La deuxième raison est que notre étude a pour volonté d’étudier un logement flexible qui à travers des cloisons modulables permet aux occupants de faire varier la taille du logement en fonction de l’évolution de leurs modes de vie et besoins.

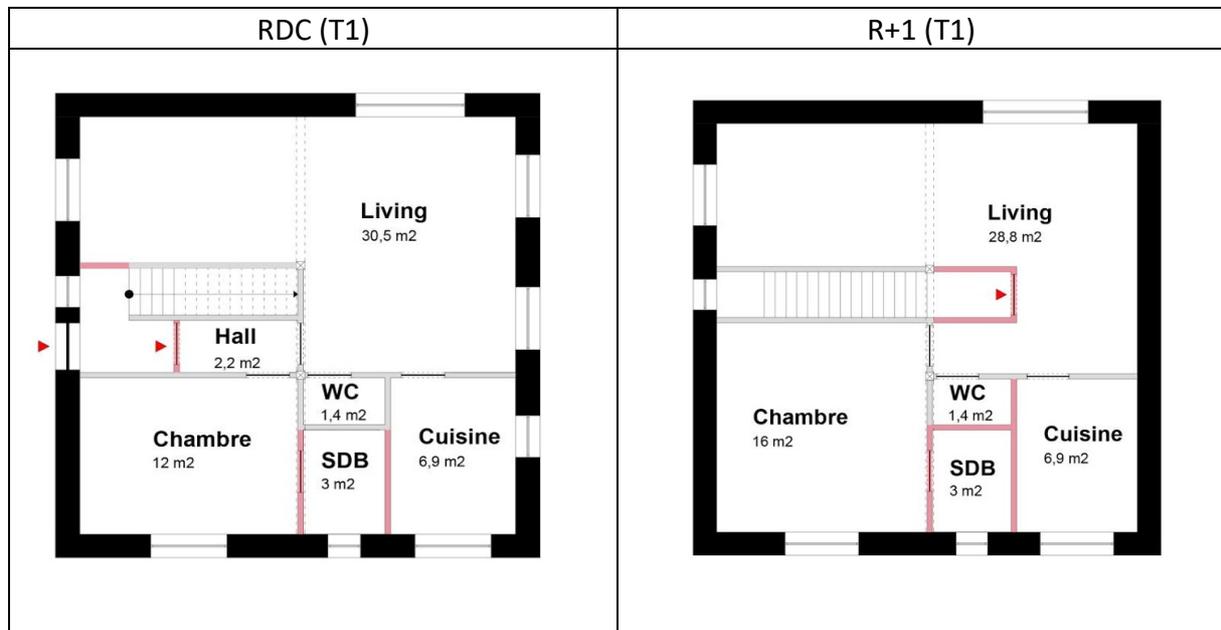
3.1.4.1. Modalité d’habitation 1 (Utilisation de l’ensemble du bâtiment)

La première modalité d’habitation proposée est celle où l’on utilise l’entièreté du logement pour une seule et même famille. Nous sommes ici en présence d’un T3 d’une superficie de 128

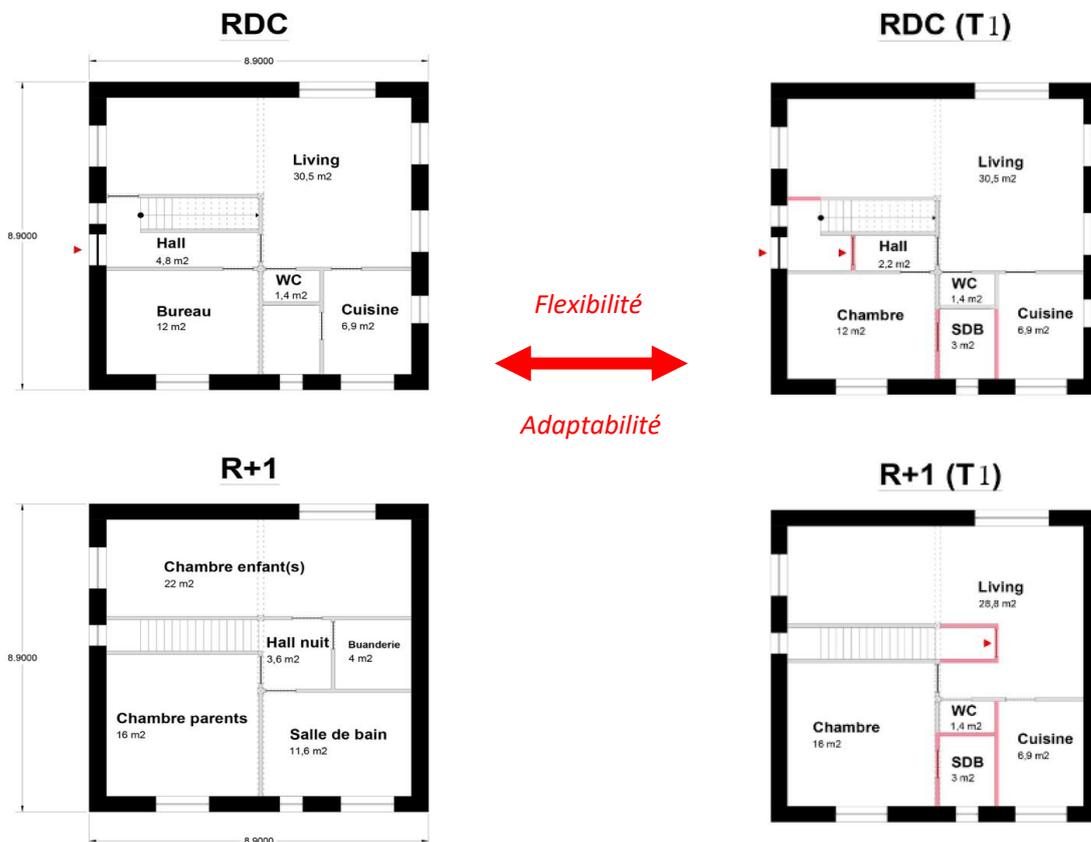


3.1.4.2. Modalité d'habitation 2 (Création de deux logements)

La deuxième modalité d'habitation proposée est celle où l'on décompose le bâtiment en deux logements de type T1. Dans ce cas de figure, le RDC et le R+1 sont transformés en T1. Cela se réalisera par l'intermédiaire de cloisons modulables mises en évidence en rouge. Nous sommes ici en présence de deux T1 de 64 .



Ce logement adaptable et flexible permet d'évoluer en fonction des modes de vie.



3.2. Choix des paramètres étudiés et élaboration des scénarios

Dans cette présente partie, nous allons commencer par présenter les paramètres étudiés puis nous présenterons les scénarios qui en découlent.

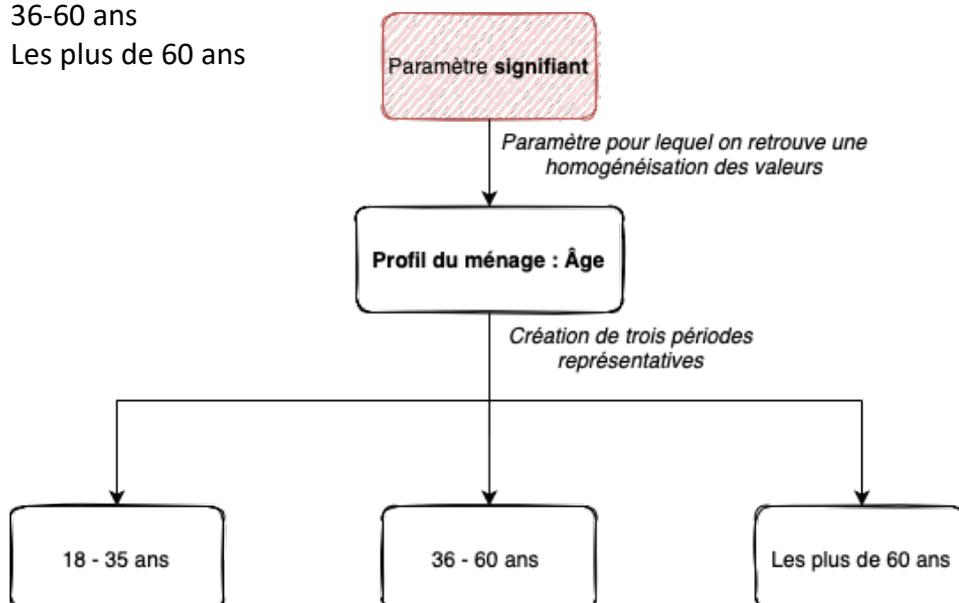
L'état de l'art a mis en évidence que les modes de vie avaient une influence sur les consommations énergétiques au sein d'un logement unifamilial. Nous allons ainsi chercher à déterminer l'influence de plusieurs paramètres à savoir :

- Le profil des ménages (âge, nombre de personnes)
- Les modalités d'habitation
- La gestion de la température de chauffage
- La gestion des zones chauffées
- Les modes d'occupation.

Le choix de ces paramètres provient de deux travaux présentés dans l'état de l'art à savoir le projet ENERGIHAB ainsi que l'article scientifique « *Impacts of occupant behaviors on residential heating consumption for detached houses in a temperate climate in the northern part of Europe* » issu du livre ENERGY AND BUILDINGS. Il faut avoir conscience que l'accessibilité aux données était un véritable dilemme tout au long de cette étude. En effet, la plupart des paramètres relatifs aux modes de vie font référence à l'individu et à son caractère « privé », cela signifie qu'à l'heure actuelle il existe très peu d'études ou données nous permettant d'avoir accès à ces informations. Nous avons donc décidé dans le cadre de notre étude de nous référer à des travaux récents et approuvés par la communauté scientifique.

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés aux valeurs relatives aux paramètres à étudier. D'après le projet ENERGIHAB, nous savons que le paramètre « profil des ménages » et en particulier l'âge des individus est un paramètre dit « signifiant » cela s'explique par le fait que l'on retrouve une certaine homogénéité des valeurs attribuées aux différents paramètres à partir de l'âge des individus. Dans notre cas, nous avons décidé de décomposer notre étude en trois périodes types basées sur l'âge des individus, à savoir :

- Les 18-35 ans
- 36-60 ans
- Les plus de 60 ans



Ce premier découpage basé sur l'âge nous permet finalement de créer trois « catégories ».

Nous avons fait ce choix pour plusieurs raisons :

- La valeur des paramètres diffère selon le profil des ménages, par exemple, un jeune homme de 30 ans aura tendance à privilégier une température plus faible qu'une personne âgée.
- Comparer ce qui est comparable
- Déterminer un scénario optimal et un scénario minimal d'un point de vue de la consommation énergétique pour chacune des périodes
-

Finalement, cela nous permet également de suivre l'évolution « classique » d'une famille Belge à savoir :

- Moins de 35 ans, couple actif composé de deux personnes
- 36-60 ans, couple actif avec deux enfants
- Plus de 60 ans, couple de retraité



Figure 40 Évolution du profil de la famille

3.2.1. Période 1 : Les 18-35 ans

Nous allons désormais présenter la première période correspondant à la tranche d'âge des 18-35 ans. Dans notre cas, nous supposons ici que nous sommes en présence d'un jeune couple actif qui vient de faire construire leur nouvelle maison pour y fonder leur famille.

3.2.1.1. Les modalités d'habitation

Le premier paramètre correspond aux modalités d'habitation, dans cette catégorie nous allons considérer deux possibilités, à savoir :

- **Modalité d'habitation 1** : Utilisation de l'entièreté de la maison (128 m²)
- **Modalité d'habitation 2** : Utilisation uniquement du RDC (64 m²)

| Modalité d'habitation 1 (128 m ²) | Modalité d'habitation 2 (64 m ²) |
|---|---|
| Le couple utilise l'entièreté du logement | Le couple décide d'utiliser uniquement le RDC (T1), location d'un T1 au R+1 |
| | |

Cette distinction de deux modalités d'habitation est permise par l'intermédiaire des plans modulables que nous vous avons présenté précédemment. (3.1Plans du bâtiment)

3.2.1.2. *La gestion de la température de chauffage*

Le second paramètre correspond à la gestion de la température de chauffage, dans cette période on distinguera trois programmes de chauffage différents à savoir **T1**, **T2** et **T3**. Il nous semble important de préciser que nous avons fait attention à distinguer les zones jour des zones nuit mais également de distinguer les jours ouvrés des week-ends, en effet, le week-end, la présence des occupants dans le logement est généralement plus importante qu'en semaine, cela signifie que le programme de chauffage doit s'adapter aux utilisateurs.

| | T1 | | T2 | | T3 | |
|-----------------|---|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------------------------|
| | Zone jour | Zone nuit | Zone jour | Zone nuit | Zone jour | Zone nuit |
| <i>Semaine</i> | 19°C de 6h à 8h et de 16h à 23h, sinon 16°C | 18°C de 22h à 7h, sinon 16°C | 20°C de 6h à 23h, sinon 16°C | 19°C de 22h à 7h, sinon 16°C | 21°C | 19°C de 22h à 7h, sinon 16°C |
| <i>Week-end</i> | 19°C de 8h à 23h, sinon 16°C | 18°C de 23h à 10h, sinon 16°C | 20°C de 6h à 23h, sinon 16°C | 19°C de 23h à 10h, sinon 16°C | 21°C | 19°C de 23h à 10h, sinon 16°C |

3.2.1.3. *La gestion des zones chauffées*

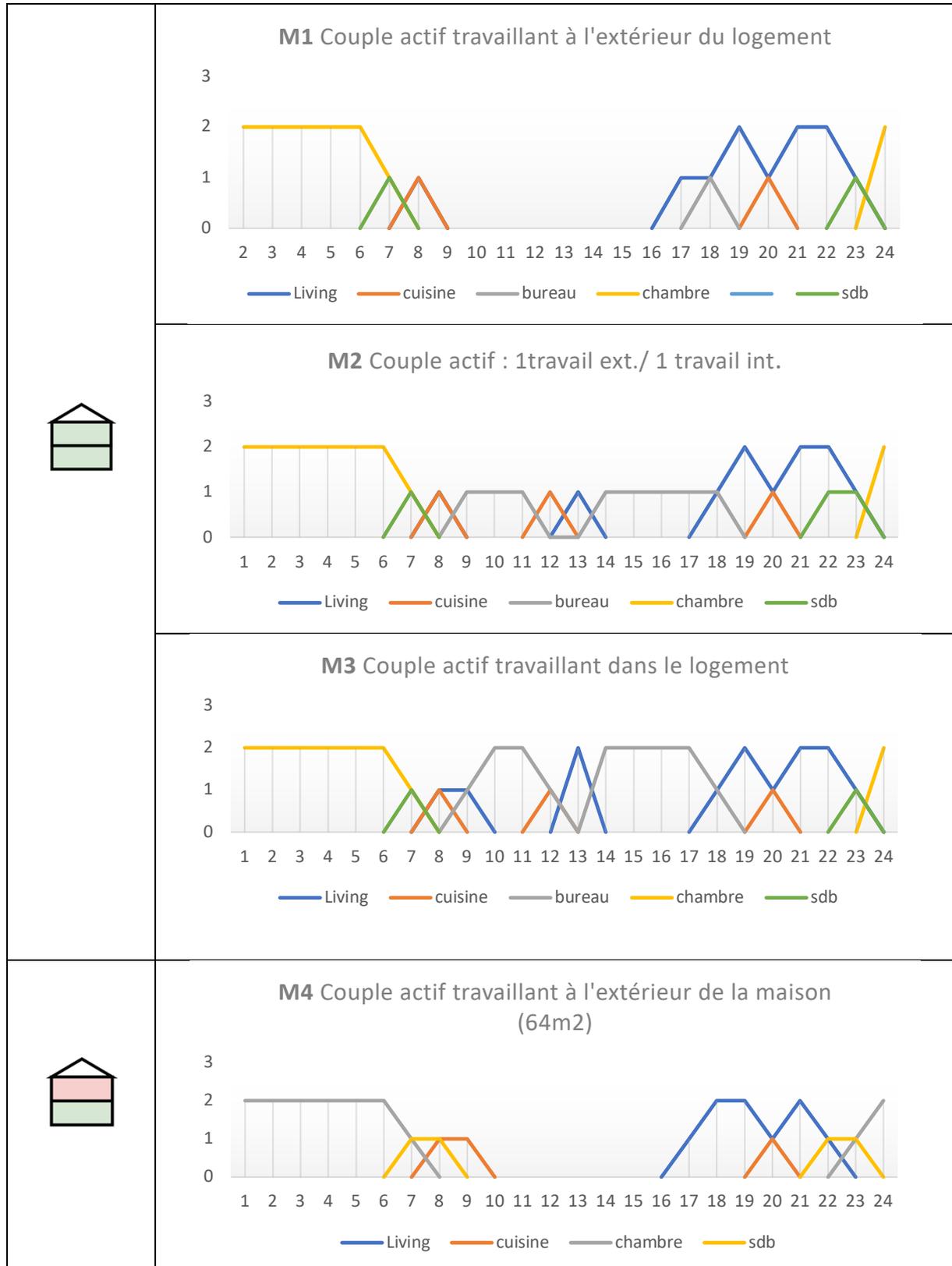
Le troisième paramètre, correspondant à la gestion des zones chauffées, sera dans cette période, négligé. La gestion de la zone chauffée sera identique pour l'ensemble des scénarios. On estime qu'aucune partie du logement est « abandonnée ». On chauffe donc l'entièreté de l'habitation.

3.2.1.4. *Les modes d'occupation*

| M1 | M2 | M3 | M4 |
|--|---|--|---|
| Couple actif travaillant à l'extérieur du logement | Couple actif : une personne travaille à l'extérieur du logement tandis que l'autre travaille dans le logement | Couple actif travaillant à l'intérieur du logement | Couple actif travaillant à l'extérieur du logement |
| |  | |  |

Le quatrième paramètre correspond aux modes d'occupation. On entend par mode d'occupation la présence ou non d'un individu dans une pièce du logement à un moment donné. Ce paramètre est très important car un individu génère des gains internes qui, dans le cas d'une maison passive, sont non négligeables. Pour ce faire, nous avons dû définir des scénarios d'occupation qui sont au nombre de quatre à savoir **M1**, **M2**, **M3** et **M4**. Les trois premiers scénarios d'occupation correspondent à la *Modalité d'habitation 1 (Utilisation de l'ensemble du bâtiment)* tandis que le scénario d'occupation M4 correspond à la *Modalité d'habitation 2 (Création de deux logements)*. Une nouvelle fois, nous avons veillé à distinguer une occupation du logement en semaine et une occupation du logement pendant le week-end.

Vous pouvez retrouver ci-dessous les schémas d'occupation de la maison (nombre de personnes présentes dans la pièce en fonction de l'heure de la journée) pour les quatre modes d'occupation **M1, M2, M3** et **M4**.



3.2.1.5. Les scénarios

Les paramètres désormais connus, nous pouvons présenter les scénarios relatifs à la première période : les 18-35 ans. Finalement, vous pouvez observer que les scénarios étudiés résultent de la combinaison des différents paramètres. Pour cette première période, on distingue **10 scénarios**. Les scénarios M2.T1 et M3.T1 n'ont pas été étudiés car au moins une personne reste à la maison dans ces deux scénarios. Ainsi, la gestion de température T1 n'est pas adéquate à ces deux scénarios.

Le scénario de référence retenu pour cette période est le cas **M1.T2** (en rouge) à savoir : Couple actif occupant l'entièreté du logement (128) qui travaille à l'extérieur de l'habitation (M1) et chauffe la maison à 20 °C entre 6h00 et 23h00 (T2).

| | | Gestion de la température | | |
|--|-------------------|---------------------------|--------------|--------------|
| Modalité d'habitation | Mode d'occupation | T1 | T2 | T3 |
|  | M1 | M1.T1 | M1.T2 | M1.T3 |
| | M2 | - | M2.T2 | M2.T3 |
| | M3 | | M3.T2 | M3.T3 |
|  | M4 | M4.T1 | M4.T2 | M4.T3 |

3.2.2. Période 2 : Les 36-60 ans

Nous allons désormais présenter la deuxième période correspondant à la tranche d'âge des 36-60 ans. Cette fois-ci, la famille a évolué et est désormais composée de quatre personnes, à savoir le couple parental et deux enfants. Une nouvelle fois, nous considérerons que le couple est actif et que les deux enfants vont à l'école pendant la journée.

3.2.2.1. Les modalités d'habitation

Le premier paramètre correspond aux modalités d'habitation, dans cette catégorie nous allons considérer une seule possibilité à savoir **la modalité d'habitation 1** qui correspond à l'utilisation de l'entièreté du logement. En effet, pendant cette période, la famille est composée de quatre personnes, l'utilisation de l'entièreté du logement semble donc être le scénario le plus vraisemblable. (Cf. Modalité d'habitation 1 (Utilisation de l'ensemble du bâtiment))

| Modalité d'habitation 1 (128 m ²) |
|--|
| Le couple et les deux enfants utilisent l'entièreté du logement  |

3.2.2.2. *La gestion de la température de chauffage*

Le second paramètre correspond à la gestion de la température de chauffage, dans cette période on distinguera deux programmes de chauffage différents à savoir **T1** et **T2**. Une nouvelle fois, nous avons fait attention à distinguer les zones jour des zones nuit mais également de distinguer les jours ouvrés des week-ends.

| | T1 | | T2 | |
|-----------------|---|---|--|---|
| | <i>Zone jour</i> | <i>Zone nuit</i> | <i>Zone jour</i> | <i>Zone nuit</i> |
| <i>Semaine</i> | 19°C de 6h à 8h et de 16h à 23h, sinon 16°C | 18°C de 22h à 7h, sinon 16°C | 20°C de 6h à 23h, sinon 16°C | 19°C de 22h à 7h, sinon 16°C |
| <i>Week-end</i> | 19°C de 8h à 23h, sinon 16°C | 18°C de 23h à 10h, sinon 16°C | 20°C de 6h à 23h, sinon 16°C | 19°C de 23h à 10h, sinon 16°C |

3.2.2.3. *La gestion des zones chauffées*

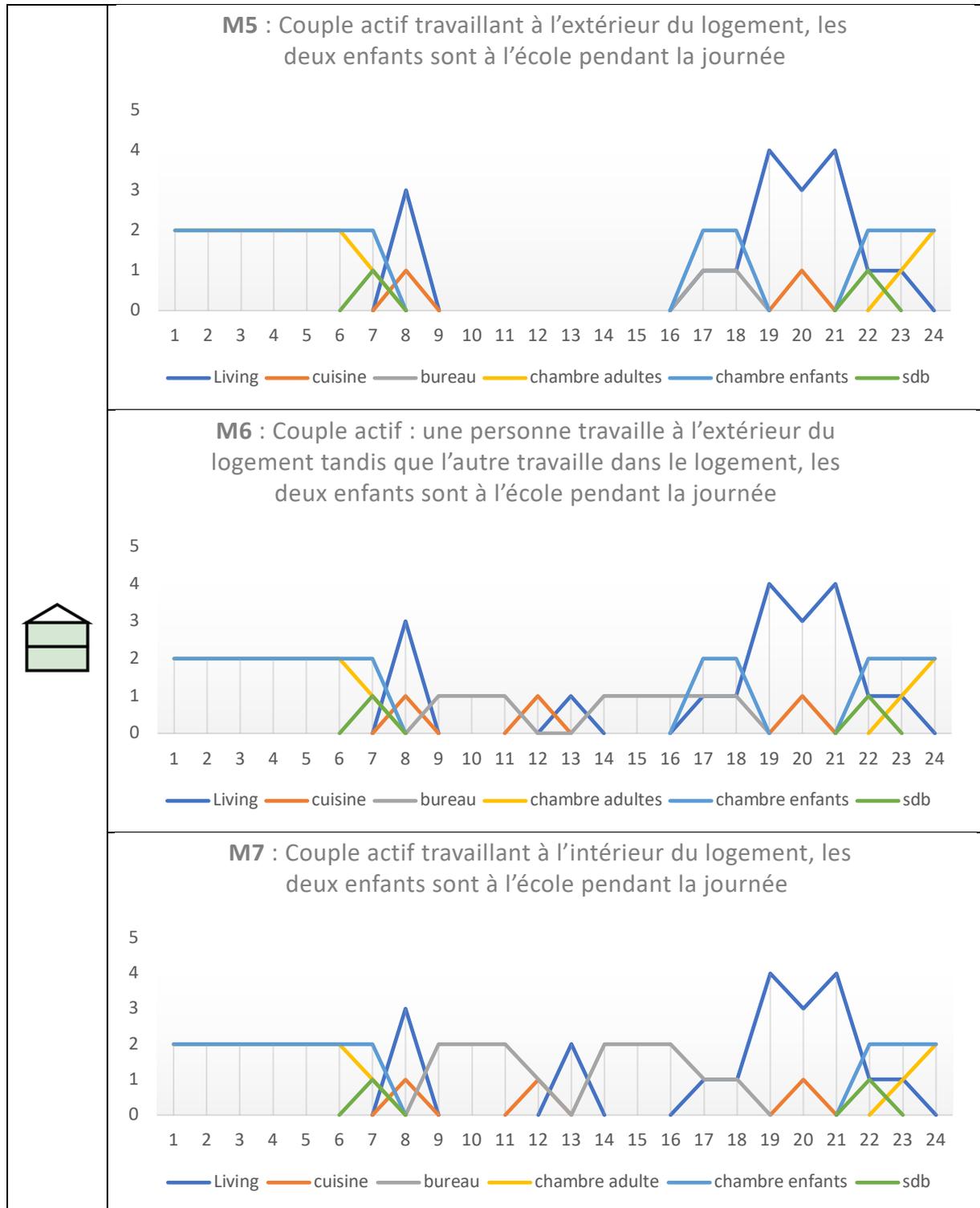
Le troisième paramètre correspondant à la gestion des zones chauffées, sera dans cette période, négligé. La gestion de la zone chauffée sera identique pour l'ensemble des scénarios. On estime qu'aucune partie du logement est « abandonnée ». On chauffe donc l'entièreté de l'habitation.

3.2.2.4. *Les modes d'occupation*

Le quatrième paramètre correspond aux modes d'occupation. Concernant cette période, nous avons défini trois scénarios d'occupation à savoir **M5**, **M6** et **M7**. Ces scénarios correspondent à la *Modalité d'habitation 1 (Utilisation de l'ensemble du bâtiment)*. Une nouvelle fois, nous avons veillé à distinguer une occupation du logement en semaine et une occupation du logement pendant le week-end.

| M5 | M6 | M7 |
|---|--|---|
| Couple actif travaillant à l'extérieur du logement, les deux enfants sont à l'école pendant la journée. | Couple actif : une personne travaille à l'extérieur du logement tandis que l'autre travaille dans le logement, les deux enfants sont à l'école pendant la journée. | Couple actif travaillant à l'intérieur du logement, les deux enfants sont à l'école pendant la journée. |
|  | | |

Vous pouvez retrouver ci-dessous les schémas d'occupation de la maison (nombre de personnes présentes dans la pièce au cours d'une journée) pour les trois modes d'occupation **M5**, **M6** et **M7**.



3.2.2.5. Les scénarios

Les paramètres désormais connus, nous pouvons présenter les scénarios relatifs à la deuxième période : les 36-60 ans. Une nouvelle fois, vous pouvez observer que les scénarios étudiés résultent de la combinaison des différents paramètres. Pour cette deuxième période, on distingue **4 scénarios**. Les scénarios M6.T1 et M7.T1 ont été négligés car au moins une personne reste à la maison dans ces deux scénarios. Ainsi, la gestion de température T1 n'est pas adéquate à ces deux scénarios.

Le scénario de référence retenu pour cette période est le cas **M6.T2** (en rouge) à savoir :
Couple actif : une personne travaille à l'extérieur du logement tandis que l'autre travaille dans le logement, les deux enfants sont à l'école pendant la journée. La maison est chauffée à 20°C entre 6h00 et 23h00 (T2).

| Modalité d'habitation | Mode d'occupation | Gestion de la température | |
|---|-------------------|---------------------------|--------------|
| | | T1 | T2 |
|  | M5 | M5.T1 | M5.T2 |
| | M6 | - | M6.T2 |
| | M7 | - | M7.T2 |

3.2.3. Période 3 : Les plus de 60 ans

Nous allons désormais présenter la troisième et dernière période correspondant à la tranche d'âge des plus de 60 ans. Une nouvelle fois la famille a évolué, le couple est désormais à la retraite et les deux enfants ont quitté le logement familial.

3.2.3.1. Les modalités d'habitation

Le premier paramètre correspond aux modalités d'habitation, dans cette catégorie nous allons considérer deux possibilités, à savoir :

- **Modalité d'habitation 1** : Utilisation de l'entièreté de la maison (128 m²)
- **Modalité d'habitation 2** : Utilisation uniquement du RDC (64 m²)

| Modalité d'habitation 1 (128 m ²) | Modalité d'habitation 2 (64 m ²) |
|---|--|
| Le couple de retraités utilise l'entièreté du logement | Le couple de retraités décide d'utiliser uniquement le RDC (T1), location d'un T1 au R+1 |
|  |  |

3.2.3.2. La gestion de la température de chauffage

Le second paramètre correspond à la gestion de la température de chauffage, dans cette période on distinguera deux programmes de chauffage différents à savoir **T3**, et **T4**. Une nouvelle fois, nous avons fait attention à distinguer les zones jour des zones nuit. À noter tout de même que contrairement aux deux premières périodes nous n'avons pas fait, ici, de distinction entre les jours de semaine et les jours du week-end car nous sommes en présence d'un couple de retraités. On estime donc que les scénarios sont les mêmes tout au long de la semaine.

| | T3 | | T4 | |
|--------------------|-----------|------------------------------|------------------------------|-----------|
| | Zone jour | Zone nuit | Zone jour | Zone nuit |
| Semaine & Week-end | 21°C | 19°C de 22h à 7h, sinon 16°C | 23°C de 7h à 22h, sinon 20°C | 20 °C |

3.2.3.3. La gestion des zones chauffées

Le troisième paramètre qui correspond à la gestion des zones chauffées sera pris en compte dans cette période. En effet, nous supposerons pour deux scénarios que le couple de retraités décide d'abandonner l'étage de la maison mais qui pour des raisons « personnelles » ne souhaitent pas décomposer le logement en deux T1. Dans ce cas-là, l'étage ne sera pas chauffé.

On distinguera ainsi selon les scénarios :

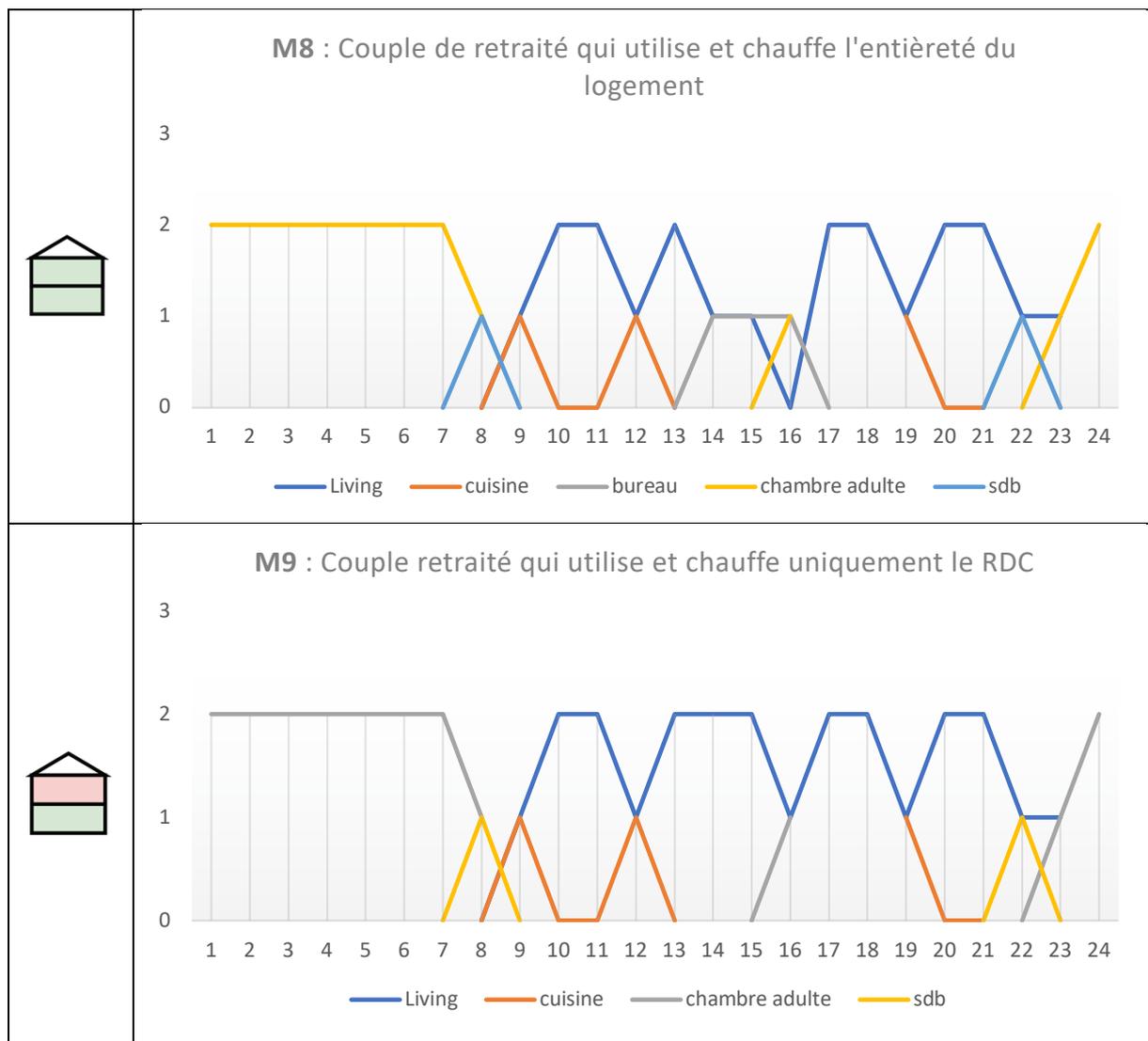
1. L'entièreté de la maison est chauffée (**Modalité d'habitation 1** (128 m²) et **Modalité d'habitation 2** (64 m²))
2. Uniquement le RDC est chauffé (**Modalité d'habitation 1** (128 m²))

3.2.3.4. Les modes d'occupation

Le quatrième paramètre correspond aux modes d'occupation. Concernant cette période, nous avons défini deux scénarios d'occupation à savoir **M8** et **M9**. Le scénario **M8** correspond à la *Modalité d'habitation 1 (Utilisation de l'ensemble du bâtiment)* tandis que le scénario **M9** correspond à la *Modalité d'habitation 2 (Création de deux logements)*. Il est important de préciser que dans le cas où le couple de retraité décide d'utiliser l'entièreté du logement mais de n'occuper que le RDC cela revient au même scénario d'occupation que dans le cas où le couple de retraité décide de décomposer le logement en deux T1. En effet, dans les deux scénarios, le bureau du RDC est transformé en chambre afin de permettre au couple de vivre uniquement au RDC de la maison. Une nouvelle fois, nous n'avons pas fait ici de distinction entre les jours de semaine et les jours du week-end.

| M8 | M9 | M9 |
|---|--|--|
| Couple de retraités qui utilise et chauffe l'entièreté du logement | Couple de retraités qui ne chauffe que le RDC et « abandonne » l'étage | Couple de retraités qui utilise et chauffe l'entièreté du logement (64m ²) |
|  | |  |

Vous pouvez retrouver ci-dessous les schémas d'occupation de la maison (nombre de personnes présentes dans la pièce au cours d'une journée) pour les deux modes d'occupation **M8** et **M9**.



3.2.3.5. Les scénarios

Les paramètres désormais connus, nous pouvons présenter les scénarios relatifs à la troisième période : les plus 60 ans. Une nouvelle fois, vous pouvez observer que les scénarios étudiés résultent de la combinaison des différents paramètres. Pour cette deuxième période, on distingue **6 scénarios**.

Le scénario de référence retenu pour cette période est le cas **M8.T3** (en rouge) à savoir : Couple de retraité qui utilise et chauffe l'entièreté du logement à une température de 21°C dans les zones de jour. (T3)

| Modalité d'habitation | Mode d'occupation | Gestion de la zone chauffée | Gestion de la température | |
|-----------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------|
| | | | T3 | T4 |
| | M8 | ALL | M8.ALL.T3 | M8.ALL.T4 |
| | M9 | RDC | M9.RDC.T3 | M9.RDC.T4 |
| | M9 | ALL | M9.ALL.T3 | M9.ALL.T4 |

3.2.4. Schéma de synthèse des paramètres et scénarios étudiés

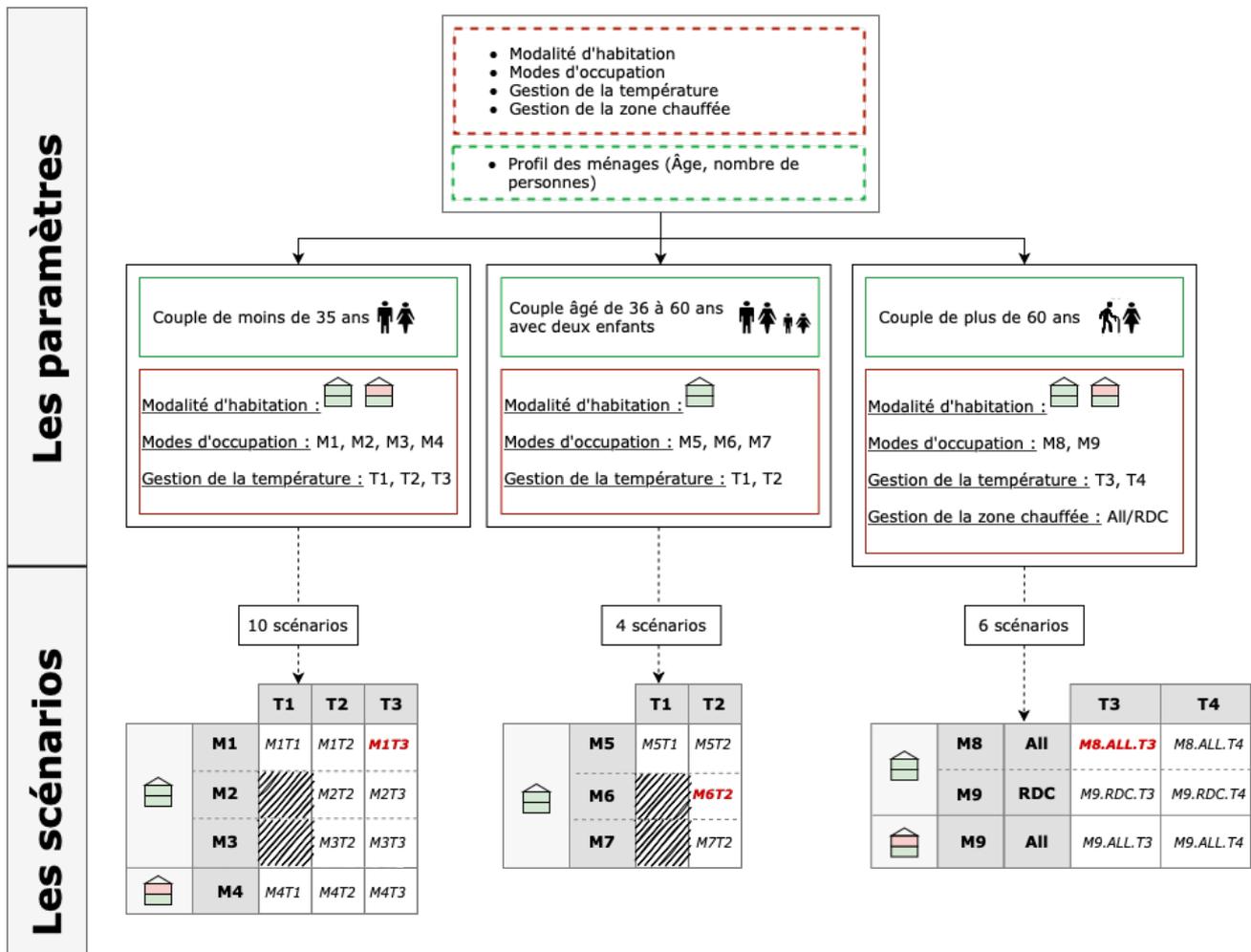


Figure 41 Synthèse des paramètres et scénarios étudiés

3.3. Hypothèses sur l'ACV

3.3.1. Objectifs de l'étude et champ d'étude

Dans le cadre de ce travail de fin d'études nous allons chercher à mesurer l'influence que peuvent avoir les modes de vies des occupants sur les impacts environnementaux à l'échelle d'un logement unifamilial Belge. Comme nous avons pu le constater précédemment, les modes de vie sont encore aujourd'hui souvent négligés dans les diverses études scientifiques. Partant de ce constat, nous avons dans notre cas, placé les modes de vie au centre de notre étude. Le but n'étant pas de produire des connaissances sur un cas spécifique mais plutôt d'apporter une première piste de réflexion sur l'influence que peuvent avoir les modes de vies sur les résultats d'une simulation thermique dynamique (STD) et une analyse du cycle de vie (ACV).

3.3.1.1. L'unité fonctionnelle

Nous avons mis en évidence précédemment la difficulté de déterminer une unité fonctionnelle. Dans le cadre de ce travail l'unité fonctionnelle considérée est la suivante : « *Logement unifamilial belge quatre façades s'élevant sur deux niveaux ayant une surface construite au sol de 79,21m² avec une surface de plancher de 128m², étudié sur une durée de vie de 80 ans et située à Saint-Hubert en province du Luxembourg* ».

3.3.1.2. Les frontières de l'étude

Dans le cadre de notre étude, nous allons étudier l'impact du bâtiment, de la mobilité, de la gestion de l'eau et de la gestion des déchets. Nous effectuerons l'analyse du cycle de vie du berceau à la tombe plus communément appelé « cradle to grave »

3.3.1.3. L'inventaire du cycle de vie (LCI)

Comme énoncé dans l'état de l'art, la récolte des données sera réalisée par l'intermédiaire de la base de données Ecoinvent sur la version 2.2 (2012). Nous justifions ce choix pour plusieurs raisons :

- Base de données la plus fréquemment mise à jour et la plus complète d'Europe occidentale (Verbeeck et Hens, 2010)
- Base de données fréquemment utilisée dans les études ACV et reconnue par la communauté scientifique
- Nous disposons d'une licence nous permettant d'avoir accès à l'entièreté de la base de données

Nous retrouvons pour chaque procédé et matériaux les informations suivantes :

- Déchets créés (radioactifs, toxiques ou inertes)
- Émissions dans les différents milieux naturels
- Ressources consommées

Pour plus d'informations, je vous invite à consulter le site officiel : [Ecoinvent.org](http://ecoinvent.org)

3.3.2. Les impacts environnementaux

Nous avons dans l'état de l'art présenté les 7 impacts environnementaux qu'il était conseillé d'étudier d'après la norme EN 15978. Dans notre cas, nous allons évidemment considérer et étudier ces 7 impacts mais nous allons en plus intégrer 5 autres impacts qui sont disponibles sur Pleiades ACV, logiciel que nous allons vous présenter par la suite. Finalement, nous allons considérer les 12 impacts environnementaux suivants :

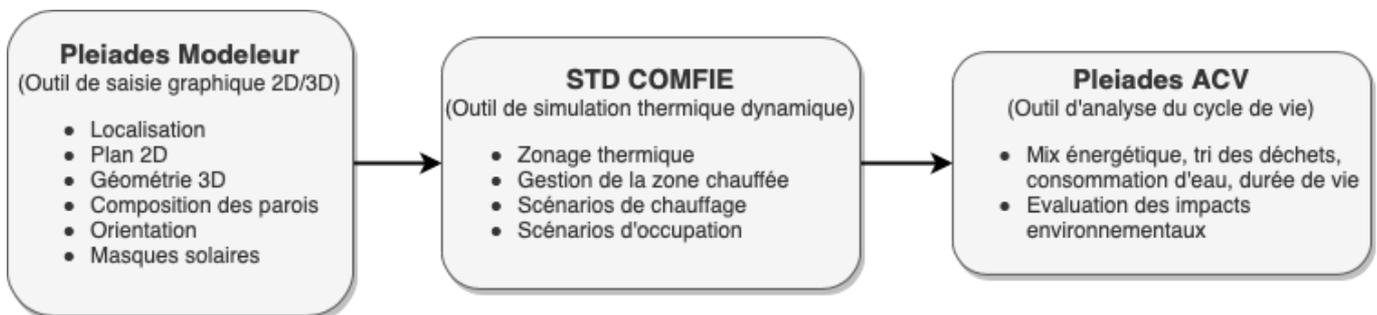
- Effet de serre (100 ans)(t CO2 eq.)
- Acidification (kg SO2 eq.)
- Demande cumulative d'énergie (GJ)
- Eau utilisée (m³)
- Déchets produits (t)
- Épuisement ressources abiotiques (kg d'antimoine eq.)
- Eutrophisation (kg PO4 eq.)
- Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène eq.)
- Dommages à la biodiversité (PDF.m².an)
- Déchets radioactifs (dm³)
- Dommages à la santé (DALYS)
- Odeur (Mm³ air)

3.4. Choix de l'outil d'analyse

Pour réaliser notre étude, nous avons décidé d'utiliser le logiciel PLEIADES créé par la société [IZUBA énergies](#). Ce logiciel, largement approuvé par la communauté scientifique, m'a été proposé et conseillé par ma promotrice Mme Reiter Sigrid qui s'en est elle-même déjà servi à plusieurs reprises pour réaliser des simulations thermiques dynamiques et des analyses du cycle de vie. (Rossi et al, 2012)

L'avantage majeur de PLEIADES est sa polyvalence de par le fait que le logiciel réunit tous les outils nécessaires pour évaluer la performance thermique, énergétique et environnementale des bâtiments. Pour ce faire, plusieurs modules sont intégrés dans PLEIADES. Dans notre cas, nous nous servons des trois modules suivants :

- Pleiades modeleur
- STD Comfie
- Pleiades ACV



[Pleiades modeleur](#) est l'outil de saisie graphique de Pleiades. Il permet de décrire la géométrie 2D et 3D du bâtiment. C'est également au niveau de ce module qu'on indique l'orientation du bâtiment et que l'on encode la présence des masques solaires.

[STD Comfie](#) est le moteur de calcul de Simulation Thermique Dynamique de Pleiades qui permet de déterminer les besoins de chauffage, de refroidissement ainsi que les températures dans chacune des zones du bâtiment définie au préalable. Le module permet d'intégrer des scénarios de chauffage et d'occupation à partir du zonage thermique du bâtiment. (Recht et al., 2017)

[Pleiades ACV](#) est l'outil permettant d'évaluer l'impact environnementale des bâtiments. À partir des données issues de la STD et par l'intermédiaire d'entrées supplémentaires fournies par le logiciel tel que le mix énergétique, le tri des déchets ou encore la consommation d'eau nous pouvons réaliser l'ACV. Les résultats sont présentés sous la forme de diagramme radar qui mettent en évidence les différents impacts environnementaux.

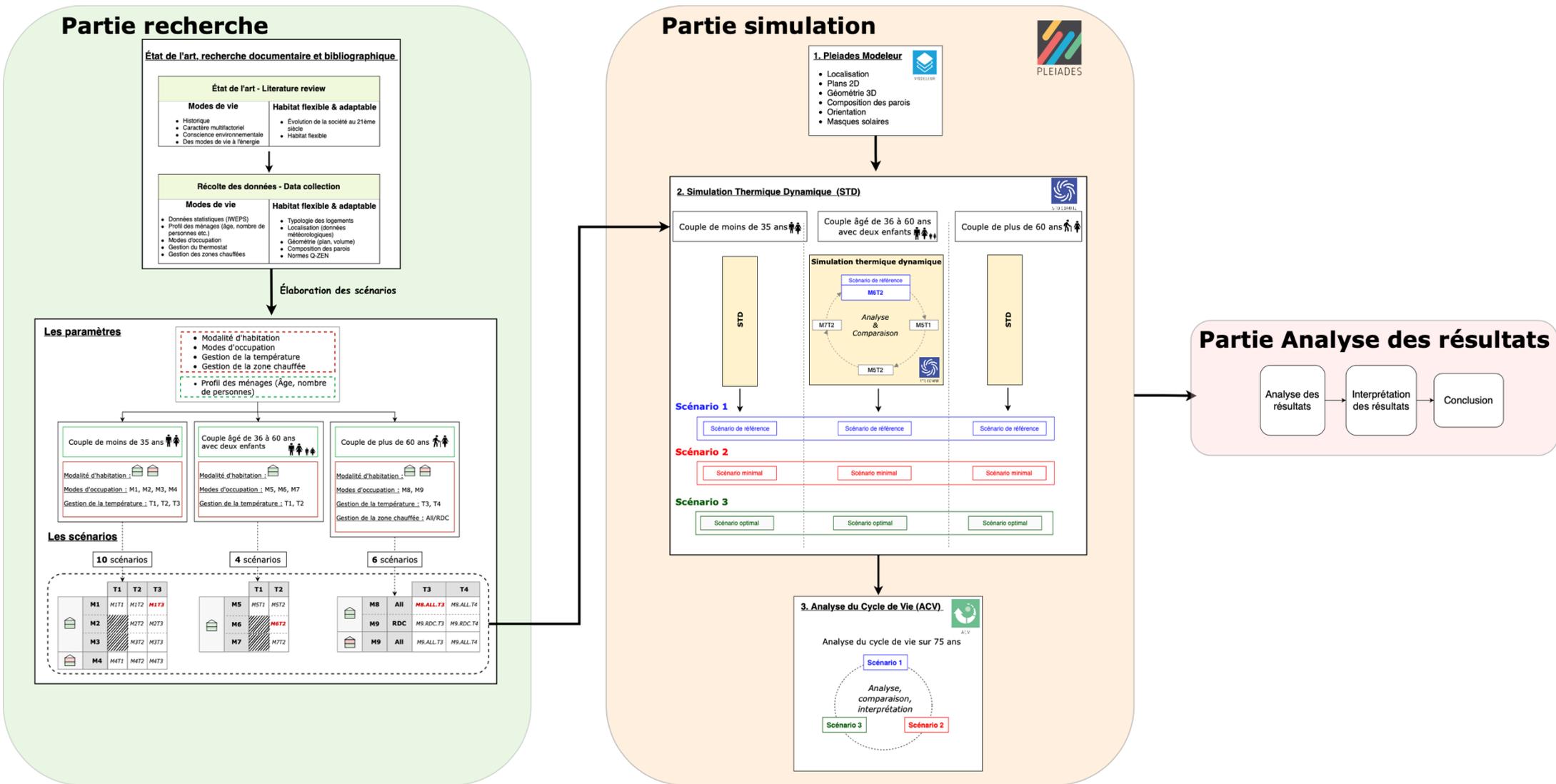


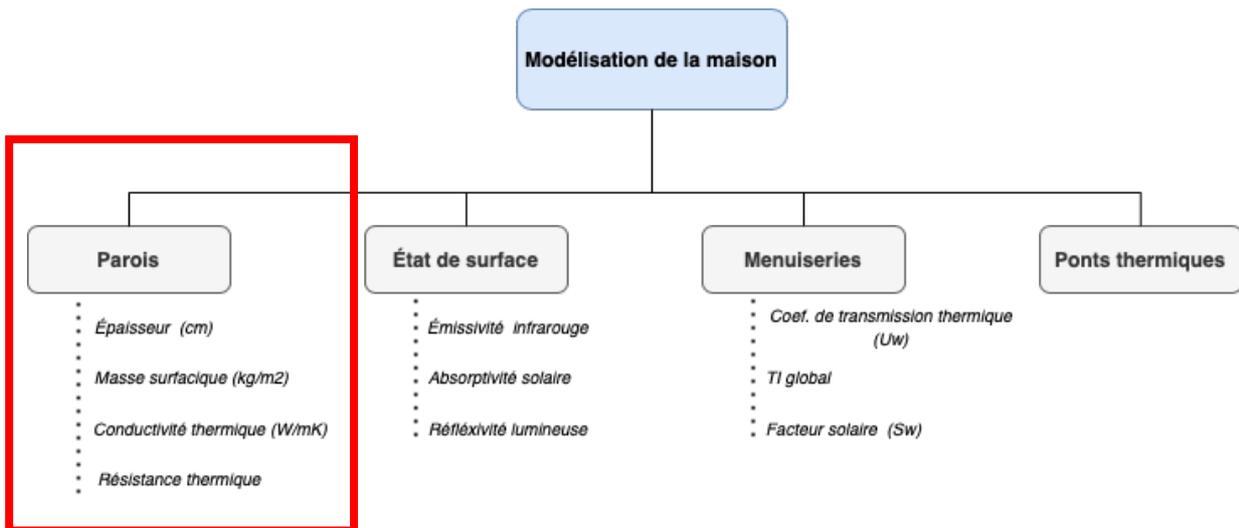
Figure 42 Schéma détaillé de la méthodologie mise en place pour ce travail de fin d'études

Chapitre 4 : Modélisation du bâtiment et Simulation Thermique Dynamique (STD)

Nous allons désormais entamer la partie « logiciel ». Dans un premier temps nous modéliserons le bâtiment étudié en saisissant les données caractéristiques techniques du projet. Cela consiste à encoder les paramètres géométriques du projet en indiquant les propriétés thermiques des différentes parois. Dans un second temps, nous définirons le zonage thermique du bâtiment puis nous indiquerons les différents scénarios d'occupation. Une fois les paramètres techniques définis, nous pourrons réaliser la Simulation Thermique Dynamique.

4.1. Les caractéristiques techniques

4.1.1. Les parois

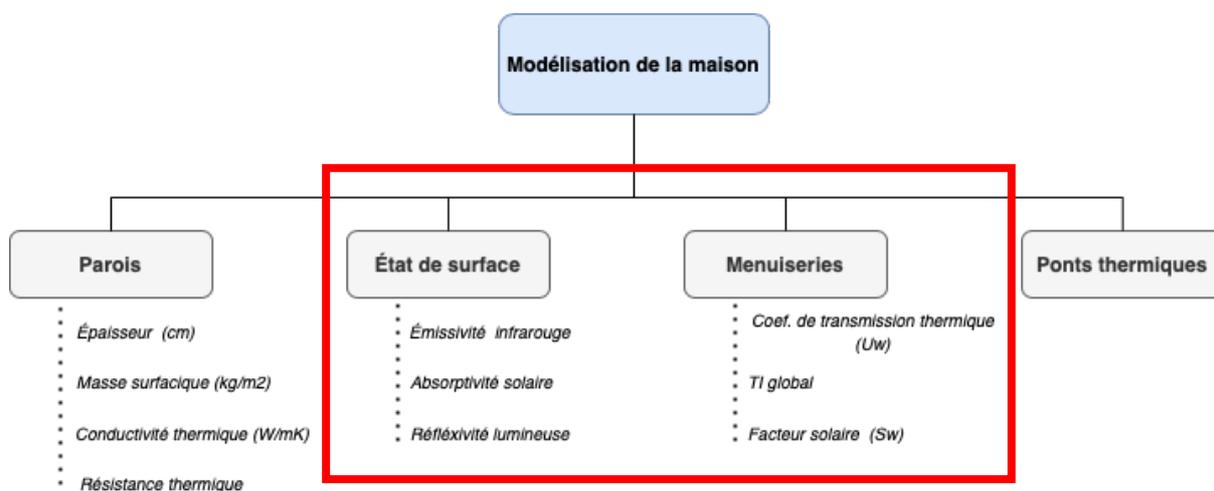


Cette première étape consiste à indiquer les compositions de nos parois. Nous devons spécifier l'épaisseur **e(mm)**, la conductivité thermique **(w/mK)**, la densité **(kg/m³)** ainsi que la résistance thermique **R(m²K/W)** des différents matériaux. Vous pouvez retrouver sur le *Tableau 4* les compositions des parois du bâtiment étudié.

Tableau 4 Tableau de synthèse des compositions des parois du bâtiment étudié

| Mur extérieure (45 cm) | Épaisseur (mm) | λ (W/mK) | Capacité thermique (kJ/kgK) | Densité ρ (Kg/m ³) | Résistance thermique R (m ² K/W) |
|---------------------------------------|----------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---|
| Revêtement int. : Planche de bois | 18 | 0,13 | 1,88 | 600 | 0,014 |
| Isolation laine minérale | 60 | 0,04 | 0,84 | 80 | 1,5 |
| Ossature-lattage | 60 | 0,13 | 1,88 | 800 | 0,462 |
| Panneau OSB | 15 | 0,13 | 1,88 | 650 | 0,115 |
| Cellulose insufflée | 250 | 0,04 | 0,84 | 110 | 6,25 |
| Ossature 60/250 | 250 | 0,13 | 1,88 | 800 | 1,923 |
| Panneau fibre de bois | 20 | 0,045 | 1,88 | 110 | 0,444 |
| Lattage-contre lattage | 30 | 0,13 | 1,88 | 800 | 0,231 |
| Vide ventilé | 30 | 0,163 | 1,017 | 1,25 | 0,184 |
| Bardage : bois résineux vertical | 30 | 0,163 | 1,88 | 600 | 0,184 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Toit (48 cm) | Épaisseur (mm) | λ (W/mK) | Capacité thermique (kJ/kgK) | Densité ρ (Kg/m ³) | Résistance thermique R (m ² K/W) |
| Revêtement int. : Planche de bois | 18 | 0,13 | 1,88 | 600 | 0,014 |
| Isolation laine minérale | 60 | 0,04 | 0,84 | 80 | 1,5 |
| Lattage 40/60 | 60 | 0,13 | 1,88 | 800 | 0,462 |
| Faîte en LC 140/340 | | 0,13 | 1,88 | 650 | 0,115 |
| Cellulose insufflée | 300 | 0,04 | 0,84 | 110 | 7,5 |
| Chevron 6/30 | 300 | 0,13 | 1,88 | 800 | 2,308 |
| Panneaux de bois | 22 | 0,13 | 1,88 | 650 | 0,169 |
| Lattage-contre lattage | 50 | 0,13 | 1,88 | 800 | 0,385 |
| Vide ventilé | 50 | 0,271 | 1,017 | 1,25 | 0,185 |
| Vide ventilé | 30 | 1,4 | 0,84 | 2000 | 0,014 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Cloison intérieure (9,8 cm) | Épaisseur (mm) | λ (W/mK) | Capacité thermique (kJ/kgK) | Densité ρ (Kg/m ³) | Résistance thermique R (m ² K/W) |
| Planche en bois | 20 | 0,13 | 1,88 | 650 | 0,154 |
| Ossature 60/60 | 60 | 0,13 | 1,88 | 800 | 0,462 |
| Isolation laine minérale | 60 | 0,04 | 0,84 | 80 | 1,5 |
| Structure poteau poutre intégré en LC | 18 | 0,13 | 1,88 | 650 | 0,138 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Plancher RDC (37,2 cm) | Épaisseur (mm) | λ (W/mK) | Capacité thermique (kJ/kgK) | Densité ρ (Kg/m ³) | Résistance thermique R (m ² K/W) |
| Carrelage | 30 | 1,2 | 0,84 | 2000 | 0,025 |
| Chape | 60 | 1,44 | 0,84 | 2200 | 0,042 |
| Panneau OSB | 22 | 0,13 | 1,88 | 650 | 0,169 |
| Cellulose insufflée | 250 | 0,04 | 0,84 | 110 | 6,25 |
| Gîtage 60/250 | 250 | 0,13 | 1,88 | 800 | 1,923 |
| Panneau fibro-ciment | 10 | 1,25 | 0,84 | 2000 | 0,008 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Plancher R+1 | Épaisseur (mm) | λ (W/mK) | Capacité thermique (kJ/kgK) | Densité ρ (Kg/m ³) | Résistance thermique R (m ² K/W) |
| Plancher en bois | 15 - 18 | 0,13 | 1,88 | 600 | 0,115 - 0,138 |
| Isolation phonique | 20 - 40 | 0,04 | 0,84 | 110 | 0,5 - 1 |
| Planches de bois | 24 | 0,055 | 1,88 | 300 | 0,436 |
| Gîtage en LC 10/20 | 20 - 20 | 0,13 | 1,88 | 800 | |
| Poutre principale LC 200/380 | 200/380 | 0,13 | 1,88 | 800 | |

4.1.2. État de surface et menuiseries



Cette deuxième étape consiste à indiquer l'état de surface des parois, élément essentiel en vue d'analyser le comportement vis-à-vis des rayonnements solaires. Nous devons spécifier l'émissivité, l'absorptivité et la réflectivité.

Tableau 5 Tableau de l'émissivité infrarouge, de l'absorptivité solaire et de la réflectivité lumineuse des principales parois du bâtiment étudié

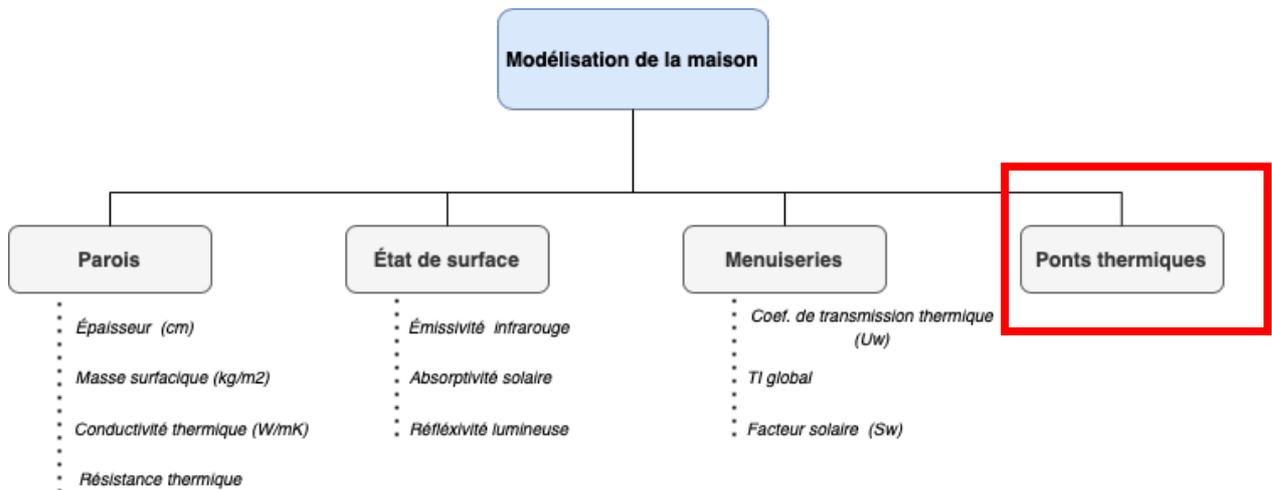
| | Emissivité infrarouge (α) | Absorptivité solaire (ϵ) | Réflexivité lumineuse (ρ) |
|--------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Face externe | 0,6 | 0,9 | 0,4 |
| Toiture | 0,58 | 0,7 | 0,3 |
| Plancher | 0,6 | 0,9 | 0,2 |
| Face interne | 0,9 | 0,6 | 0,51 |
| Plafond | 0,91 | 0,2 | 0,8 |

Il est également nécessaire d'indiquer la valeur des menuiseries utilisées dans notre étude. Nous concernant, nous nous sommes servis des valeurs standards fournies par le logiciel. Nous avons utilisé des fenêtres triple vitrage isolant avec double couche de remplissage à l'argon-crypton.

Tableau 6 Coefficient de transmission thermique et atténuation en dB des fenêtres et vitrages du bâtiment étudié

| Fenêtre triple vitrage isolant avec double couche de remplissage à l'argon-crypton | Coefficient de transmission thermique U (W/m ² K) | dB |
|--|--|----|
| Fenêtre | 0,81 | 33 |
| Vitrage | 0,5 | 32 |

4.1.3. Les ponts thermiques



La troisième et dernière étape consiste à spécifier la présence des ponts thermiques. Nous sommes en présence d'un bâtiment passif en ossature bois, les ponts thermiques sont donc minimes mais tout de même non négligeables notamment aux niveaux des angles sortants, du plancher intermédiaire et du plancher bas.

Tableau 7 Les principaux ponts thermiques du bâtiment étudié

| | Psi (Ψ) (W/m ² K) |
|------------------------|-------------------------------------|
| Angle sortant | 0,06 |
| Plancher intermédiaire | 0,1 |
| Plancher bas | 0,12 |

4.2. Les données météorologiques

Éléments essentiels à la Simulation Thermique Dynamique et à l'Analyse du Cycle de Vie, les données météorologiques permettent de prendre en considération les caractéristiques du site ainsi que les apports solaires. Pour rappel, nous utiliserons les données issues de la station météorologique de Saint-Hubert. (*Localisation du bâtiment*)

Il est à noter que la station de Saint-Hubert n'est par défaut pas présente dans le logiciel Pleiades. Nous avons dû nous servir du module « [météocalc](#) » qui permet de générer un fichier météo compatible avec Pleiades à partir du logiciel [Météonorm](#). Une fois cette étape réalisée, nous avons pu obtenir sur Pleiades les données météorologiques nécessaires à nos simulations à savoir :

- Les températures horaires
- Les rayonnements globaux horaires
- Les rayonnements diffus horizontaux horaires
- Le rayonnement direct
- L'humidité relative
- La température de l'eau froide
- La vitesse et la direction du vent (moyenne annuelle)

4.3. Modélisation 2D & 3D du bâtiment

Une fois les caractéristiques techniques renseignées nous pouvons modéliser le bâtiment étudié. Pleiades Modeleur permet, à partir d'un plan 2D, de générer automatiquement une volumétrie 3D permettant de vérifier avec exactitude notre modélisation.

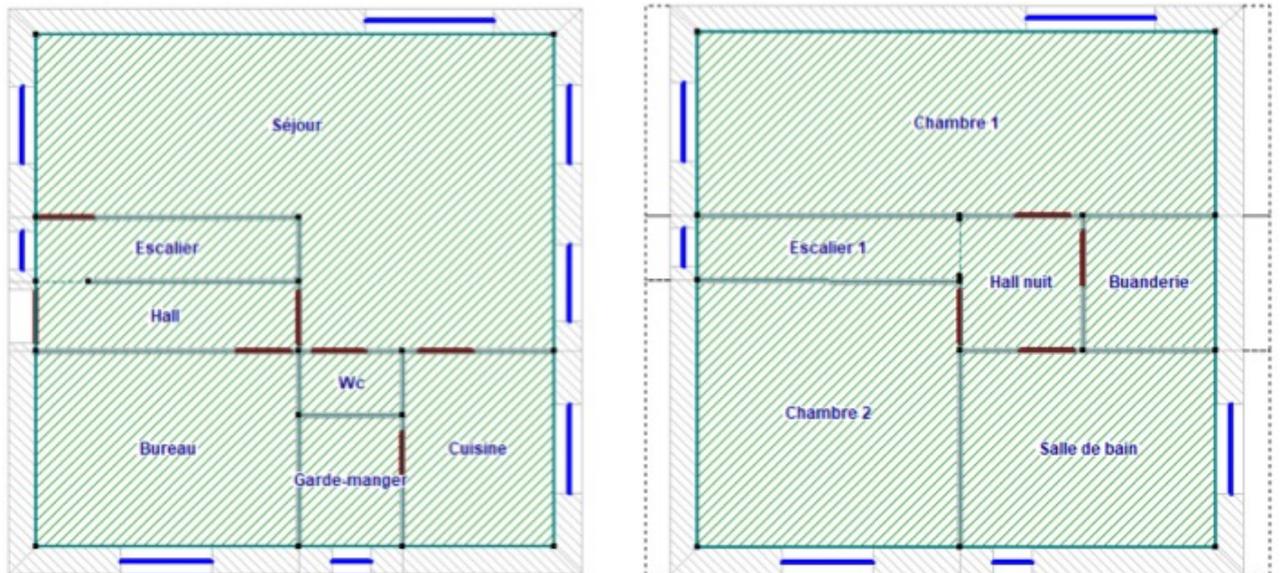


Figure 43 Plan 2D du bâtiment étudié - Pleiades Modeleur

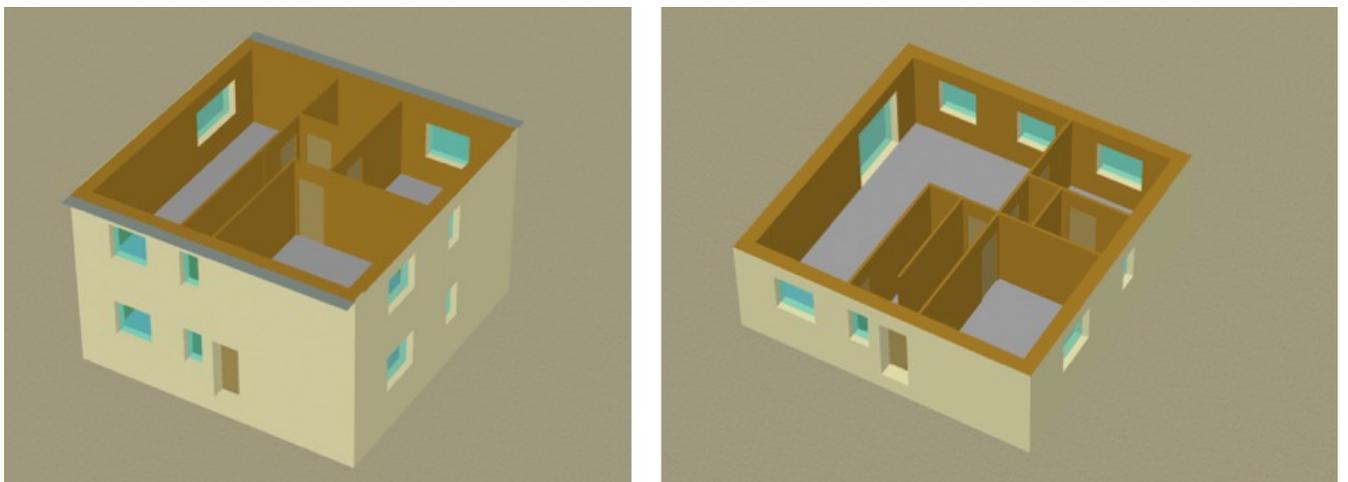


Figure 44 Visuel 3D du bâtiment étudié - Pleiades Modeleur

4.4. Zonage thermique et scénarios d'occupation

Une fois le bâtiment modélisé, nous devons réaliser le zonage thermique et indiquer les différents scénarios d'occupation afin de réaliser la Simulation Thermique Dynamique. Dans une volonté de réaliser une étude complète, nous avons décidé de créer un zonage thermique très détaillé nous permettant, pour chacune des pièces, de renseigner une température de consigne, un scénario d'occupation ainsi que les puissances dissipées.

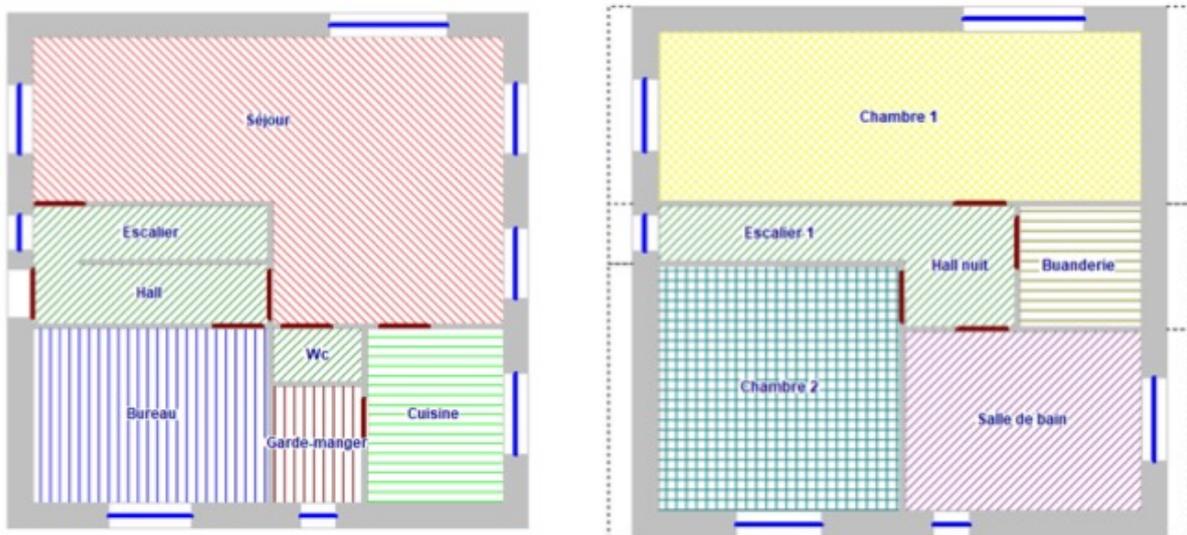
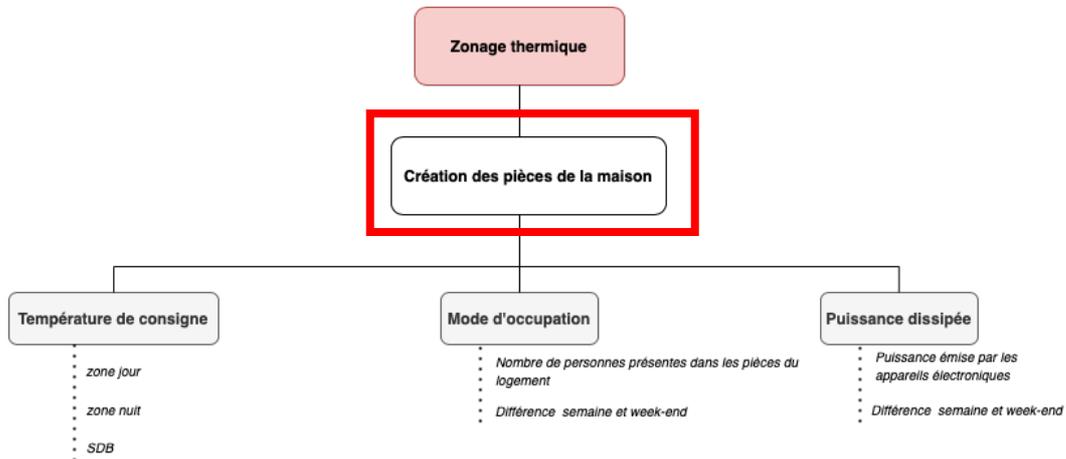
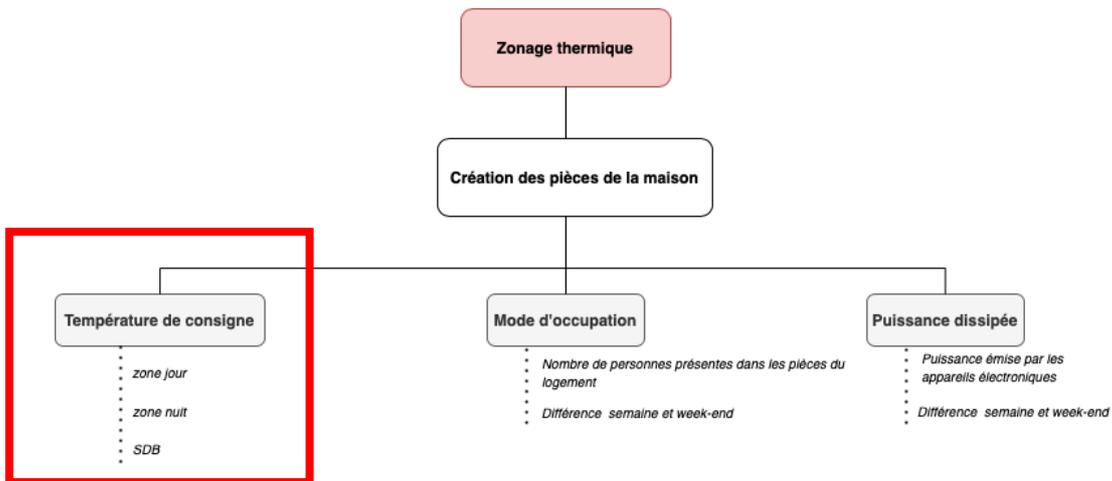


Figure 45 Zonage thermique des différentes pièces du bâtiment étudié - Pleiades Modeleur

4.4.1. Les températures de consigne

Comme énoncé précédemment, le zonage thermique pièce par pièce nous permet de renseigner des températures de consigne dans chacune des pièces. Nous avons veillé à distinguer des températures de consigne pour les zones jour, les zones nuit et la SDB. À noter également, que dans notre cas, cela correspond au paramètre « **Gestion de la température de chauffage** » qui pour rappel varie selon les périodes et les scénarios étudiés. Je vous invite donc à vous référer à :

- « La gestion de la température de chauffage » pour la période **18-35 ans**
- « La gestion de la température de chauffage » pour la période **36-60 ans**
- « La gestion de la température de chauffage » pour la période **plus de 60 ans**



Vous pouvez observer ci-dessous, un exemple de l’encodage des températures de consigne réalisé sur Pleiades.

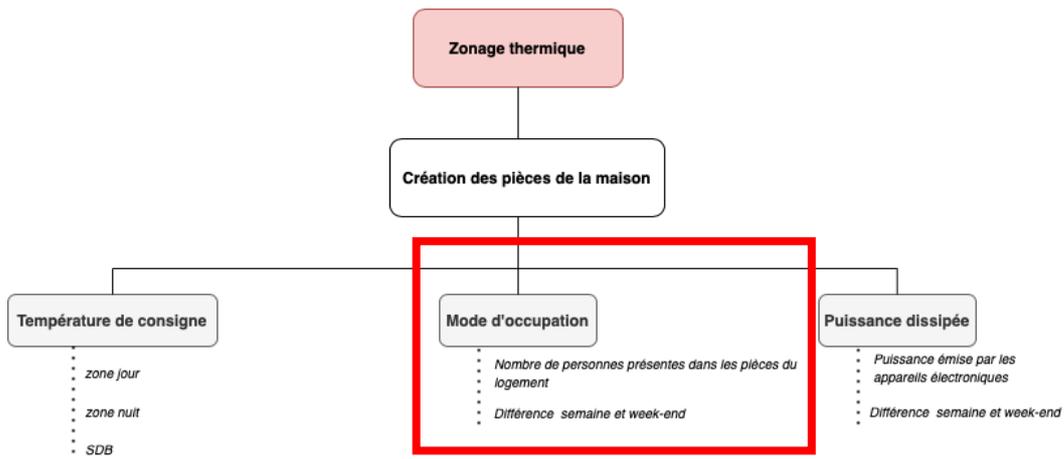
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------------|----|-------|----|----|
| Nom | T1 - Pièces de vie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Complément | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Origine | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Type | Température | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Relatif(%) à la valeur de base | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Unité | °C | |
| Valeur/Jour/Semaine | | Année | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | _ Désélection | | | | |
| Valeurs | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> S | Nom | Valeur | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Unité | | |
| <input type="checkbox"/> | Valeur | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | °C | | |
| <input type="checkbox"/> | Valeur 1 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | °C | | |
| Jours | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> S | Nom | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | |
| <input type="checkbox"/> | semaine | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 19 | 19 | 19 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| <input type="checkbox"/> | week-end | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | |
| Semaines | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> S | Nom | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi | Samedi | Dimanche | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Semaine | semaine | semaine | semaine | semaine | semaine | week-end | week-end | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figure 46 Exemple de l'encodage des températures - Pleiades Modeleur

4.4.2. Les scénarios d'occupation

Les scénarios d'occupation correspondent une nouvelle fois à l'un des paramètres que l'on étudie. À l'instar des températures de consigne, les scénarios d'occupation varient selon les périodes et les scénarios étudiés. Je vous invite donc à vous référer à :

- « Les modes d'occupation » pour la période **18-35 ans**
- « Les modes d'occupation » pour la période **36-60 ans**
- « Les modes d'occupation » pour la période **plus de 60 ans**



Vous pouvez observer ci-dessous, un exemple de l'encodage des scénarios d'occupation réalisé sur Pleiades.

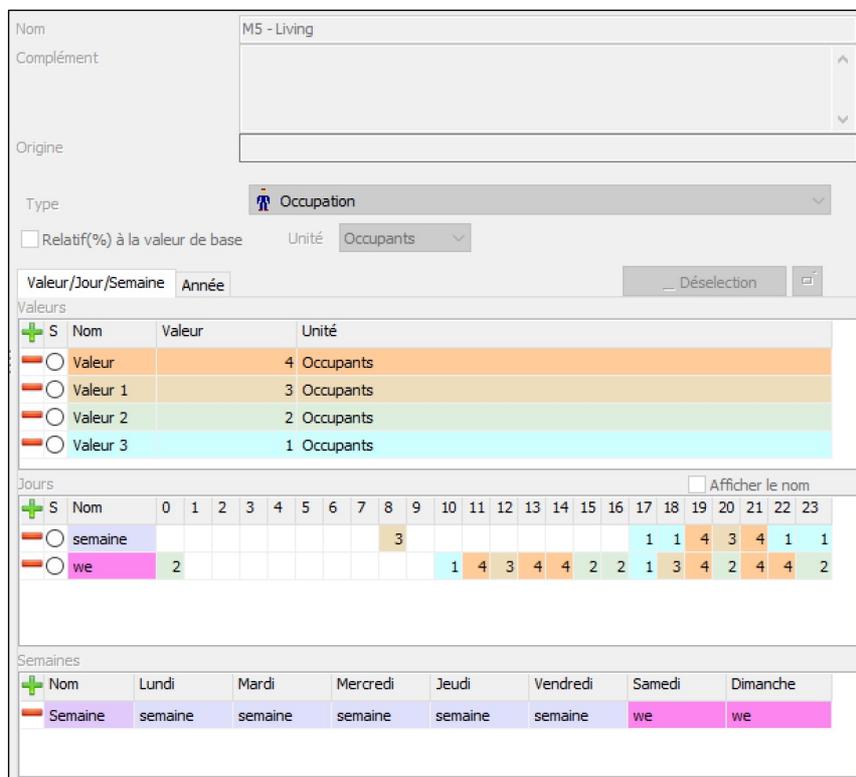
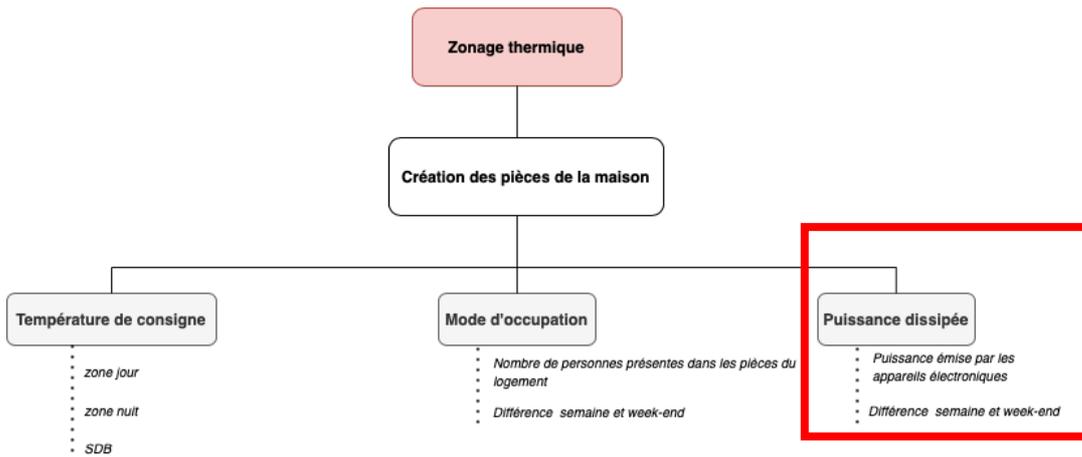


Figure 47 Exemple de l'encodage des scénarios d'occupation - Pleiades Modeleur

4.4.3. Les puissances dissipées

Le dernier élément à renseigner correspond aux puissances dissipées par les appareils électroniques qui dégagent une certaine chaleur. Leurs valeurs diffèrent selon les horaires de la journée. Par exemple, la nuit, les puissances sont minorées par rapport à la journée car, en toute logique, les habitants utilisent à moindre mesure les appareils électroniques. Une nouvelle fois, nous avons veillé à faire varier les puissances dissipées selon les périodes et les scénarios étudiés. Cela suit la même logique que pour les températures de consignes et les scénarios d'occupation.



Vous pouvez observer ci-dessous, un exemple de l'encodage des puissances dissipées réalisé sur Pleiades.

Nom : M5 - JOUR Maison individuelle Puissance dissipée

Type : Puissance

Unité : W/m²

Valeurs

| S | Nom | Valeur | Unité |
|----------------------------------|--------|--------|------------------|
| <input checked="" type="radio"/> | Réduit | 1.14 | W/m ² |
| <input type="radio"/> | Normal | 5.70 | W/m ² |
| <input type="radio"/> | élevé | 9.00 | W/m ² |

Jours

| S | Nom | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|----------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <input checked="" type="radio"/> | Ouvré | .14 | .14 | .14 | .14 | .14 | .14 | .14 | .70 | .00 | .70 | .14 | .14 | .14 | .14 | .14 | .14 | .14 | .14 | .70 | .00 | .70 | .70 | .14 | .14 |
| <input type="radio"/> | Week-end | .14 | .14 | .14 | .14 | .14 | .14 | .14 | .14 | .70 | .70 | .00 | .70 | .70 | .70 | .70 | .70 | .70 | .70 | .70 | .00 | .70 | .70 | .14 | .14 |

Semaines

| S | Nom | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi | Samedi | Dimanche |
|----------------------------------|---------|-------|-------|----------|-------|----------|----------|----------|
| <input checked="" type="radio"/> | Semaine | Ouvré | Ouvré | Ouvré | Ouvré | Ouvré | Week-end | Week-end |

Figure 48 Exemple de l'encodage des puissances dissipées - Pleiades Modeleur

4.5. Les résultats de la Simulation Thermique Dynamique (STD)

Nous allons désormais présenter les résultats issus de la STD. Le tableau suivant présente les charges de chauffage (KWh) et (kWh/m².an) des 20 scénarios simulés. Vous pouvez observer que dans la majorité des cas, les besoins de chauffage sont supérieurs à 15kWh/m².an, valeur de référence du standard passif. (La maison passive, 2021) Il convient de rappeler que l'objectif de l'étude n'est pas d'optimiser les besoins de chauffage mais bien d'étudier l'influence des modes de vie sur les consommations énergétiques. Finalement, lorsque l'on réalise une moyenne sur l'ensemble des scénarios nous obtenons une valeur de **22,9 kWh/m².an** qui semble être cohérente à la vue des valeurs attribuées aux paramètres. Lorsque l'on néglige la période des plus de 60 ans, nous obtenons une valeur moyenne de **20 kWh/m².an** se rapprochant ainsi du standard passif.

Nous allons par la suite analyser les résultats période par période, à savoir :

- Période des 18-35 ans
- Période des 36-60 ans
- Période des plus de 60 ans

Dans chacun des cas, nous étudierons l'influence des paramètres puis nous sélectionnerons le scénario de référence, le scénario minimal ainsi que le scénario optimal d'un point de vue des besoins de chauffage, pour finalement, réaliser l'Analyse du Cycle de Vie.

Tableau 8 Tableau de synthèse des résultats de la STD

| | | Scénarios | Besoins de chauffage (KWh) | Besoins de chauffage (KWh/m ² .an) |
|--------------------|---|-----------|----------------------------|---|
| 18-35 ans |  | M1T1 | 2515 | 20,9 |
| | | M1T2 | 2866 | 23,8 |
| | | M1T3 | 3145 | 26,1 |
| | | M2T2 | 2741 | 22,8 |
| | | M2T3 | 3079 | 25,6 |
| | | M3T2 | 2482 | 20,6 |
| | | M3T3 | 2802 | 23,3 |
| |  | M4T1 | 782 | 12,65 |
| | | M4T2 | 951 | 15,4 |
| | | M4T3 | 1125 | 18,2 |
| 36 – 60 ans |  | M5T1 | 2020 | 16,7 |
| | | M5T2 | 2401 | 19,9 |
| | | M6T2 | 2196 | 18,2 |
| | | M7T2 | 1980 | 16,4 |
| | | M8T3 | 3360 | 27,9 |
| Les plus de 60 ans |  | M8T4 | 4164 | 34,6 |
| | | M9T3 | 3613 | 30 |
| | | M9T4 | 3440 | 28,6 |
| | | M9T3 | 1472 | 23,8 |
| |  | M9T4 | 1957 | 31,6 |

4.5.1. La période des 18-35 ans

4.5.1.1. Influence de la température (gestion de la température de chauffage)

Nous allons commencer en analysant l'influence du paramètre « **gestion de la température de chauffage** ». Pour ce faire, nous allons, à chaque reprise, analyser un paramètre à la fois. Dans ce premier cas, nous allons uniquement faire varier la température. En d'autres termes, nous allons comparer le scénario M1T1 avec le scénario M1T2 et M1T3 puis nous comparerons le scénario M2T2 avec le scénario M2T3, enfin, nous comparerons le scénario M3T2 avec le scénario M3T3. Dans ce premier exemple, c'est uniquement la valeur de la température qui varie, les scénarios que l'on compare ont donc la même modalité d'habitation et les mêmes modes d'occupation, le but étant de pouvoir comparer ce qui est comparable.

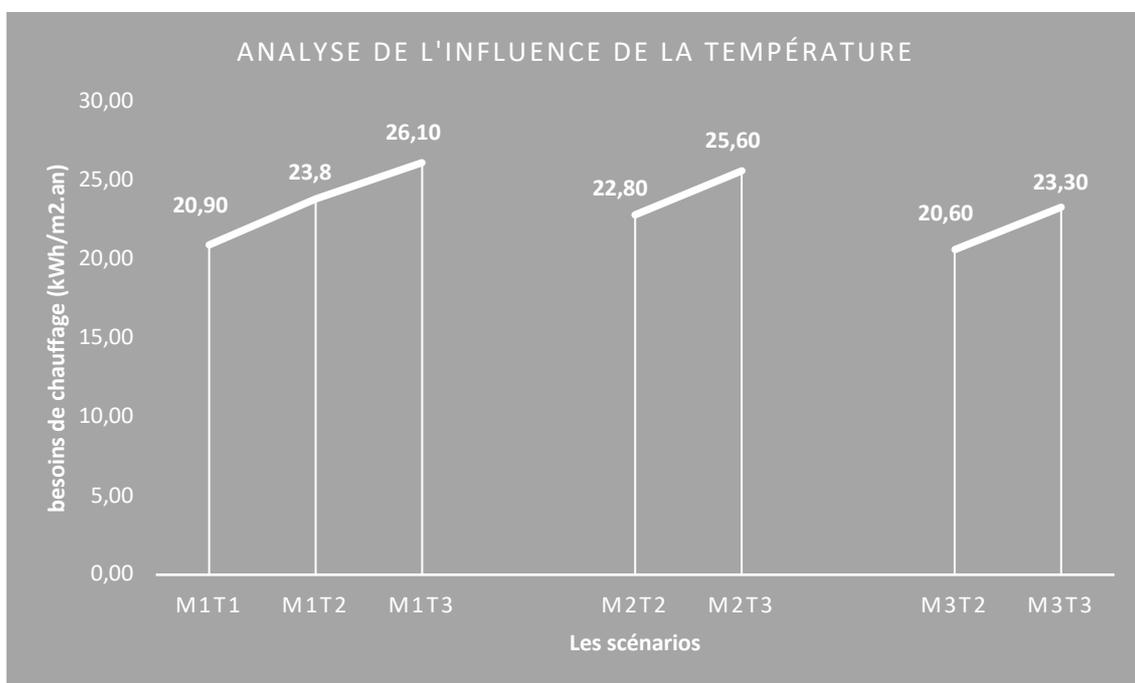


Figure 49 Analyse de l'influence de la température sur les besoins de chauffage – Période 18-35 ans

Sur le graphique ci-dessus, nous pouvons constater que l'augmentation de la température va avoir pour effet d'augmenter les besoins de chauffage. Ces résultats semblent être cohérents car de manière assez logique, le fait d'augmenter la température de chauffage du logement va avoir pour conséquence d'augmenter les besoins de chauffage en vue d'atteindre la nouvelle température de consigne. On peut également observer que l'évolution de la température semble être similaire dans les différents cas étudiés. En effet, le passage d'une température T2 (zone jour à 20°C de 6h à 23h sinon 16°C, zone nuit à 18°C de 23h à 10h sinon 16°C) à T3 (zone jour à 21 °C, zone nuit à 19°C de 7h à 22h sinon 16°C) va avoir pour conséquence d'augmenter les besoins de chauffage d'une manière uniforme malgré des modes d'occupation qui diffèrent. Dans les trois modes d'occupation étudiés, le passage d'une température T2 à T3 a pour conséquence d'augmenter les besoins de chauffage à hauteur de 11%. Nous pouvons ainsi en conclure que dans la période des 18-36 ans, le paramètre de « la gestion de la température de chauffage » semble évoluer de manière uniforme.

4.5.1.2. *Influence des modes d'occupation*

Nous allons désormais analyser l'influence du paramètre « **mode d'occupation** ». Dans une démarche similaire à l'étude de l'

Influence de la température (gestion de la température de chauffage), nous allons uniquement faire varier le paramètre lié aux modes d'occupation. Nous comparerons ainsi le scénario M1T2 avec le scénario M2T2 et M3T2 puis nous comparerons le scénario M1T3 avec le scénario M2T3 et M3T3.

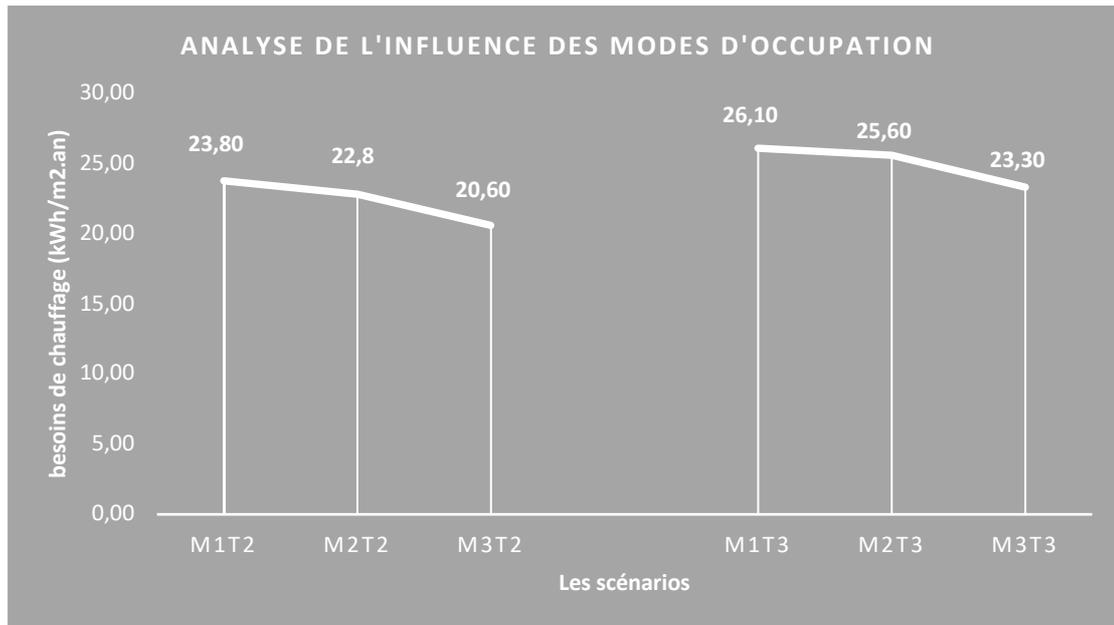


Figure 50 Analyse de l'influence des modes d'occupation sur les besoins de chauffage - Période 18-35 ans

Sur le graphique ci-dessus, nous pouvons constater que pour une même température les besoins de chauffage évoluent avec les modes d'occupation. Par exemple, dans le cas d'une température de chauffage T2 (zone jour à 20°C de 6h à 23h sinon 16°C, zone nuit à 18°C de 23h à 10h sinon 16°C), le passage du mode d'occupation M1 au mode d'occupation M2 va avoir pour effet de diminuer les besoins de chauffage de 4% (on passe de 23,80 kWh/m².an à 22,80 kWh/m².an). Par analogie, lorsque l'on passe du mode d'occupation à M2 au mode d'occupation M3 les besoins de chauffage diminuent de 11% (on passe de 22,80 kWh/m².an à 20,60 kWh/m².an). Cette diminution des besoins de chauffage s'explique par les différents gains internes engendrés et/ou générés par la présence des occupants. Pour rappel :

- Le mode d'occupation M1 correspond au cas où les deux occupants travaillent à l'extérieur du logement.
- Le mode d'occupation M2 correspond au cas où un occupant travaille à l'intérieur du logement
- Le mode d'occupation M3 correspond au cas où les deux occupants travaillent à l'intérieur du logement.

Ainsi, on constate que plus le logement est occupé par des individus plus les besoins de chauffage tendent à diminuer. Cela s'explique pour plusieurs raisons :

- Les occupants apportent de la chaleur sensible et latente
- Les occupants utilisent des équipements électriques qui libèrent de la chaleur
- L'éclairage des pièces génère de la chaleur

Nous pouvons donc en conclure, qu'à partir d'un certain niveau d'isolation, dans notre cas, le standard passif, il est préférable d'occuper au maximum son logement en vue de diminuer drastiquement les besoins de chauffage. En effet, dans le cas d'un bâtiment très bien isolé, les gains internes engendrés par les occupants ne sont pas négligeables. (Réduction de 16 % si l'on passe d'un scénario M1T2 à M3T2 et réduction de 12% si l'on passe d'un scénario M1T3 à M3T3).

4.5.1.3. Influence des modalités d'habitation

Pour terminer, nous allons analyser l'influence du paramètre « modalités d'habitation ». Pour la période des 18-35 ans, nous avons déterminé trois scénarios (M4T1, M4T2 et M4T3) correspondant au mode d'occupation M4 liée à la *Modalité d'habitation 2* (Création de deux logements) (logement de 64 m²). Le mode d'occupation M4 correspond au mode d'occupation M1 mais réadapté pour convenir au logement de 64 m². Nous allons donc comparer les scénarios M1T1, M1T2 et M1T3 avec les scénarios M4T1, M4T2 et M4T3 afin d'analyser l'influence du paramètre « modalités d'habitation » sur les besoins de chauffage du logement.

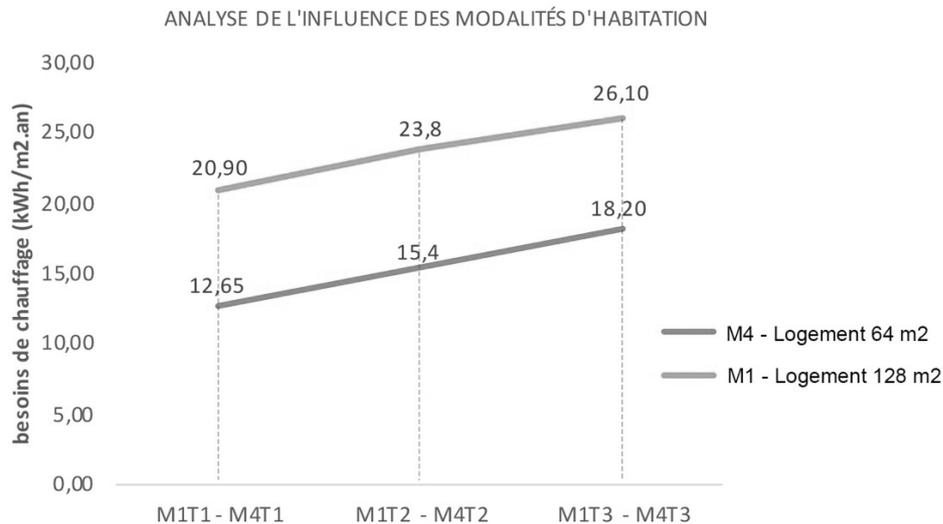


Figure 51 Analyse de l'influence de la modalité d'habitation sur les besoins de chauffage - Période 18-35 ans

Sur le graphique ci-dessus, nous pouvons constater que le fait d'occuper uniquement le RDC (*Modalité d'habitation 2* (Création de deux logements) permet de réduire de manière significative les besoins de chauffage. Cela semble logique car nous réduisons la surface chauffée par deux en passant d'un logement de 128 m² à un logement de 64 m². Il convient tout de même de préciser que nous ne réduisons pas pour autant les besoins de chauffage par deux, par exemple, pour les scénarios M1T1 et M4T1, les besoins de chauffage sont réduits de 39% lorsque l'on choisit d'occuper uniquement le RDC. Pour finir, nous pouvons également observer que la réduction des besoins de chauffage en passant de la *Modalité d'habitation 1* (Utilisation de l'ensemble du bâtiment) à la *Modalité d'habitation 2* (Création de deux logements) tend à diminuer lorsque la température augmente.

- M1T2 → M4T2 : réduction des besoins de chauffage de 35 %
- M1T3 → M4T3 : réduction des besoins de chauffage de 30%
-

On peut donc supposer qu'à partir d'une certaine température (très élevée) le passage de la *Modalité d'habitation 1* (Utilisation de l'ensemble du bâtiment) à la *Modalité d'habitation 2*

(Création de deux logements) n'aurait pas d'utilité. Cependant, dans la réalité, cette température ne sera jamais atteinte, le choix d'utiliser la *Modalité d'habitation 2* (Création de deux logements) (logement de 64 m²) semble donc être la solution la plus optimisée en vue de réduire les besoins de chauffage.

4.5.2. La période des 36-60 ans

Nous allons désormais nous intéresser à la période des 36-60 ans (couple avec deux enfants). Nous étudierons ici l'influence de la gestion de la température et l'influence des modes d'occupation sur les besoins de chauffage. L'objectif étant de vérifier la cohérence des résultats en les comparant notamment avec les résultats présentés précédemment correspondant à la période des 18-35 ans.

4.5.2.1. Influence de la température (gestion de la température de chauffage)

À l'instar de la période des 18-35 ans, nous allons ici, uniquement faire varier la température. En d'autres termes nous allons comparer le scénario M5T1 avec le scénario M5T2. Ces deux scénarios possèdent la même modalité d'habitation, la même gestion de la zone chauffée et un même mode d'occupation, nous permettant, ainsi, d'étudier et analyser l'influence de « **la gestion de la température de chauffage** ».

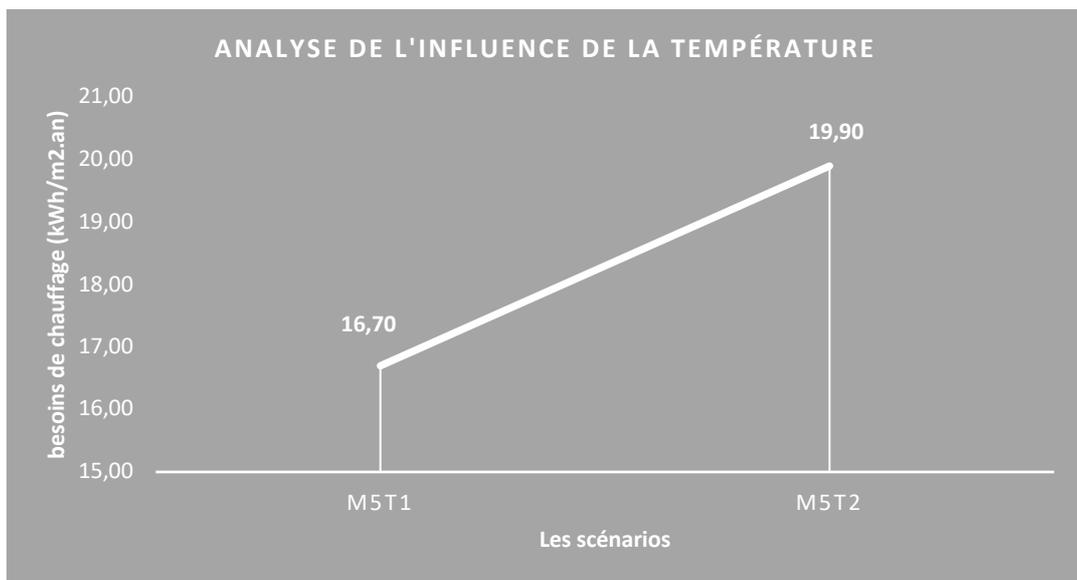


Figure 52 Influence de la température sur les besoins de chauffage - Période 36-60 ans

Sur le graphique ci-dessus, nous constatons une nouvelle fois que l'augmentation de la température va avoir pour effet d'augmenter les besoins de chauffage. Nous passons de 16,70 kWh/m².an pour une température T1 (zone jour à 19°C de 6h à 8h et de 16h à 23h sinon 16°C, zone nuit à 18°C de 22h à 7h sinon 16°C) à 19,90 kWh/m².an pour une température T2 (zone jour à 20°C de 6h à 23h sinon 16°C, zone nuit à 18°C de 23h à 10h sinon 16°C). Dans la période des 36-60 ans, le mode d'occupation M5 correspond au mode d'occupation M1 mais réadapté au profil familial qui a évolué avec l'arrivée de deux enfants. On observe que le passage d'une température T2 à une température T1 permet de réduire les besoins de chauffage de 16% dans le cas du mode d'occupation M5 alors que pour un mode d'occupation M1, les besoins de chauffage sont cette fois-ci réduits de 12%. Cette différence se justifie par le fait que dans

la période des 36-60 ans, la maison est occupée par quatre personnes, ainsi, les gains internes, plus conséquents, permettent de réduire de manière plus efficace les besoins de chauffage.

4.5.2.2. Influence des modes d'occupation

Nous allons désormais analyser l'influence du paramètre « **mode d'occupation** ». Pour ce faire, nous allons dans un premier temps comparer les scénarios M5T2, M6T2 et M7T2 puis nous vérifierons, une fois de plus, la cohérence des résultats avec ceux de la période des 18-35 ans.

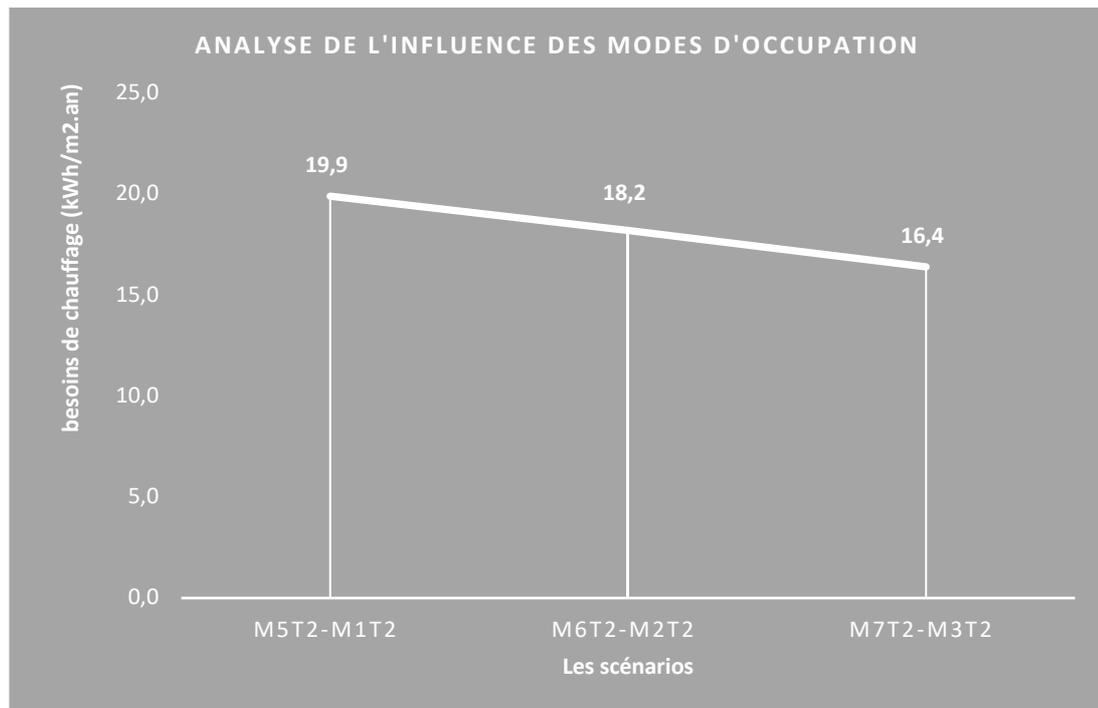
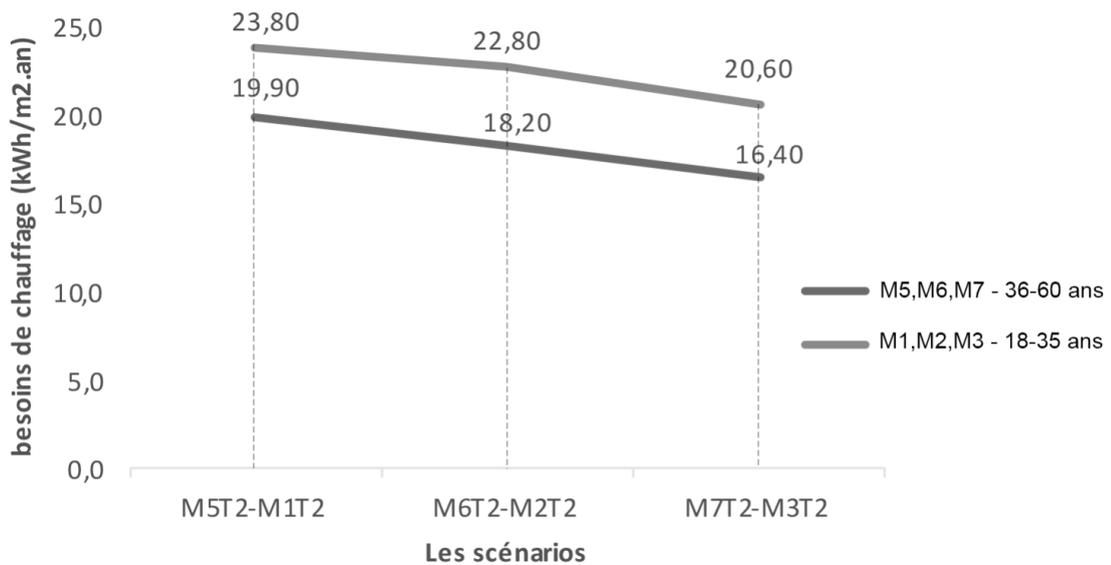


Figure 53 Analyse de l'influence des modes d'occupation sur les besoins de chauffage - Période 36-60 ans

Sur le graphique ci-contre, nous observons, une fois de plus, que pour une même température les besoins de chauffage évoluent avec les modes d'occupation. On observe ainsi que lorsque le logement est occupé en journée, les gains internes engendrés par les occupants sont tels que les besoins de chauffage vont diminuer.

De ce fait, on constate que lorsque l'on passe du mode d'occupation M5 (couple avec deux enfants qui travaille à l'extérieur du logement) au mode d'occupation M6 (couple avec deux enfants, l'un travaille à l'extérieur du logement, l'autre travaille à l'intérieur du logement) les besoins de chauffage passent de 19,90 kWh/m².an à 18,20 kWh/m².an soit une réduction de 8,5%. D'une manière analogue, le passage du mode d'occupation M6 au mode d'occupation M7 (couple avec deux enfants qui travaille à l'intérieur du logement) les besoins de chauffage passent de 18,20 kWh/m².an à 16,40 kWh/m².an soit une réduction de 9%. Finalement, le passage du mode d'occupation M5 au mode d'occupation M7 permettrait de réduire les besoins de chauffage jusqu'à 17,5%.



Sur le graphique ci-dessus nous avons mis en évidence les scénarios M1T2, M2T2 et M3T2 pour la période des 18-35 ans ainsi que les scénarios M5T2, M6T2 et M7T2 pour la période des 36-60 ans. Il est important de préciser que les modes d'occupation M5, M6 et M7 correspondent aux modes d'occupation M1, M2 et M3 mais réadaptés au profil familial qui a évolué avec l'arrivée de deux enfants. Nous avons donc :

- M1 = M5 (les deux adultes travaillent à l'extérieur du logement)
- M2 = M6 (un adulte travaille à l'extérieur tandis que l'autre travaille à l'intérieur du logement)
- M3 = M7 (les deux adultes travaillent à l'intérieur du logement)

Nous pouvons tout d'abord constater que pour la période des 18-35 ans, le passage du mode d'occupation M1 au mode d'occupation M2 entraîne une réduction des besoins de chauffage de 4% alors que pour la période des 36-60 ans, le passage du mode d'occupation M5 au mode d'occupation M6 entraîne une réduction des besoins de chauffage de 8,5 %. Cette différence s'explique par le fait que les gains internes engendrés par la présence d'un seul occupant travaillant dans le logement (M2) sont relativement faibles. Dans le cas du mode d'occupation M6, nous avons, une nouvelles fois une seule personne travaillant dans le logement, mais nous avons également la présence de deux enfants qui engendrent des gains internes conséquents. Lorsque l'on compare le passage du mode d'occupation M2 à M3 (18-35 ans) avec le passage du mode d'occupation M6 à M7 (36-60 ans) on observe un comportement uniforme avec dans les deux cas une réduction des besoins de chauffage proche de 10%. Cela nous permet d'en conclure que pour le logement étudié la présence de deux personnes à temps plein dans le logement entraîne une réduction des besoins de chauffage uniforme pour les deux périodes.

4.5.3. La période des plus de 60 ans

Nous allons terminer la présentation des résultats de la STD par la période des plus de 60 ans (couple de retraités). Nous étudierons ici l'influence de la gestion de la zone chauffée ainsi que l'influence des modalités d'habitation sur les besoins de chauffage.

4.5.3.1. Influence de la gestion de la zone chauffée

Au cours de cette période, nous avons distingué deux cas :

- Le couple de retraités occupe et chauffe l'entièreté du logement
- Le couple de retraités occupe l'entièreté du logement mais ne chauffe que le RDC

Nous allons ici chercher à déterminer l'impact de ce paramètre sur les besoins de chauffage en comparant le scénario M8T3 avec le scénario M9T3 et le scénario M8T4 avec le scénario M9T4. Il convient de rappeler que le mode d'occupation M9 correspond au mode de d'occupation M8 mais réadapté pour convenir au cas où le couple de retraités n'est plus en mesure d'accéder à l'étage et décide donc de ne chauffer que le RDC.

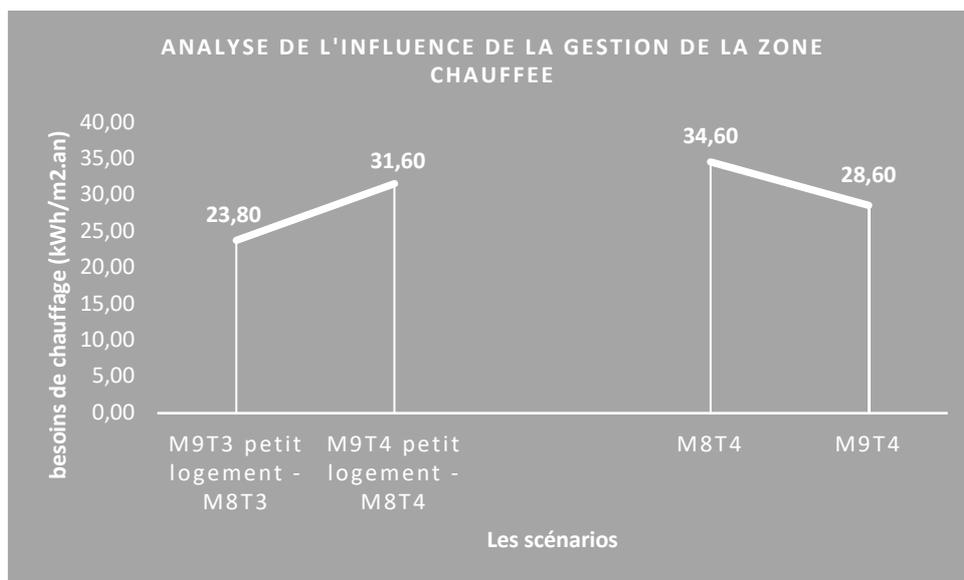
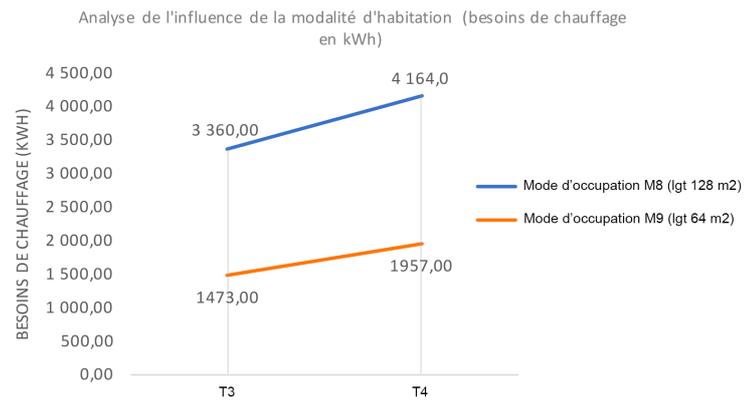
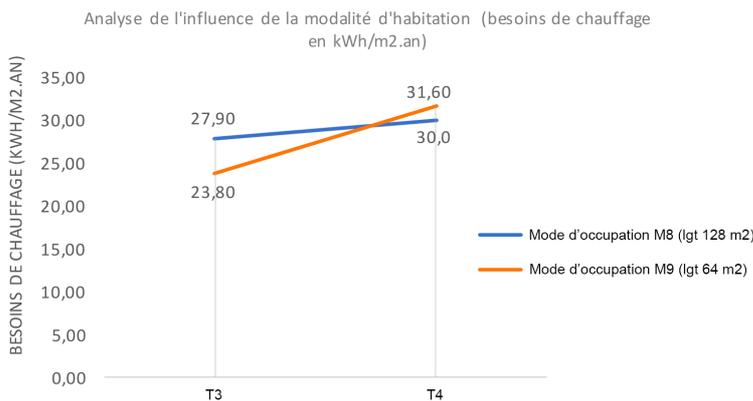


Figure 54 Analyse de l'influence de la gestion de la zone chauffée sur les besoins de chauffage - Période plus de 60 ans

Sur le graphique ci-dessus, on observe que dans le cas d'une température T3 (zone jour à 21 °C, zone nuit à 19°C de 7h à 22h sinon 16°C) il est préférable de chauffer l'entièreté du logement (mode d'occupation M8). À contrario, dans le cas d'une température T4 (zone jour à 23°C de 7h à 22h sinon 20°C, zone nuit à 20°C), il est préférable de ne chauffer que le RDC (mode d'occupation M9). En effet, le passage du scénario M8T4 à M9T4 permet de réduire de 17% les besoins de chauffage en passant de 34,60 kWh/m².an à 28,60 kWh/m².an. Cela nous permet d'en déduire qu'à partir d'une certaine température (élevée) il est préférable de ne chauffer que le RDC. Il est important de préciser que cela s'applique uniquement dans le cas des maisons très bien isolées et étanches.

4.5.3.2. Influence des modalités d'habitation

Pour finir, nous allons analyser l'influence du paramètre « modalités d'habitation ». Pour la période des plus de 60 ans, nous avons déterminé quatre scénarios (M8T3, M8T4, M9T3 et M9T4) liés à la *Modalité d'habitation 1* (Utilisation de l'ensemble du bâtiment) et deux scénarios (M9T3 petit logement et M9T4 petit logement) liés à la *Modalité d'habitation 2* (Création de deux logements) (logement de 64 m²). Le mode d'occupation M9 correspond aux scénarios où les occupants utilisent uniquement le RDC. Afin d'analyser l'influence du paramètre « modalités d'habitation » sur les besoins de chauffage du logement nous allons comparer les scénarios M8T3, M8T4 avec les scénarios M9T3 petit logement et M9T4 petit



logement.

Sur le premier graphique nous pouvons observer que pour une température T3 (zone jour à 21 °C, zone nuit à 19°C de 7h à 22h sinon 16°C), les besoins de chauffage exprimés en kWh/m².an sont plus faibles dans le cas du mode d'occupation M9, il semble donc préférable de privilégier l'utilisation du logement de 64 m² (*Modalité d'habitation 2* (Création de deux logements)) en vue de réduire ses besoins de chauffage. À contrario, pour une température T4 (zone jour à 23°C de 7h à 22h sinon 20°C, zone nuit à 20°C), on constate que les besoins de chauffage deviennent plus importants dans le cas du mode d'occupation M9. À première vue, il semble donc plus intéressant d'opter pour l'utilisation du logement entier (*Modalité d'habitation 1* (Utilisation de l'ensemble du bâtiment)) si l'on souhaite mettre en place une température T4 dans le logement. Cependant, il convient également de regarder les besoins de chauffage globaux exprimés en kWh. En effet, les quatre scénarios que nous comparons n'ont pas la même surface de plancher chauffé. Ainsi, lorsque l'on s'intéresse aux besoins de chauffage globaux on remarque (graphique 2) que le mode d'occupation M9 lié à la modalité d'habitation est dans tous les cas plus intéressants. On constate que pour une température T3, l'utilisation du petit logement permet de réduire les besoins de chauffage de 56 % en passant de 3360 kWh à 1473 kWh. Enfin, pour une température T4, l'utilisation du petit logement permet de réduire les besoins de chauffage de 53% en passant de 4164 kWh à 1957 kWh.

Finalement, nous avons pu observer que dans tous les cas, l'utilisation du petit logement (*Modalité d'habitation 2* (Création de deux logements)) était la solution la plus efficace en vue de réduire les besoins de chauffage.

4.5.4. Les scénarios retenus pour l'Analyse du Cycle de Vie

Nous allons désormais sélectionner les scénarios retenus pour l'Analyse du Cycle de Vie. Comme énoncé précédemment, la sélection est réalisée uniquement sur la base des résultats issus de la Simulation Thermique Dynamique. Nous allons, pour chacune des catégories d'âge retenir :

- Un scénario optimal (scénario ayant les besoins de chauffage les plus faibles)
- Un scénario de référence (scénario le plus représentatif)
- Un scénario minimal (scénario ayant les besoins de chauffage les plus importants)

| | Période d'âge | | |
|-----------------------|---------------|-----------|----------------|
| | 18-35 ans | 36-60 ans | Plus de 60 ans |
| Scénario optimal | M4T1 | M7T2 | M9T3 |
| Scénario de référence | M1T2 | M6T2 | M8T3 |
| Scénario minimal | M1T3 | M5T2 | M8T4 |

Finalement, la Simulation Thermique Dynamique nous a dans un premier temps permis d'analyser l'influence des modes de vie sur les besoins de chauffage. Dans un second temps, elle nous a permis de justifier le choix des trois scénarios retenus en vue de réaliser l'ACV. Comme vous pouvez le constater, les trois scénarios retenus sont composés de trois variantes correspondant aux trois catégories d'âge étudiées. Vous pouvez retrouver sur le graphique ci-dessous, la mise en évidence des trois scénarios et variantes étudiées.

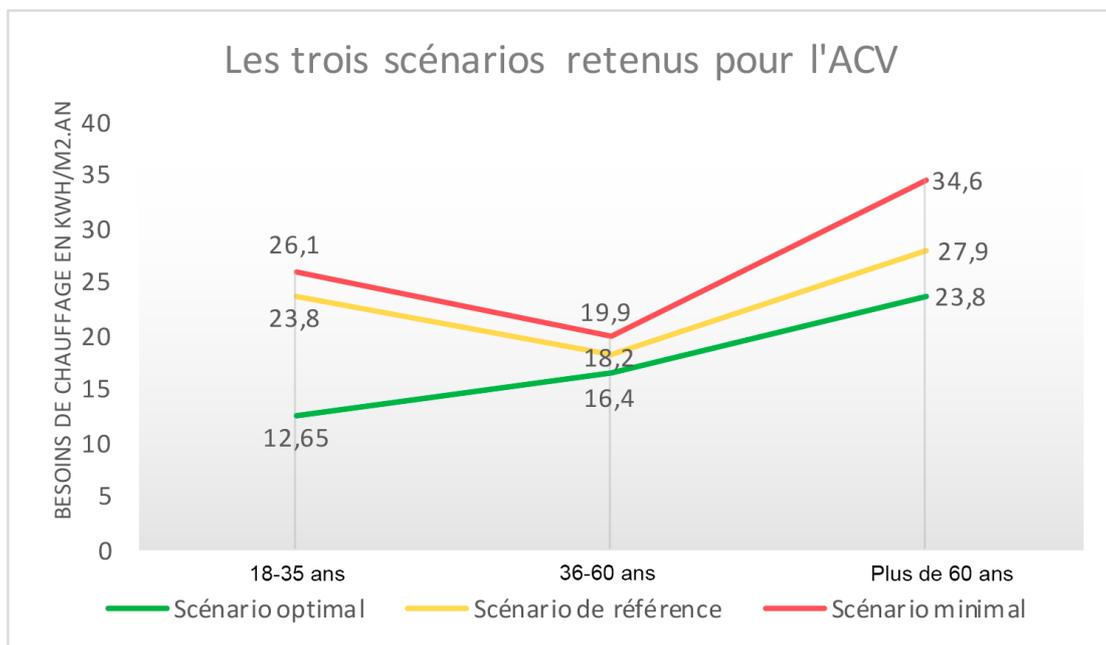


Figure 55 Synthèse des scénarios retenus pour l'ACV

Chapitre 5 : Analyse du cycle de vie (ACV)

Nous allons désormais aborder la dernière étape de notre étude, à savoir, l'analyse du cycle de vie. Avant tout, Il convient de préciser que nous avons dû revoir en grande partie notre méthodologie en vue de réaliser cette simulation. La STD, réalisée au préalable, nous a permis de retenir pour chaque période d'âge trois scénarios : un scénario de référence, un scénario optimal et un scénario minimal. L'idée de départ était de compiler les trois scénarios de référence, les trois scénarios minimaux et les trois scénarios optimaux pour ne finalement retenir que trois scénarios à étudier et à analyser. Or, après plusieurs discussions et échanges avec des membres de Izuba énergies (entreprise qui s'occupe du logiciel Pleiades) nous nous sommes rendu compte qu'il était actuellement impossible de réaliser une simulation dynamique permettant de compiler plusieurs scénarios en une seule simulation. De ce fait, nous avons dû nous adapter et revoir en partie notre méthodologie. Nous avons donc décidé de réaliser à l'instar de la STD une analyse période d'âge par période d'âge. Nous pouvons également ajouter que les membres d'Izuba énergies avec qui nous avons échangé ont trouvé l'idée d'une simulation dynamique très intéressante. Ils sont par ailleurs actuellement en train de développer un module capable d'intégrer plusieurs scénarios à une seule simulation.

Ce module n'étant actuellement pas disponible, nous allons donc analyser les trois scénarios d'une même période d'âge afin de comparer ce qui est comparable. A chaque fois, nous présenterons en premier lieu les résultats ACV du scénario de référence puis nous le comparerons avec le scénario minimal et le scénario optimal.

5.1. Encodage des données supplémentaires

La précédente étape, à savoir la simulation thermique dynamique nous a permis d'encoder sur le logiciel un grand nombre de données telles que :

- La modélisation du bâtiment
- Les matériaux, menuiseries et ponts thermiques
- Les données météorologiques
- Les scénarios de chauffage et d'occupation

Les résultats issus de la STD, à savoir les besoins et consommations d'énergies et d'eau sont également récupérés par le logiciel en vue de réaliser l'ACV. Il nous reste cependant un certain nombre de données supplémentaires à encoder que nous allons vous présenter par la suite.

5.1.1. Les données relatives aux matériaux

Pour chaque matériau, nous avons dû attribuer une référence à partir de la base de données Ecoinvent v2.2 dans l'optique de mesurer leurs impacts environnementaux. Concernant la durée de vie des matériaux nous nous sommes référés aux valeurs préconisées par le logiciel à savoir :

- **10 ans** pour les revêtements
- **20 ans** pour les équipements spécifiques
- **30 ans** pour les menuiseries
- **80 ans** pour les éléments structurels (même durée de vie que le bâtiment)
- **80 ans** pour les isolants (même durée de vie que le bâtiment)

En ce qui concerne le transport des matériaux, nous nous sommes référés au contexte local de la Belgique à savoir (Servaes et al., 2013) :

- **100 km** du site de production jusqu'au chantier (construction)
- **50 km** du logement jusqu'à la décharge (fin de vie)

5.1.2. Les données relatives à l'énergie

Dans une volonté de réaliser une étude des plus réaliste nous nous sommes référés au mix énergétique de Belgique qui est en juin 2021 le suivant :

- **59,5%** d'énergie nucléaire
- **23 %** d'énergie fossiles et autres
- **10%** d'énergie solaire
- **5,5%** d'énergie éolienne
- **2%** d'autres énergies renouvelables.

Vous pouvez retrouver ces valeurs sur le site suivant : forumnucleaire.be

5.1.3. Les données relatives aux déchets

Les déchets et le tri sélectif sont également pris en compte dans l'analyse du cycle de vie. Une nouvelle fois, nous nous sommes référés aux chiffres relatifs à la Belgique (moinsdedechets.wallonie.be). Nous avons 90% des déchets de verres et 75% des déchets papiers et cartons qui sont recyclés ainsi que 40% des déchets ménagers (1500 g/personne/jour) qui sont envoyés à l'incinérateur avec un rendement de 85%. En ce qui concerne les distances de transport des déchets nous nous sommes référés aux valeurs par défaut fournies par le logiciel à savoir : 10 km du logement à la décharge, 100 km jusqu'à l'incinérateur et 50 km jusqu'au site de recyclage.

5.1.4. Les données relatives à l'eau

Concernant l'installation générale de notre système, nous avons considéré que celle-ci était équipée d'un réducteur de pression avec une longueur moyenne de distribution d'eau chaude sanitaire (ECS) inférieure ou égale à 8m. L'eau potable ne sera pas utilisée pour arroser les espaces verts extérieurs.

En ce qui concerne les consommations en eau froide et eau chaude nous avons considéré et encodé les équipements suivants :

- **Évier** (durée d'utilisation de 2 minutes)
 - Débit : 5l/min
 - Nb d'utilisations : 1/j/personne
- **Lavabo** (durée d'utilisation de 2 minutes)
 - Débit : 5l/min
 - Nb d'utilisations : 2/j/personne
- **Douche** (durée d'utilisation de 7 minutes)
 - Débit : 7l/min
 - Nb d'utilisations : 7/semaine/personne
- **Lave-vaisselle**
 - Capacité : 15l
 - Nb d'utilisations : 1/semaine/logement

- **Chasse d'eau**
 - Capacité : double flux 4l/2l
 - Nb d'utilisations 3/j/personnes

- **Lave-linge**
 - Capacité : 70l
 - Nb d'utilisations : 1/semaine/logement

Ces divers équipements nous amènent donc à une consommation en eau totale de 103 litres par personne et par jour avec 50% d'ECS. Nous avons souhaité vérifier nos résultats auprès du site [Engie.be](https://www.engie.be) qui nous apprend que la consommation moyenne d'eau en Belgique est actuellement autour de 96 litres par personne et par jour. Nos résultats semblent donc être cohérents.

5.1.5. Les données relatives aux transports

Notre étude comprend également l'intégration de la composante mobilité qui permet de déterminer l'impact environnemental engendré par les déplacements quotidiens des occupants du logement. Les trajets quotidiens diffèrent selon les périodes d'âge et les scénarios étudiés.

- **Période des 18-35 ans** : Nous estimons pour les trois scénarios étudiés (M1T2, M1T3 et M4T1) que 100 % des occupants effectuent un trajet quotidien.
- **Période des 36-60 ans** : Nous estimons pour les scénarios M7T2 et M6T2 que 75% des occupants (3 occupants sur 4)
- **Période des plus de 60 ans** : Nous estimons pour les trois scénarios étudiés (M8T3, M9T3 et M8T4) que 50% des occupants effectuent un trajet quotidien (1 occupant sur 2).

Les distances que nous avons considéré dans cette étude sont les suivantes :

- Distance du trajet domicile-commerce : 6 km
- Distance du trajet journalier domicile-travail : 6 km
- Distance du trajet journalier domicile-école (enfants) : 5 km
- Distance au réseau de transport en commun : 1 km

A noter également que nous avons considéré que le mode de transport en commun sera dans le cadre de cette étude le bus.

5.2. Les résultats de l'ACV – Période des 18-35 ans

5.2.1. Le scénario de référence

Nous allons commencer par vous présenter les résultats relatifs au scénario de référence considéré pour la période des 18-35 ans. Pour rappel, il s'agit du scénario M1T2 à savoir : « *Couple actif travaillant à l'extérieur du logement, qui chauffe l'habitation à une température de consigne T2 et qui occupe l'entièreté du logement* ». Vous pouvez retrouver les résultats sur le *Tableau 9*. Dans un premier temps les résultats des 12 impacts environnementaux sont donnés pour l'ensemble du logement, à savoir « *Logement unifamilial belge quatre façades s'élevant sur deux niveaux ayant une surface construite au sol de 79,21m² avec une surface de plancher de 128m², occupé par deux personnes, étudié sur une durée de vie de 80 ans et situé à Saint-Hubert en province du Luxembourg* ». Dans un second temps, afin de pouvoir aisément comparer nos résultats nous avons décidé d'exprimer les impacts environnementaux par habitant par an et par m² par an.

Tableau 9 Résultats ACV du scénario de référence de la période des 18-35 ans

| Impact | Unité | Valeur sur 80 ans | Valeur par hab. et par an | Valeur par m2 et par an |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|
| Effet de serre (100 ans) | t CO2 eq. | 463,77 | 2,9 | 0,05 |
| Acidification | kg SO2 eq. | 1 749,54 | 10,93 | 0,17 |
| Demande cumulative d'énergie | GJ | 14 150,07 | 88,44 | 1,38 |
| Eau utilisée | m3 | 24 036,06 | 150,23 | 2,35 |
| Déchets produits | t | 281,7 | 1,76 | 0,03 |
| Epuisements ressources abiotiques | kg d'antimoine eq. | 4 056,14 | 25,35 | 0,4 |
| Eutrophisation | kg PO4 eq. | 723,41 | 4,52 | 0,07 |
| Production d'ozone photochimique | kg d'éthylène eq. | 125,93 | 0,79 | 0,01 |
| Domage biodiversité | PDF.m2.an | 17 310,37 | 108,19 | 1,69 |
| Déchets radioactifs | dm3 | 13,48 | 0,08 | 0 |
| Domage à la santé | DALYs | 0,48 | 0 | 0 |
| Odeur | Mm3 air | 14 332,92 | 89,58 | 1,4 |

Les impacts environnementaux du *Tableau 9* sont exprimés sur l'ensemble du cycle de vie. Nous allons maintenant nous intéresser à la contribution des différentes phases du cycle de vie de l'habitation à savoir :

- Phase de construction
- Phase d'utilisation
- Phase de rénovation
- Phase de démolition

Vous pouvez observer les résultats sur le *Tableau 10* qui indique pour chaque phase du cycle de vie, les impacts environnementaux engendrés et leurs contributions exprimées en pourcentage par rapport à l'impact total.

Tableau 10 Résultats détaillés de l'ACV du scénario de référence de la période des 18-35 ans

| Impact | Résultats | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|-----------|
| | Construction | Utilisation | Rénovation | Démolition | Total |
| Effet de serre (100 ans) | 16,9 3,64% | 441,92 95,29% | 3,34 0,72% | 1,59 0,34% | 463,77 |
| Acidification | 176,97 10,12% | 1534,49 87,71% | 26,76 1,53% | 11,3 0,65% | 1 749,53 |
| Demande cumulative d'énergie | 1995,15 14,10% | 12023,01 84,97% | 94,71 0,67% | 37,19 0,26% | 14 150,07 |
| Eau utilisée | 336,05 1,40% | 23633,48 98,33% | 41,75 0,17% | 24,76 0,10% | 24 036,06 |
| Déchets produits | 16,82 5,97% | 130,8 46,43% | 6,81 2,42% | 127,24 45,17% | 281,69 |
| Epuisements ressources abiotiques | 235,85 5,81% | 3771,33 92,98% | 32,93 0,81% | 16,01 0,39% | 4 056,14 |
| Eutrophisation | 50,33 6,96% | 660,53 91,31% | 10,27 1,42% | 2,27 0,31% | 723,40 |
| Production d'ozone photochimique | 11,62 9,23% | 112,56 89,38% | 1,41 1,12% | 0,33 0,26% | 125,93 |
| Domage biodiversité | 1077,21 6,22% | 15697,58 90,68% | 502,71 2,90% | 32,87 0,19% | 17 310,37 |
| Déchets radioactifs | 0,46 3,42% | 12,97 96,22% | 0,041 0,31% | 0,006 0,05% | 13,48 |
| Domage à la santé | 0,042 8,79% | 0,428 88,93% | 0,008 1,78% | 0,002 0,5% | 0,48 |
| Odeur | 475,38 3,32% | 13722,3 95,74% | 70,79 0,49% | 64,44 0,45% | 14 332,91 |
| Pourcentage moyen | 6,58% | 88,16% | 1,20% | 4,06% | 100% |

En réalisant la moyenne des contributions des 12 impacts environnementaux, on observe que la phase d'utilisation est l'étape du cycle de vie la plus préjudiciable. En effet, elle contribue à hauteur de **88,16%** des impacts totaux. Nous avons ensuite la phase de construction puis la phase de démolition et enfin la phase de rénovation qui génèrent respectivement 6,58%, 4,06% et 1,20% des impacts environnementaux. Ces résultats semblent être cohérents car d'après la littérature, la phase d'utilisation représente l'impact environnemental le plus élevé entre 62 et 98% des impacts totaux du cycle de vie. (Rossi et al., 2012)

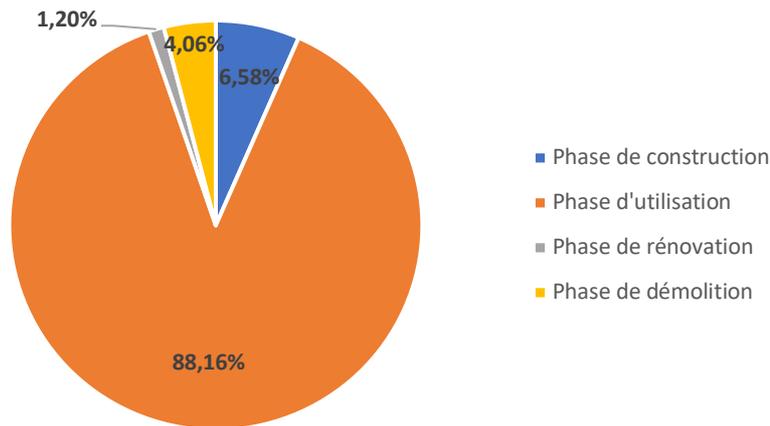


Figure 56 Répartition des impacts environnementaux dans les différentes phases du cycle de vie - Scénario de référence de la période des 18-35 ans

Nous allons désormais représenter sur un même graphique les 12 impacts environnementaux calculés sur l'ensemble du cycle de vie du logement. Afin de les comparer nous avons normalisé les indicateurs par rapport aux impacts moyens par habitant et par an. Ce type de graphique nommé « *Ecoprofil* » est très utile afin d'observer les contributions des différents impacts. Figure 57

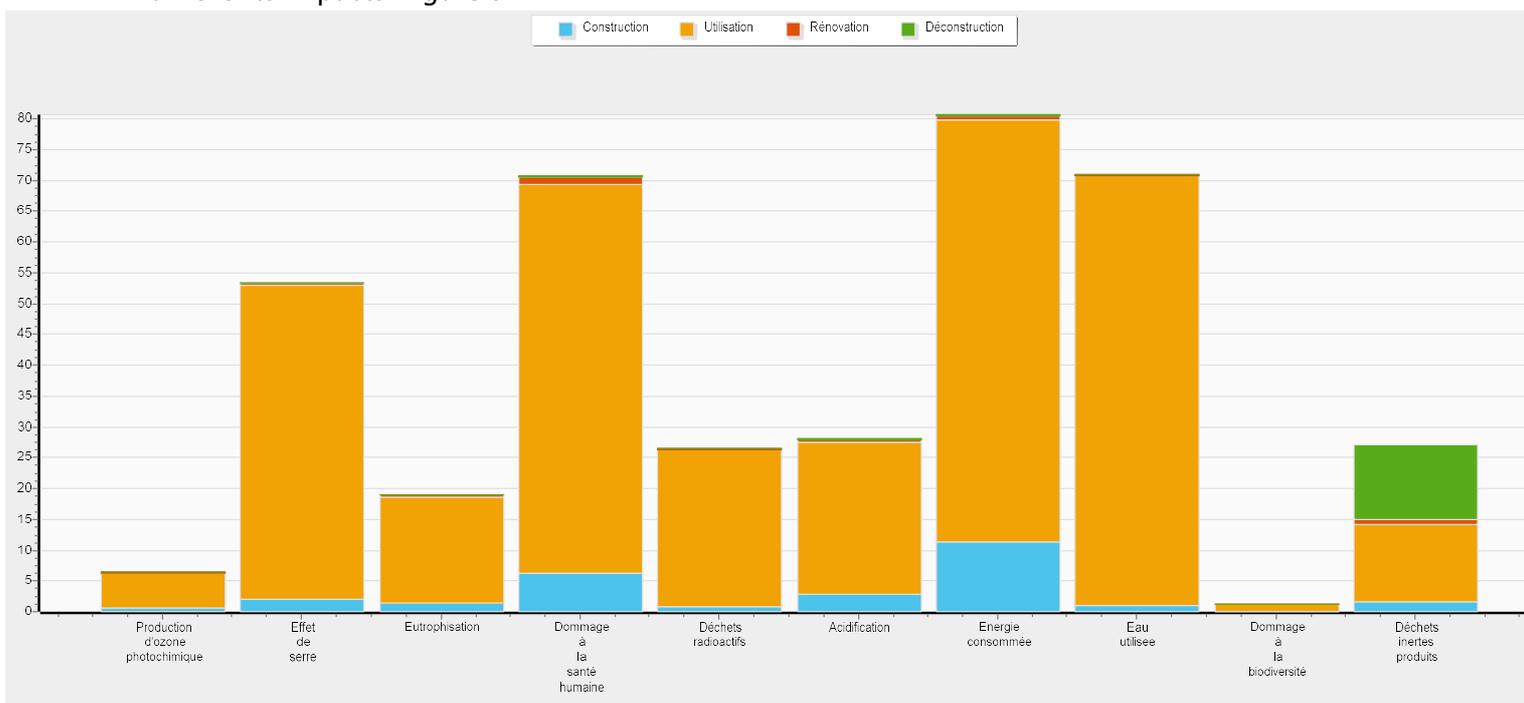


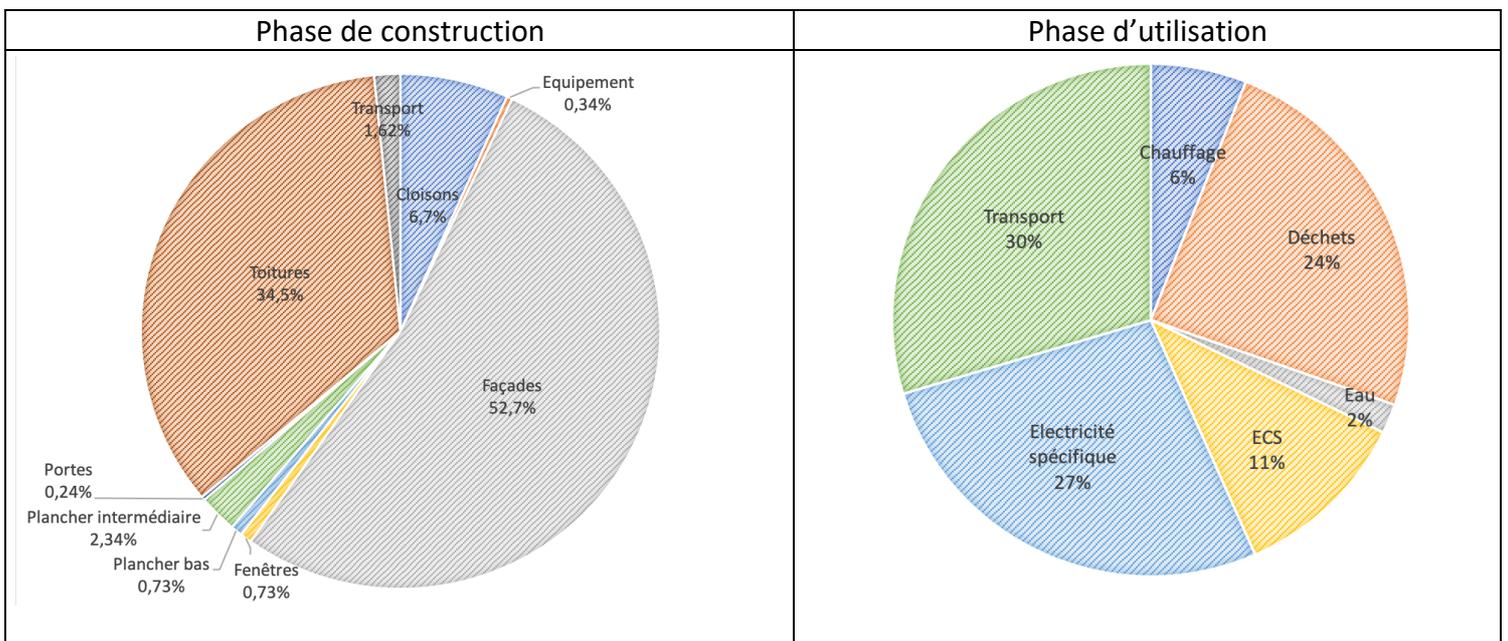
Figure 57 Ecoprofil du scénario de référence de la période des 18-35 ans – Pleiades ACV

D'après l'Ecoprofil, nous pouvons constater que le logement étudié a une contribution élevée sur :

- Énergie consommée
- Eau utilisée
- Dommage à la santé humaine
- Effet de serre

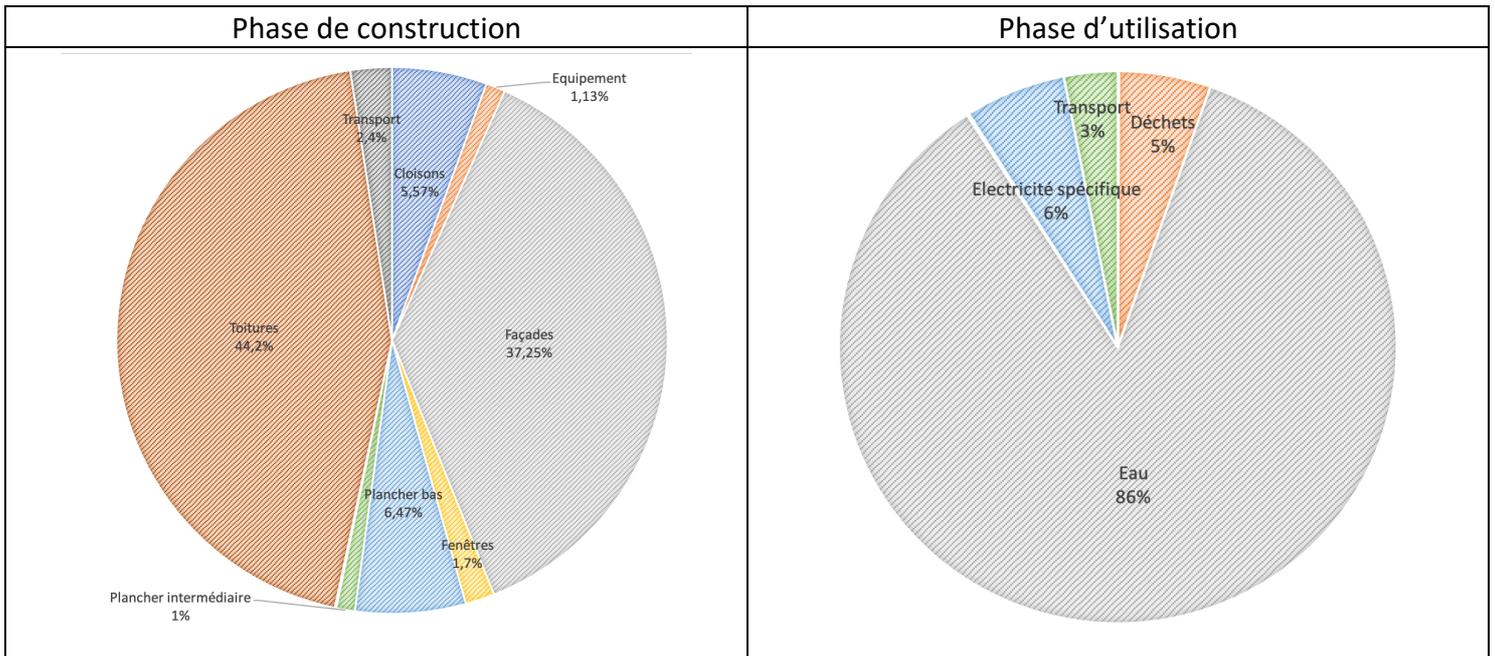
Nous allons désormais nous intéresser plus en détail à ces 4 impacts, en étudiant leur contribution pendant la phase de construction et la phase d'utilisation. Nous négligeons la phase de rénovation et de démolition étant donné leur faible contribution.

5.2.1.1. Énergie consommée



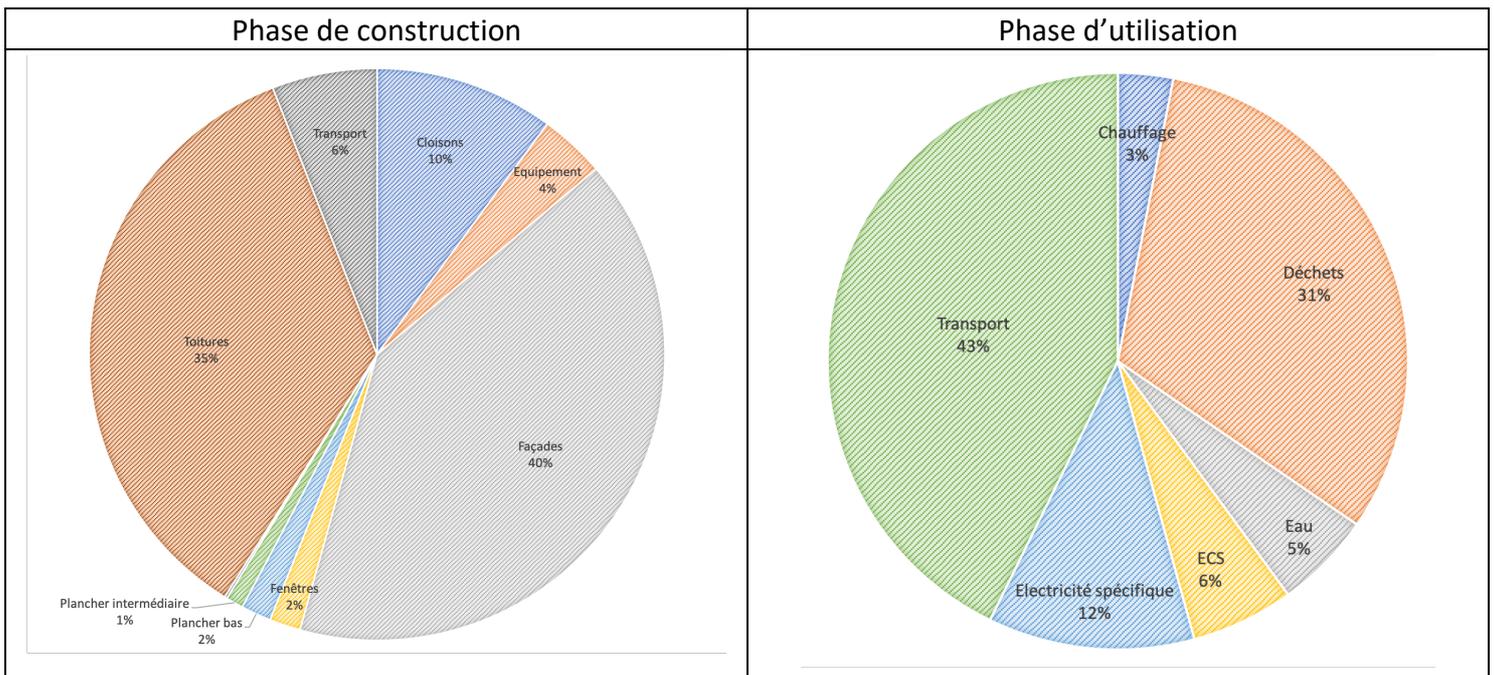
- Concernant la **phase de construction** (responsable de 14,10% de l'énergie consommée) nous pouvons observer que les façades sont responsables de plus de la moitié de l'énergie consommée. La toiture a également un impact significatif étant responsable de plus de 34% de l'énergie consommée. Ainsi, les façades et la toiture sont à eux deux responsables de plus de 85% de l'énergie consommée pendant la phase de construction.
- Concernant la **phase d'utilisation** (responsable de 84,97% de l'énergie consommée), nous pouvons constater que le transport est la composante la plus préjudiciable à hauteur de 30%, ensuite vient l'électricité spécifique (27%) puis les déchets (24%). On observe ainsi que ces trois composantes sont responsables de plus de 81 % de l'énergie consommée pendant la phase d'utilisation. Finalement, nous pouvons observer que le couplage chauffage + ECS, responsable respectivement de 6% et 11% de l'énergie consommée a un impact réduit comparé au transport, à l'électricité spécifique et à la gestion des déchets.

5.2.1.2. Eau utilisée



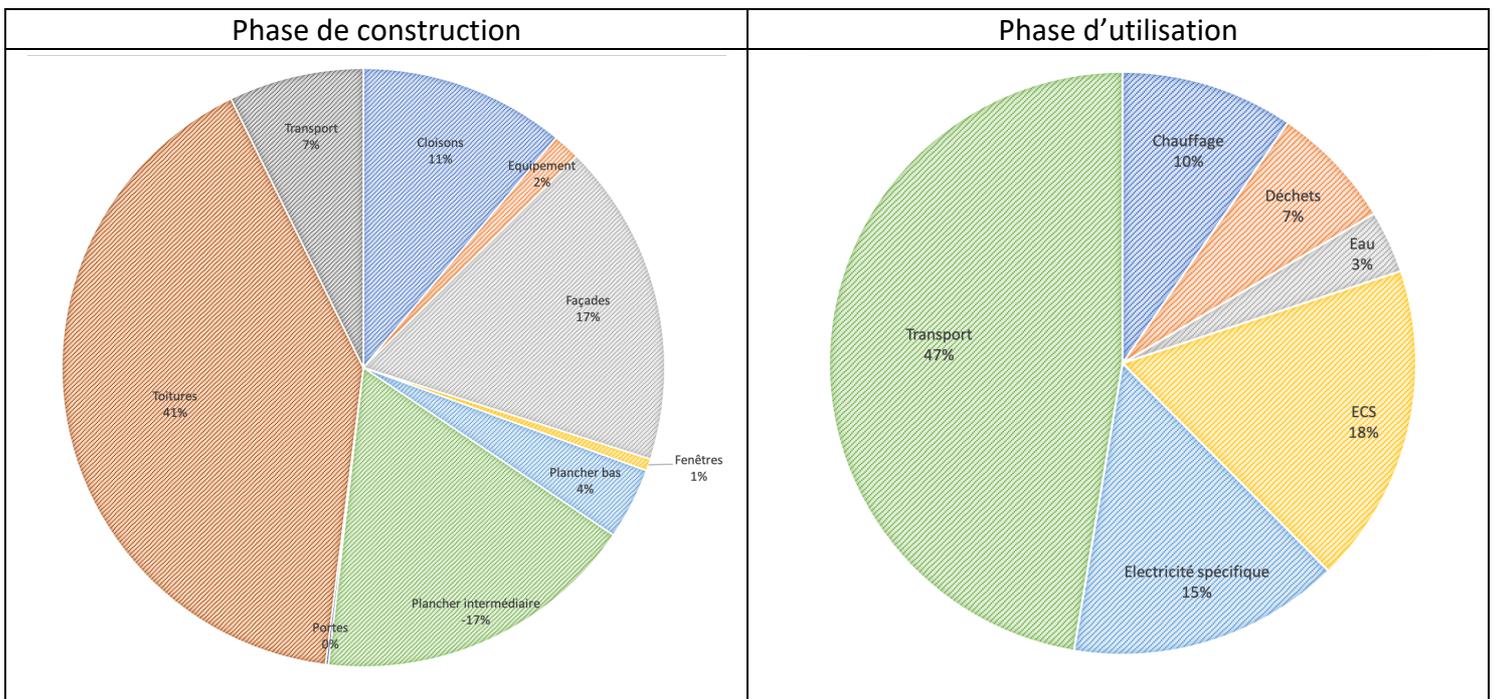
- Concernant la **phase de construction** (responsable de 1,40% de l'eau utilisée) nous pouvons observer une nouvelle fois que la toiture et les façades sont les éléments les plus impactant responsables respectivement de 44,2 et 37,25% de l'eau consommée.
- Concernant la **phase d'utilisation** (responsable de 98,33% de l'eau utilisée), nous pouvons logiquement constater que les besoins en eau journaliers sont responsables de 86% de l'eau utilisée pendant la phase d'utilisation.

5.2.1.3. Dommage à la santé humaine



- Concernant la **phase de construction** (responsable de 8,79% des dommages sur la santé humaine) nous pouvons observer que les façades et la toiture sont une fois de plus les éléments les plus impactant respectivement responsables de 40% et 35% des dommages sur la santé humaine. On peut également mettre en évidence les cloisons qui sont quant à elles responsables à hauteur de 10% des dommages sur la santé humaine pendant la phase de construction.
- Concernant la **phase d'utilisation** (responsable de 88,93% des dommages sur la santé humaine), nous pouvons observer l'impact significatif du transport responsable de 43% des dommages sur la santé humaine. La gestion des déchets a également un impact significatif à hauteur de 31%.

5.2.1.4. Effet de serre



- Concernant la **phase de construction** (responsable de 3,64% des émissions de gaz à effet de serre) nous pouvons observer que la toiture est pratiquement responsable de la moitié des émissions de gaz à effet de serre (41%). La contribution des façades (17% des émissions de GES) est quant à elle réduite comparé aux autres impacts étudiés. Nous pouvons également remarquer que le plancher intermédiaire permet quant à lui de réduire à hauteur de 17% les émissions de gaz à effet de serre.
- Concernant la **phase d'utilisation** (responsable de 95,29% des émissions de gaz à effet de serre) nous pouvons observer la contribution très importante du transport responsable de 47% des émissions de gaz à effet de serre. Les émissions dues à l'ECS et l'électricité spécifique sont similaires représentant respectivement 18% et 15% des émissions de GES. Enfin, on peut observer que les émissions dues au chauffage ne représentent que la moitié des émissions dues à l'ECS (10%).

Finalement, l'analyse détaillée de ces quatre impacts nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- La toiture et les façades sont pour les quatre impacts étudiés les éléments les plus préjudiciables pendant la phase de construction. Ainsi, dans notre cas, il faudrait chercher à améliorer en priorité ces deux éléments en vue de réduire significativement les impacts environnementaux.
- Les performances thermiques du bâtiment considéré sont telles que la composante transport est à chaque reprise (hormis pour l'eau utilisée) la plus préjudiciable pendant la phase d'utilisation. On constate également la forte participation de la composante gestion des déchets ainsi que la composante électricité spécifique.

Pour finir sur cette analyse des résultats de l'ACV du scénario de référence, nous avons à chaque reprise cherché à vérifier l'ordre de grandeur et la cohérence de nos résultats. Pour ce faire, nous nous sommes référés à plusieurs études ACV récentes telles que les travaux de fin d'étude de Mathieu Sevin (2018), Charline Malmedy (2020) et l'étude de Rossi et al. (2012) qui semblent confirmer la cohérence de nos résultats ACV.

Nous allons désormais nous intéresser à comparer les résultats du scénario de référence avec le scénario optimal et le scénario minimal. Dans cette première période d'âge, nous étudierons l'influence que peut avoir la gestion de la température et la modalité d'habitation sur les impacts environnementaux.

5.2.2. Impact de la gestion de la température

Nous allons ici chercher à analyser l'influence de la gestion de la température sur les résultats de l'ACV à l'échelle du bâtiment. Pour ce faire, nous allons comparer le scénario de référence (M1T2) avec le scénario minimal (M1T3). L'unité fonctionnelle considérée pour cette analyse est l'ensemble du bâtiment. Dans cette première comparaison, les deux scénarios sont identiques en tout point mis à part sur la gestion de la température. Pour rappel, nous avons considéré les deux gestions de température suivantes :

- Pour le **scénario de référence**, zone jour à 20°C de 6h à 23h sinon 16°C et zone nuit à 19°C de 22h à 7h sinon 16°C
- Pour le **scénario minimal**, zone jour à 21°C et zone nuit à 19°C de 22h à 7h sinon 16°C

Les résultats de la *Figure 58* montrent qu'il n'y a aucune différence au niveau des résultats de l'ACV de ces deux scénarios. Cela nous apprend donc que la gestion de la température au sein du logement n'a pratiquement aucune influence sur les impacts environnementaux. Ces résultats peuvent également s'expliquer par le fait que les températures T2 et T3 sont relativement proches. En effet, la gestion de la température de la zone nuit est identique dans les deux scénarios, seule la température de la zone jour diffère.

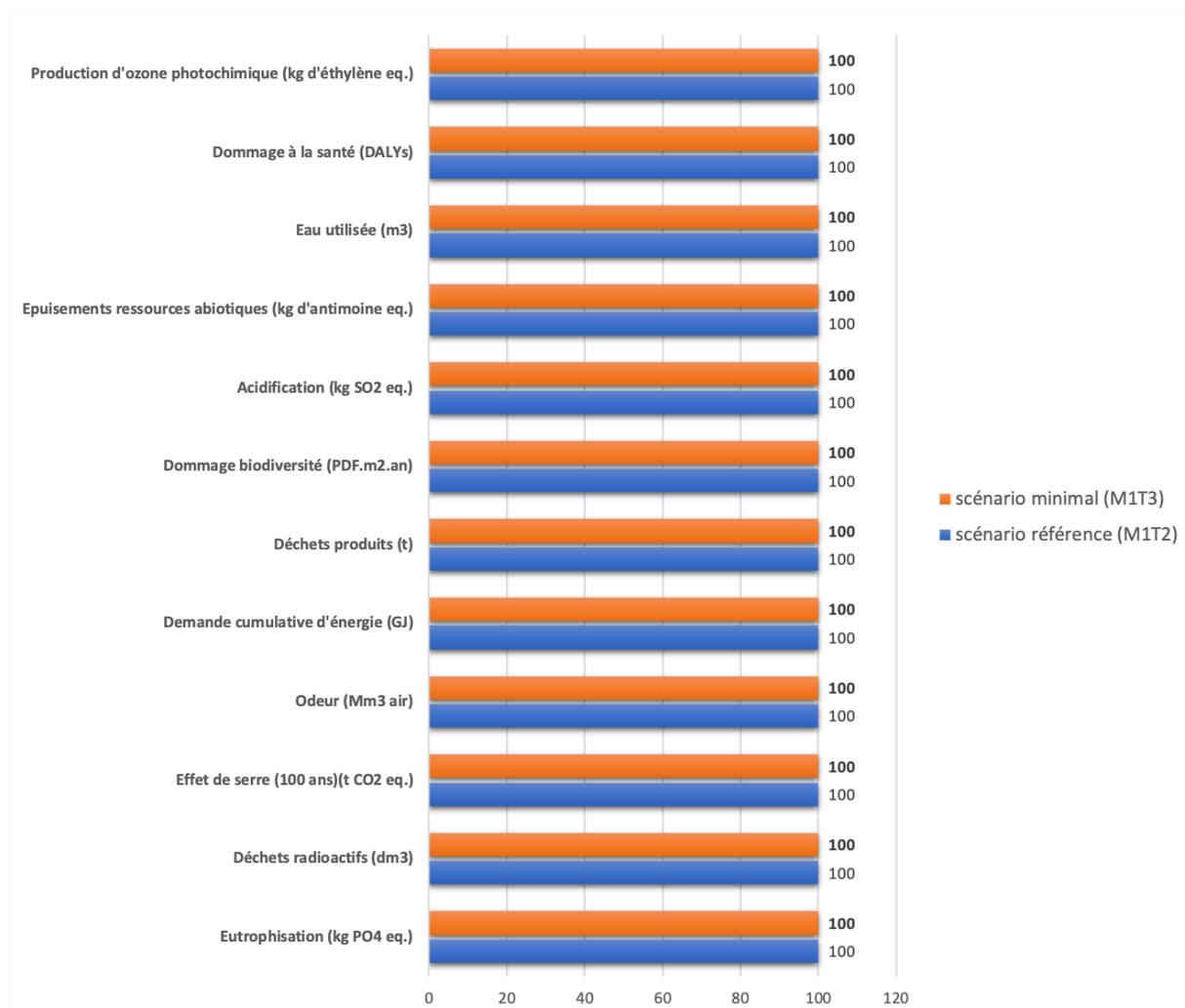


Figure 58 Analyse de l'influence de la température sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence et du scénario M1T3 (Unité fonctionnelle : logement entier)

Afin de vérifier la cohérence de notre analyse et de nos résultats nous avons décidé de réaliser une deuxième comparaison. Pour cela, nous allons comparer le scénario de référence avec le scénario M1T1. Cette fois ci, la température de la zone jour et de la température de la zone nuit sont différentes dans les deux scénarios comparés. Pour rappel, la gestion de température T1 équivaut à : zone jour à 19°C de 6h à 8h et de 16h à 23h sinon 16°C et zone nuit à 18°C de 22h à 7h sinon 16°C.

Les résultats de la Figure 59, montrent qu'il y a cette fois une différence entre le scénario de référence et le scénario M1T1. Cependant, nous observons dans le cas du scénario M1T1 une diminution de moins de 1% sur l'ensemble des impacts environnementaux. Cette deuxième analyse confirme donc que la gestion de la température a une influence très minime voire presque inexistante sur les résultats de l'ACV.

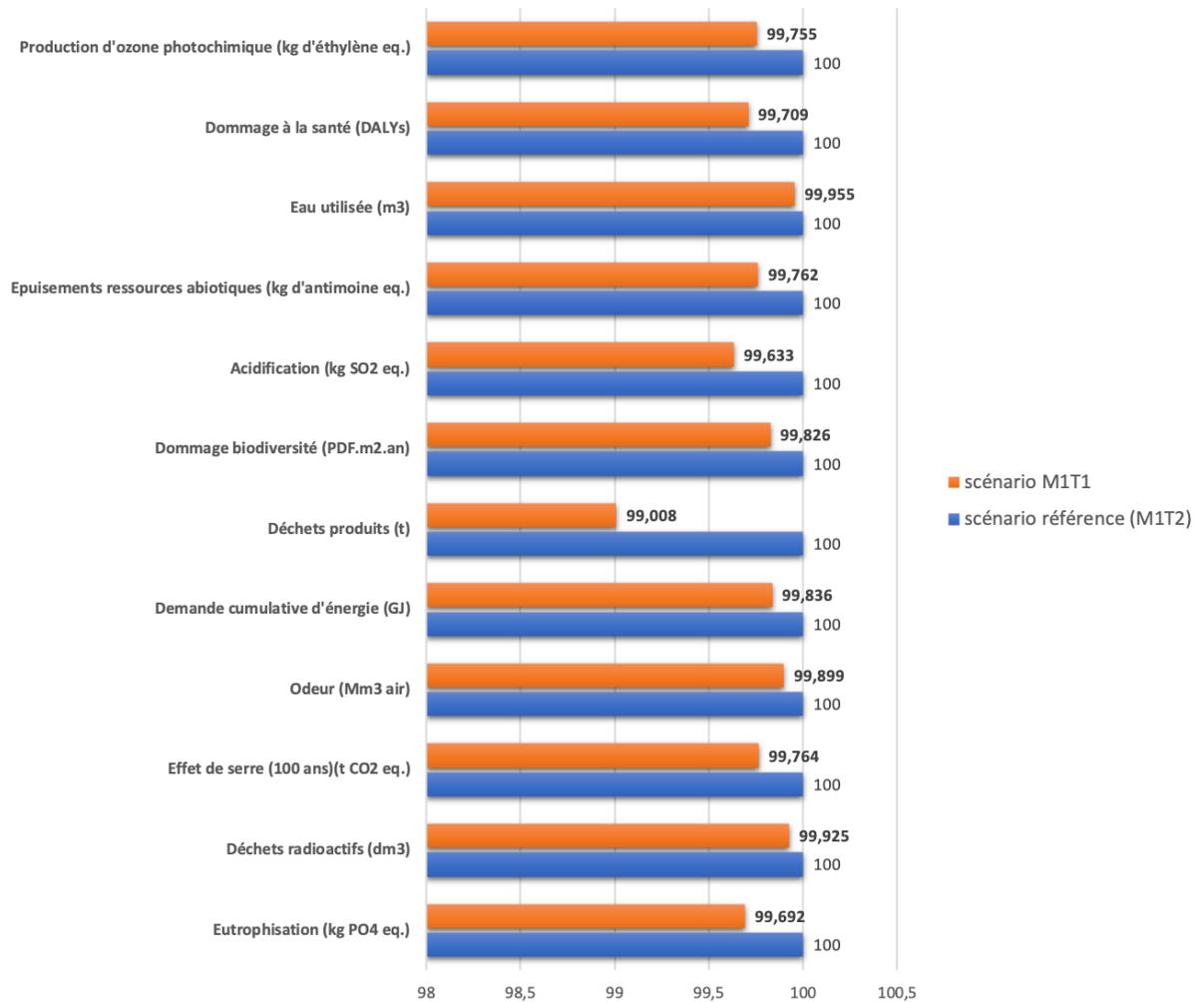


Figure 59 Analyse de l'influence de la température sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence et du scénario M1T1 (Unité fonctionnelle : logement entier)

5.2.3. Impact de la modalité d'habitation

Nous allons, cette fois-ci, chercher à mesurer l'influence de la modalité d'habitation sur les résultats de l'ACV. Pour ce faire, nous allons comparer le scénario de référence avec le scénario optimal (M4T1). Dans cette analyse, l'unité fonctionnelle considérée est « l'occupant » car dans le cas du scénario de référence, le couple occupe l'entièreté du logement (128 m²) tandis que dans le scénario optimal, le couple occupe uniquement le RDC (64m²). De ce fait, nous ne pouvons comparer nos résultats par rapport à l'ensemble du logement. Nous utilisons donc l'occupant comme unité fonctionnelle afin de comparer les impacts environnementaux par habitant.

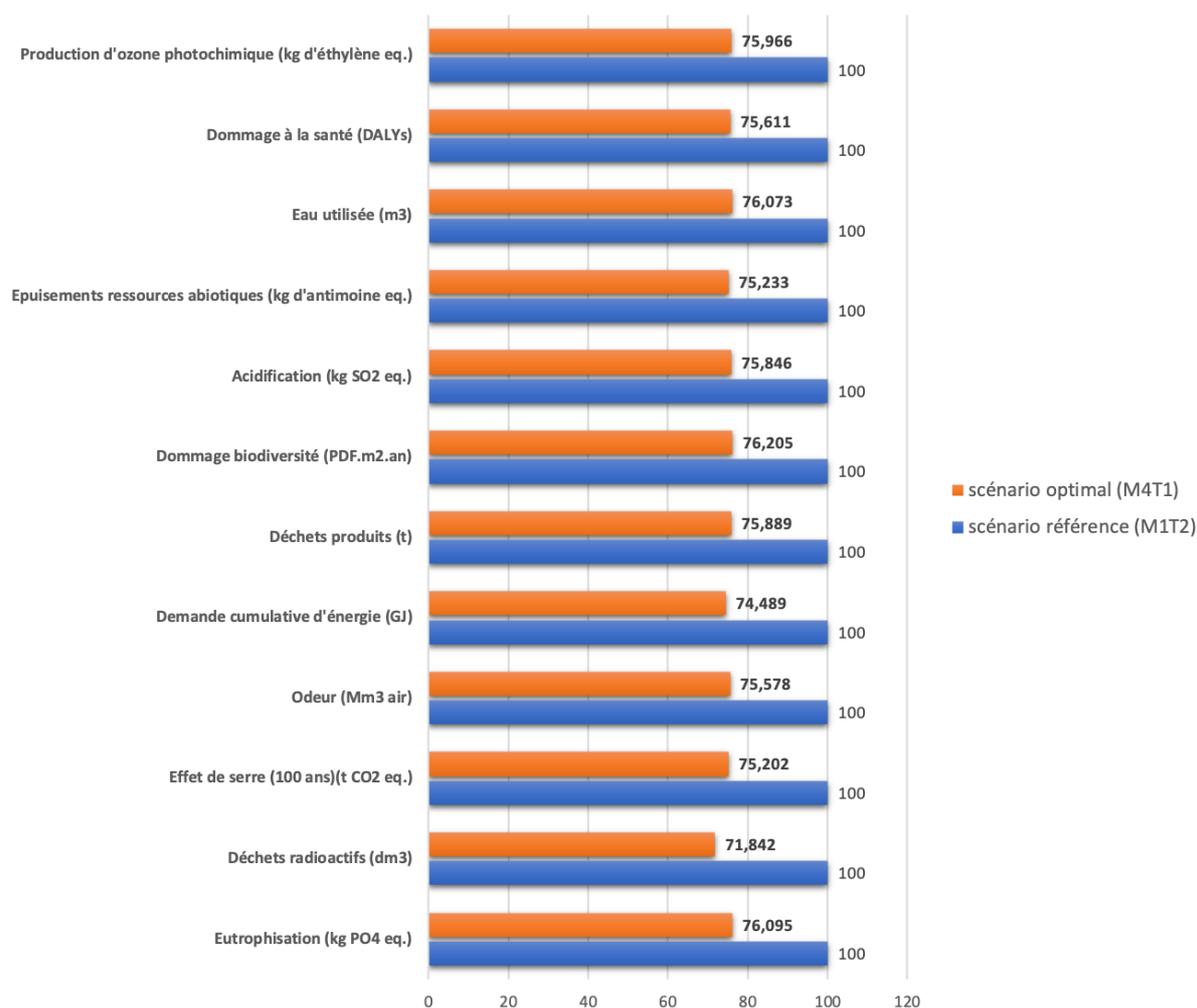


Figure 60 Analyse de l'influence de la modalité d'habitation sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence et du scénario M4T1 (Unité fonctionnelle : l'occupant)

Les résultats de la *Figure 60*, nous indiquent que la modalité d'habitation a une influence importante sur les impacts environnementaux. En effet, nous pouvons remarquer que l'ensemble des indicateurs environnementaux sont réduits d'environ 25% dans le cas où le couple n'occupe que le RDC (M4T1). Cette réduction significative peut s'expliquer par le fait que dans le cas du scénario M4T1, le couple occupe de manière plus optimale le RDC, gagnant ainsi en compacité. La surface de plancher chauffée est donc mieux rentabilisée. Nous pouvons également faire une corrélation avec les résultats de la STD des deux scénarios qui pour rappel sont les suivants :

- **Scénario de référence (M1T2)** : besoins de chauffage de 20,90 kWh/m².an
- **Scénario optimal (M4T1)** : besoins de chauffage de 12,65 kWh/m².an

L'utilisation unique du RDC entraîne une diminution des besoins de chauffage de 40% cela va donc également avoir pour effet de diminuer les impacts environnementaux liés aux besoins de chauffage. Nous pouvons donc en conclure que pour la période d'âge des 18-35 ans, le choix de n'occuper que le RDC semble être la solution la plus optimale du point de vue des besoins de chauffage et des impacts environnementaux.

5.3. Les résultats de l'ACV – Période des 36-60 ans

5.3.1. Le scénario de référence

Nous allons désormais vous présenter les résultats relatifs au scénario de référence considéré pour la période des 36-60 ans. Pour rappel, il s'agit du scénario M6T2 à savoir : « *Couple actif ayant deux enfants qui chauffe le logement à une température de consigne T2 et qui occupe l'entièreté du logement. L'un des parents travaille à l'extérieur du logement tandis que l'autre travaille dans le logement, les deux enfants vont à l'école pendant la journée.* ». Vous pouvez retrouver les résultats de la simulation sur le *Tableau 11*. Une nouvelle fois, les résultats des 12 impacts environnementaux ont tout d'abord été donnés pour l'ensemble du logement, à savoir « *Logement unifamilial belge quatre façades s'élevant sur deux niveaux ayant une surface construite au sol de 79,21m² avec une surface de plancher de 128m², occupé par quatre personnes, étudié sur une durée de vie de 80 ans et situé à Saint-Hubert en province du Luxembourg* ». Dans un second temps, afin de pouvoir aisément comparer nos résultats nous avons exprimé les impacts environnementaux par habitant par an et par m² par an.

Tableau 11 Résultats ACV du scénario de référence de la période des 36-60 ans

| Impact | Unité | Valeur sur 80 ans | Valeur par hab. et par an | Valeur par m2 et par an |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|
| Effet de serre (100 ans) | t CO2 eq. | 846,31 | 2,64 | 0,08 |
| Acidification | kg SO2 eq. | 3 375,43 | 10,548 | 0,33 |
| Demande cumulative d'énergie | GJ | 24 167,59 | 75,52 | 2,36 |
| Eau utilisée | m3 | 56 354,85 | 176,11 | 5,5 |
| Déchets produits | t | 446,46 | 1,39 | 0,043 |
| Epuisements ressources abiotiques | kg d'antimoine eq. | 7 548,18 | 23,58 | 0,737 |
| Eutrophisation | kg PO4 eq. | 1359,29 | 4,81 | 0,15 |
| Production d'ozone photochimique | kg d'éthylène eq. | 240,76 | 0,75 | 0,023 |
| Dommage biodiversité | PDF.m2.an | 36 940,37 | 115,438 | 3,6 |
| Déchets radioactifs | dm3 | 18,47 | 0,06 | 0 |
| Dommage à la santé | DALYs | 0,93 | 0,0029 | 0 |
| Odeur | Mm3 air | 26 766,39 | 83,64 | 2,61 |

Le *Tableau 11* reprend les 12 impacts environnementaux exprimés sur l'ensemble du cycle de vie. Nous allons désormais nous intéresser aux détails de chacune des phases du cycle de vie. Pour ce faire, le *Tableau 12* reprend la contribution des impacts environnementaux sur les différentes phases du cycle de vie (phase de construction, phase d'utilisation, phase de rénovation et phase de démolition).

Tableau 12 Résultats détaillés de l'ACV du scénario de référence de la période des 36-60 ans

| Impact | Résultats | | | | |
|-----------------------------------|------------------|--------------------|-----------------|------------------|-----------|
| | Construction | Utilisation | Rénovation | Démolition | Total |
| Effet de serre (100 ans) | 16,9 2% | 824,47 97,4% | 3,34 0,39% | 1,59 0,21% | 846,31 |
| Acidification | 176,97 5,24% | 3160,39 93,63% | 26,76 0,79% | 11,3 0,34% | 3 375,43 |
| Demande cumulative d'énergie | 1995,15 8,25% | 22040,5 91,2% | 94,71 0,39% | 37,19 0,16% | 24 167,59 |
| Eau utilisée | 336,05 0,582% | 55952,27 99,3% | 41,75 0,074% | 24,76 0,044% | 56 354,85 |
| Déchets produits | 16,82 3,77% | 295,56 66,2% | 6,81 1,52% | 127,24 28,51% | 446,46 |
| Epuisements ressources abiotiques | 235,85 2,96% | 7263,38 96,39% | 32,93 0,44% | 16,01 0,21% | 7 548,18 |
| Eutrophisation | 50,33 3,70% | 1476,41 95,91% | 10,27 0,67% | 2,27 0,14% | 1539,29 |
| Production d'ozone photochimique | 11,62 4,83% | 227,39 94,45% | 1,41 0,58% | 0,33 0,14% | 240,76 |
| Domage biodiversité | 1077,21 2,91% | 35327,58 95,63% | 502,71 1,36% | 32,87 0,1% | 36 940,37 |
| Déchets radioactifs | 0,46 2,49% | 17,96 97,24% | 0,041 0,22% | 0,006 0,05% | 18,47 |
| Domage à la santé | 0,042 4,52% | 0,87 93,55% | 0,008 0,86% | 0,002 0,22% | 0,93 |
| Odeur | 475,38 1,78% | 26155,77 97,71% | 70,79 0,26% | 64,44 0,25% | 26 766,39 |
| Pourcentage moyen | 3,59% | 93,21% | 0,67% | 2,53% | 100% |

En réalisant la moyenne des contributions des 12 impacts environnementaux on observe que la phase d'utilisation est une fois de plus l'étape du cycle de vie la plus préjudiciable. En effet, elle contribue à hauteur de **93,21%** des impacts totaux. Nous pouvons également signaler que les impacts environnementaux générés en phase d'utilisation sont 5,73% plus importants pour la période des 36-60 ans que pour la période des 18-35 ans. Cela s'explique par le fait que nous sommes ici en présence de non plus deux occupants mais quatre occupants (couple d'adulte + 2 enfants). Ainsi la présence de deux occupants supplémentaires au sein de l'habitation entraînent naturellement des impacts environnementaux plus importants en phase d'utilisation. *Figure 61*

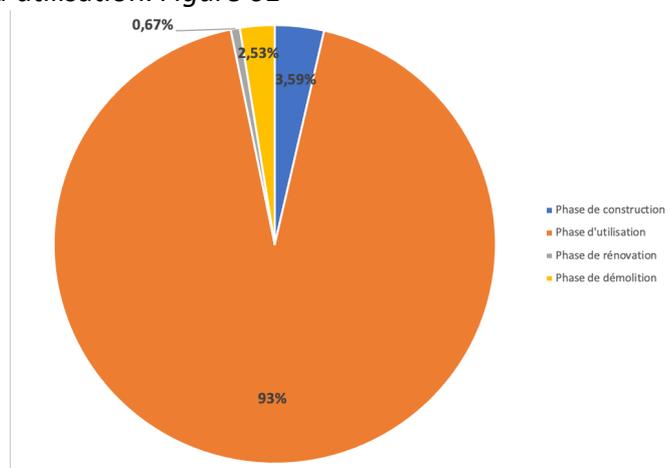


Figure 61 Répartition des impacts environnementaux dans les différentes phases du cycle de vie - Scénario de référence de la période des 36-60 ans

Pour terminer cette analyse, nous allons représenter l'Ecoprofil du scénario de référence de la période des 36-60 ans. La *Figure 62* met en évidence la contribution des différents impacts environnementaux. Nous pouvons observer qu'à l'instar du scénario de référence de la période des 18-35 ans, les quatre impacts environnementaux les plus importants sont : l'eau utilisée, l'énergie consommée, les dommages sur la santé humaine et les émissions de gaz à effet de serre. Notons tout de même que cette fois-ci, l'eau utilisée est l'impact environnemental le plus important. Une nouvelle fois, cela s'explique et se justifie par la présence de deux occupants supplémentaires qui vont augmenter les besoins journaliers en eau au sein de l'habitation, qui pour rappel, est la composante la plus importante de l'eau utilisée en phase d'utilisation. La contribution des quatre impacts environnementaux principaux pendant les différentes phases du cycle de vie étant similaire au scénario de référence de la période des 18-35 ans, nous avons décidé de ne pas les détailler pour des raisons évidentes de redite. Nous vous invitons donc à vous référer à l'analyse réalisée précédemment. (*Énergie consommée, Eau utilisée, Damage à la santé humaine, Effet de serre*)

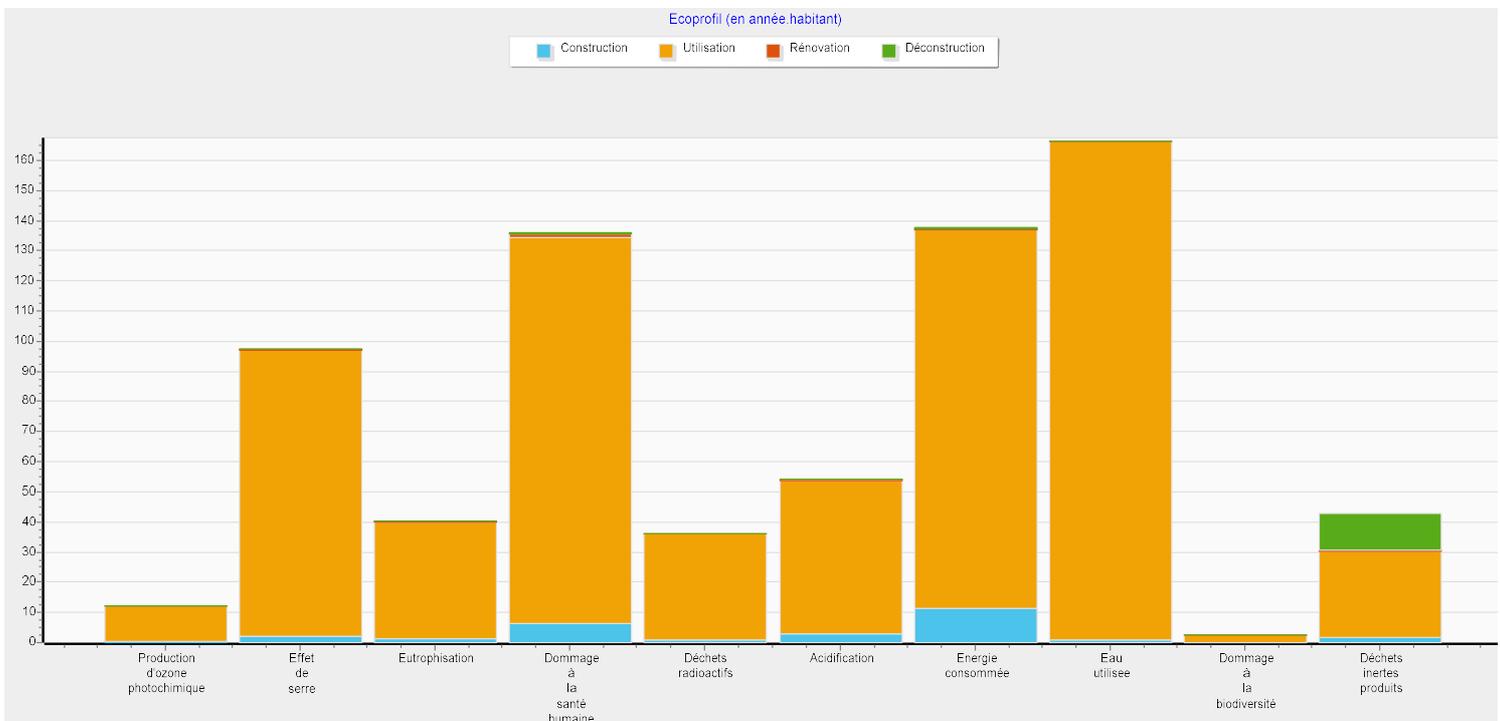


Figure 62 Ecoprofil du scénario de référence de la période des 36-60 ans – Pleiades ACV

Nous allons désormais nous intéresser à comparer les résultats du scénario de référence avec le scénario optimal et le scénario minimal. Dans cette deuxième période d'âge, nous étudierons l'influence que peut avoir le mode d'occupation et la mobilité sur les impacts environnementaux.

5.3.2. Impact du mode d'occupation

Nous allons dans un premier temps chercher à analyser l'influence du mode d'occupation sur les résultats de l'ACV à l'échelle du bâtiment. Pour ce faire nous allons comparer le scénario de référence (M6T2) avec le scénario minimal (M5T2) et le scénario optimal (M7T2). L'unité fonctionnelle considéré pour cette analyse est l'ensemble du bâtiment. Dans cette première comparaison, les trois scénarios sont identiques en tout point mis à part pour leur mode d'occupation. Pour rappel, nous avons considéré les modes d'occupation suivants :

- **M5** : Couple actif qui travaille à l'extérieur du logement les deux enfants vont à l'école la journée
- **M6** : Couple actif, l'un travaille à l'extérieur du logement, l'autre travaille dans le logement, les deux enfants vont à l'école pendant la journée
- **M7** : Couple actif qui travaille dans le logement, les deux enfants vont à l'école pendant la journée

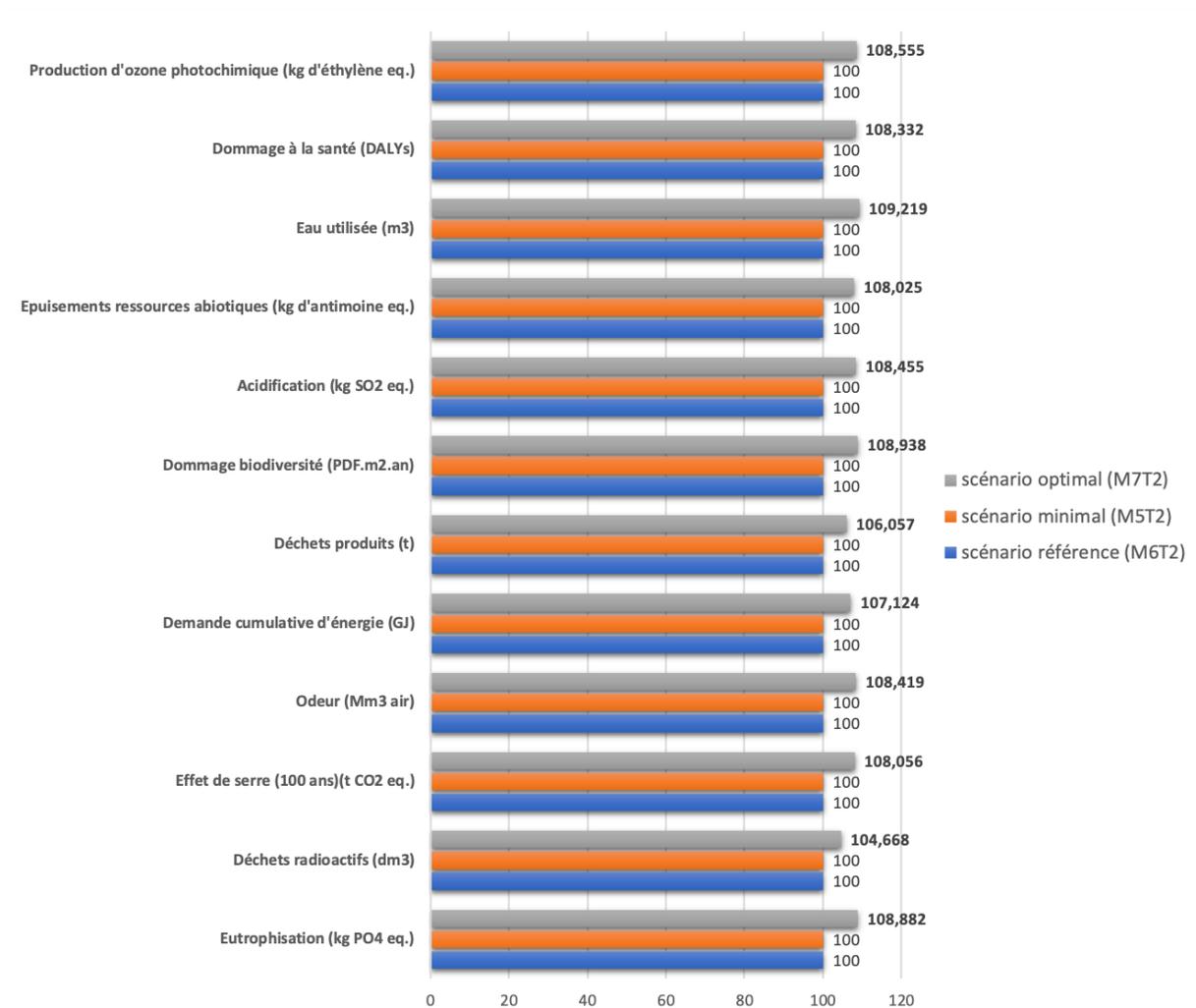


Figure 63 Analyse de l'influence du mode d'occupation sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence avec les scénarios M7T2 et M6T2 (Unité fonctionnelle : logement entier)

Les résultats de *Figure 63*, sont très intéressants sur plusieurs points. Tout d'abord, on remarque que le scénario de référence (M6T2) et le scénario minimal (M5T2) présentent exactement les mêmes résultats. Cela nous apprend donc que la présence ou non dans le logement d'un occupant en journée n'entraîne aucune différence d'un point de vue des impacts environnementaux. A contrario, on remarque que la présence en journée de deux occupants (M7T2) dans le logement va avoir pour effet d'augmenter l'ensemble des impacts environnementaux. Ceux-ci semblent évoluer de manière homogène avec une augmentation de l'ensemble des indicateurs environnementaux comprise entre 6% et 9%. Cela s'explique par le fait que la phase d'utilisation est l'étape du cycle de vie la plus préjudiciable puisqu'elle correspond à la majeure partie du cycle de vie (représente 62% à 98% de l'impact environnemental total). Ainsi, la présence quotidienne de deux personnes dans le logement va naturellement induire une augmentation des impacts environnementaux puisqu'ils vont utiliser de manière plus régulière les appareils électroniques, les lumières ou encore consommer plus d'eau. Nous pouvons ainsi en conclure que le scénario M7T2 qui était le cas le plus optimal d'un point de vue des besoins de chauffage (*Les résultats de la Simulation Thermique Dynamique*) devient le cas le plus défavorable lorsqu'il s'agit des impacts environnementaux.

5.3.3. Impact de la mobilité

Dans cette deuxième analyse, nous allons chercher à analyser l'influence de la mobilité sur les résultats de l'ACV à l'échelle du bâtiment. Pour ce faire, nous allons comparer le scénario de référence (M6T2) avec le scénario minimal (M5T2). L'unité fonctionnelle considérée pour cette analyse est l'ensemble du bâtiment. Nous allons cette fois-ci considérer que le bâtiment du scénario minimal (M5T2) est situé à une plus grande distance des divers services (lieu de travail, commerces, écoles etc.). Enfin, nous considérons dans le cas du scénario M5T2 que tous les occupants effectuent un trajet quotidien. Voici les hypothèses de mobilité :

- **Scénario de référence (M6T2) :**
 - 75% des occupants effectuent un trajet quotidien
 - La distance domicile-travail est de 6 km
 - La distance domicile-commerces est de 6 km
 - La distance domicile-école est de 5 km
- **Scénario minimal (M5T2) :**
 - 100% des occupants effectuent un trajet quotidien
 - La distance domicile-travail est de 10 km
 - La distance domicile-commerces est de 10 km
 - La distance domicile-école est de 10 km

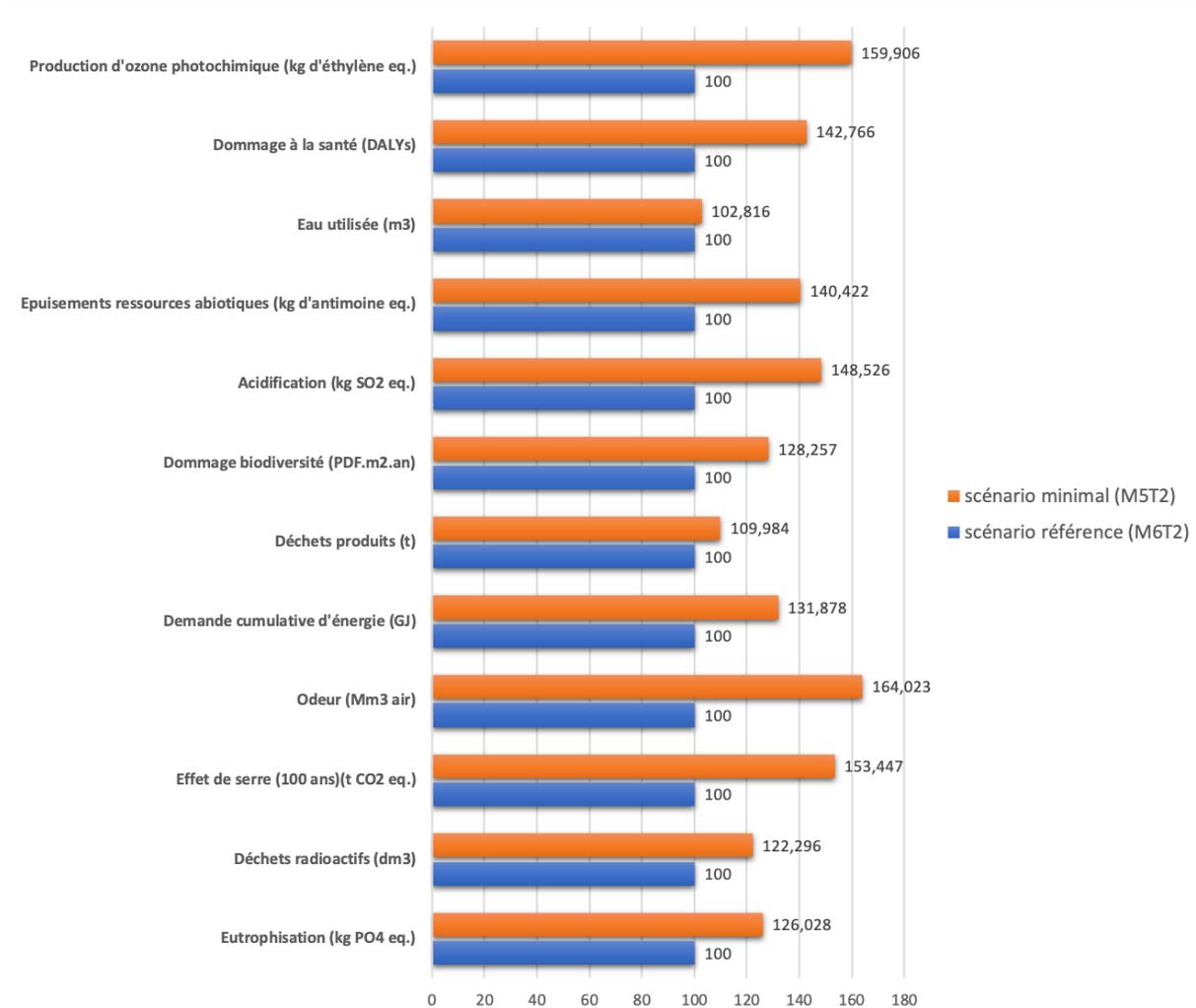


Figure 64 Analyse de l'influence de la mobilité sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence avec le scénario M5T2 (Unité fonctionnelle : logement entier)

Les résultats de la *Figure 64*, nous montrent que la mobilité a un impact significatif sur les résultats de l'ACV. En effet, on constate que l'augmentation des distances des trajets quotidiens et le passage à 100% des occupants effectuant un trajet quotidien entraînent une hausse importante des impacts environnementaux par rapport au scénario de référence. L'ensemble des indicateurs environnementaux sont augmentés de 3% à 60%. 10 indicateurs sur 12 sont augmentés de plus de 20%.

En premier lieu, nous pouvons observer que l'odeur, la production d'ozone photochimique, l'effet de serre et l'acidification sont les quatre indicateurs environnementaux qui subissent la hausse la plus importante. Ils augmentent respectivement de 64%, 60%, 53% et 48% par rapport au scénario de référence.

Nous savons que la combustion du carburant est la principale source de production d'ozone photochimique qui sous l'effet de la lumière se transforme en ozone. (Gervasio et al., 2014) En ce qui concerne les gaz à effet de serre le constat est similaire, nous savons que la production du carburant nécessaire au fonctionnement du véhicule, la combustion du carburant et la production du véhicule engendrent de nombreuses émissions de CO2 responsables en grande partie des gaz à effet de serre.

L'acidification est fortement augmentée par l'usage des véhicules qui émettent du CO₂. Le CO₂ étant la principale cause de l'acidification des milieux naturels il semble donc tout à fait logique que l'usage plus important des véhicules entraîne naturellement une hausse de l'acidification des milieux.

On remarque également que les dommages à la santé et l'épuisement des ressources abiotiques subissent une hausse relativement proche, augmentant respectivement de 43% et 40% par rapport au scénario de référence. Cela s'explique par le fait que l'usage augmenté des véhicules entraîne une consommation plus importante d'énergie fossile. La pollution générée par les véhicules qui causent des dommages sur la santé augmente également.

L'augmentation de l'usage de l'automobile et de la distance des trajets quotidiens entraînent une consommation importante d'énergie supplémentaire. De ce fait, nous constatons que la demande d'énergie cumulative augmente de 32% par rapport au scénario de référence.

Pour finir, nous observons une hausse de 28% des dommages sur la biodiversité, de 26% de l'eutrophisation, de 23% des déchets radioactifs, de 10% des déchets produits et de 3% de l'eau utilisée.

Nous pouvons en conclure que la composante mobilité a un impact considérable sur les résultats de l'ACV. Dans notre cas, nous sommes passés de 75% des occupants effectuant un trajet quotidien à 100% et nous avons augmenté les distances des trajets quotidiens de 4 km. Au premier abord, nous pourrions nous dire que cela n'aura pas d'impact significatif sur les résultats de l'ACV et pourtant le résultat est tout autre. Il semble donc primordial de considérer la composante mobilité et transport dans les études ACV au vu de son énorme impact sur les résultats.

5.4. Les résultats de l'ACV – Période des plus de 60 ans

5.4.1. Le scénario de référence

Pour finir, nous allons vous présenter les résultats relatifs au scénario de référence considéré pour la période des plus de 60 ans. Pour rappel, il s'agit du scénario M8T3 à savoir : « *Couple de retraités qui chauffe le logement à une température de consigne T3 et qui occupe l'entièreté du logement* ». Vous pouvez retrouver les résultats de l'ACV sur le *Tableau 13*. Une nouvelle fois, les résultats des 12 impacts environnementaux ont tout d'abord été donnés pour l'ensemble du logement, à savoir « *Logement unifamilial belge, quatre façades s'élevant sur deux niveaux ayant une surface construite au sol de 79,21m² avec une surface de plancher de 128m², occupé par deux personnes, étudié sur une durée de vie de 80 ans et situé à Saint-Hubert en province du Luxembourg* ». Une fois de plus, afin de pouvoir aisément comparer nos résultats nous avons exprimé les impacts environnementaux par, habitant par an et par m² par an.

Tableau 13 Résultats ACV du scénario de référence de la période des plus de 60 ans

| Impact | Unité | Valeur sur 80 ans | Valeur par hab. et par an | Valeur par m2 et par an |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|
| Effet de serre (100 ans) | t CO2 eq. | 405,55 | 2,53 | 0,04 |
| Acidification | kg SO2 eq. | 1 557,96 | 9,74 | 0,15 |
| Demande cumulative d'énergie | GJ | 13 438,62 | 83,99 | 1,31 |
| Eau utilisée | m3 | 26 309,90 | 164,44 | 2,57 |
| Déchets produits | t | 286,21 | 1,79 | 0,028 |
| Epuisements ressources abiotiques | kg d'antimoine eq. | 3 736,35 | 23,35 | 0,36 |
| Eutrophisation | kg PO4 eq. | 710,00 | 4,44 | 0,069 |
| Production d'ozone photochimique | kg d'éthylène eq. | 106,79 | 0,67 | 0,01 |
| Domage biodiversité | PDF.m2.an | 16 830,99 | 105,19 | 1,64 |
| Déchets radioactifs | dm3 | 13,07 | 0,082 | 0 |
| Domage à la santé | DALYs | 0,44 | 0 | 0 |
| Odeur | Mm3 air | 11 962,45 | 74,77 | 1,17 |

Le *Tableau 13* reprend les 12 impacts environnementaux exprimés sur l'ensemble du cycle de vie. A l'instar des deux autres périodes d'âge nous allons nous intéresser aux détails de chacune des phases du cycle de vie. Le *Tableau 14* reprend la contribution des impacts environnementaux sur les différentes phases du cycle de vie.

Tableau 14 Résultats détaillés de l'ACV du scénario de référence de la période des plus de 60 ans

| Impact | Résultats | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|-----------|
| | Construction | Utilisation | Rénovation | Démolition | Total |
| Effet de serre (100 ans) | 16,9 4,17% | 383,70 94,61% | 3,34 0,82% | 1,59 0,39% | 405,55 |
| Acidification | 176,97 11,36% | 1342,92 86,20% | 26,76 1,72% | 11,3 0,73% | 1 557,96 |
| Demande cumulative d'énergie | 1995,15 14,58% | 11311,55 84,17% | 94,71 0,70% | 37,19 0,28% | 13 438,62 |
| Eau utilisée | 336,05 1,28% | 25907,33 98,47% | 41,75 0,16% | 24,76 0,09% | 26 309,90 |
| Déchets produits | 16,82 5,88% | 135,31 47,28% | 6,81 2,38% | 127,24 44,46% | 286,21 |
| Epuisements ressources abiotiques | 235,85 5,88% | 3451,55 92,38% | 32,93 0,88% | 16,01 0,43% | 3 736,35 |
| Eutrophisation | 50,33 7,09% | 647,13 91,14% | 10,27 1,45% | 2,27 0,32% | 710,00 |
| Production d'ozone photochimique | 11,62 10,89% | 93,42 87,48% | 1,41 1,32% | 0,33 0,31% | 106,79 |
| Domage biodiversité | 1077,21 6,40% | 15218,20 90,42% | 502,71 2,99% | 32,87 0,20% | 16 830,99 |
| Déchets radioactifs | 0,46 3,53% | 12,56 96,10% | 0,041 0,32% | 0,006 0,05% | 13,07 |
| Domage à la santé | 0,042 9,63% | 0,386 87,87% | 0,008 1,96% | 0,002 0,54% | 0,44 |
| Odeur | 475,38 3,97% | 11351,83 94,90% | 70,79 0,59% | 64,44 0,54% | 11 962,45 |
| Pourcentage moyen | 7,11% | 87,58% | 1,27% | 4,03% | 100% |

En réalisant la moyenne des contributions des 12 impacts environnementaux, on observe que la phase d'utilisation est une fois de plus l'étape du cycle de vie la plus préjudiciable. En effet, elle contribue à hauteur de **87,58%** des impacts totaux. Nous avons ensuite la phase de construction puis la phase de démolition et enfin la phase de rénovation qui génèrent respectivement 7,11%, 4,03% et 1,27% des impacts environnementaux. *Figure 65*

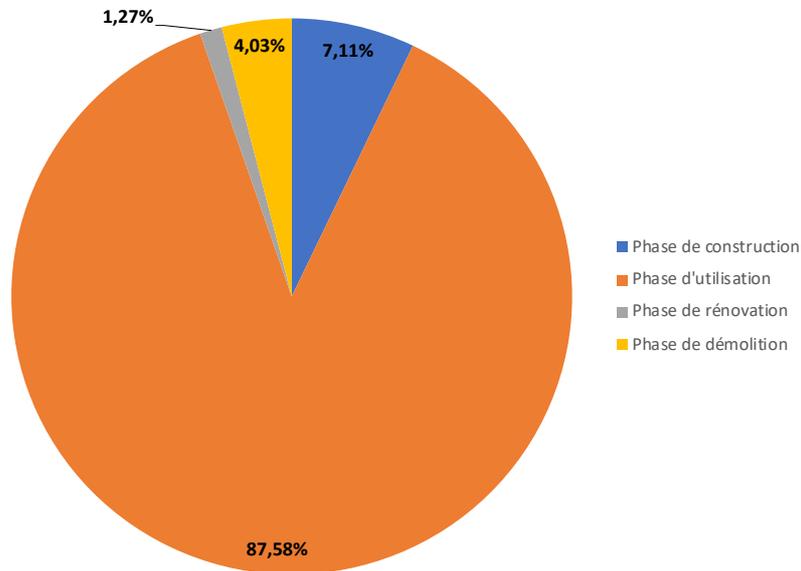


Figure 65 Répartition des impacts environnementaux dans les différentes phases du cycle de vie - Scénario de référence de la période des plus de 60 ans

Nous allons terminer cette analyse en représentant l'Ecoprofil du scénario de référence de la période des plus de 60 ans. La *Figure 66* met en évidence la contribution des différents impacts environnementaux. Nous pouvons observer qu'à l'instar du scénario de référence de la période des 18-35 ans, les quatre impacts environnementaux les plus importants sont : l'eau utilisée, l'énergie consommée, les dommages sur la santé humaine et les émissions de gaz à effet de serre.

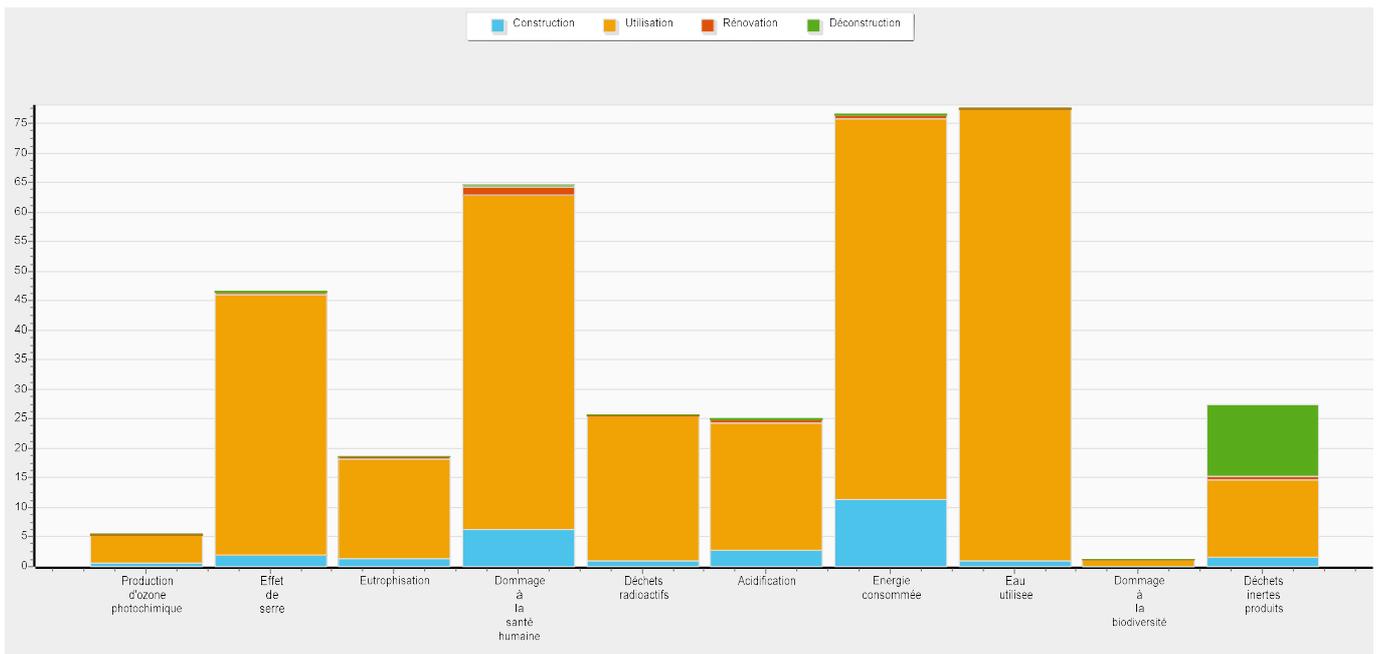


Figure 66 Ecoprofil du scénario de référence de la période des plus de 60 ans - Pleiades ACV

Nous allons désormais nous intéresser à comparer les résultats du scénario de référence avec le scénario optimal et le scénario minimal. Dans cette troisième et dernière période d'âge nous étudierons l'influence que peut avoir la modalité d'habitation et la gestion des déchets sur les impacts environnementaux.

5.4.2. Impact de la modalité d'habitation

Dans un premier temps, nous allons chercher à mesurer l'influence de la modalité d'habitation sur les résultats de l'ACV. Pour ce faire, nous allons comparer le scénario de référence (M8T3) avec le scénario optimal (M9T3). Dans cette analyse, l'unité fonctionnelle considérée est « l'occupant » car dans le cas du scénario de référence, le couple de retraités occupe l'entièreté du logement (128 m²) tandis que dans le scénario optimal le couple occupe uniquement le RDC (64m²). L'analyse sera réalisée uniquement pendant la phase d'utilisation car les phases de construction, de rénovation et de démolition sont identiques dans les deux scénarios.

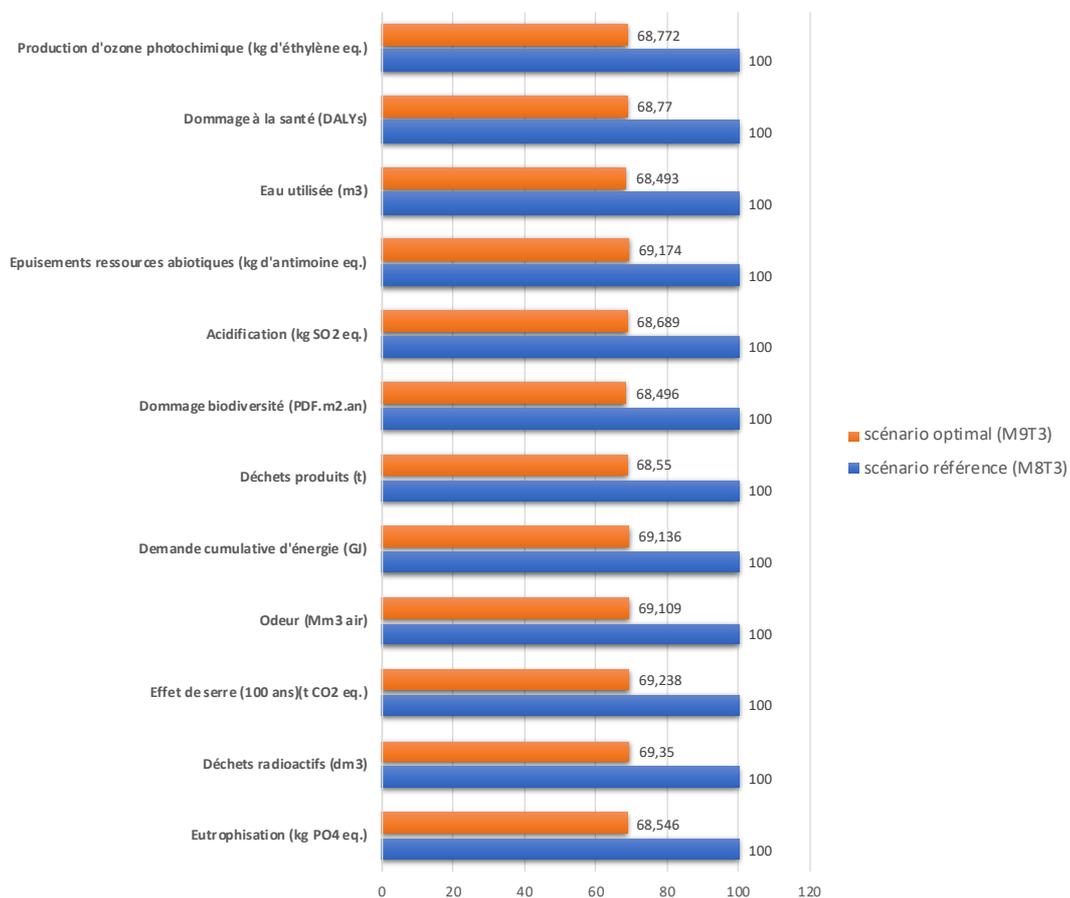


Figure 67 Analyse de l'influence de la modalité d'habitation sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence avec le scénario M9T3 (Unité fonctionnelle : l'occupant)

Les résultats de la Figure 67, semblent corroborer l'analyse réalisée pour la période des 18-35 ans (*Impact de la modalité d'habitation*). En effet, nous pouvons remarquer que l'ensemble des indicateurs environnementaux diminuent significativement et semblent évoluer de manière uniforme. Cette fois-ci, ils sont réduits d'environ 32% dans le cas où le couple n'occupe que le RDC (M9T3). Nous pouvons donc en conclure que le choix de la modalité d'habitation a un impact significatif sur les résultats de l'ACV.

5.4.3. Impact de la gestion des déchets

Pour finir, nous allons nous intéresser à mesurer l'influence de la gestion des déchets sur les résultats de l'ACV à l'échelle du bâtiment. Pour ce faire, nous allons comparer le scénario de référence (M8T3) avec le scénario minimal (M8T4) en supposant que le couple de retraités du scénario minimal ne réalise aucun tri sélectif. L'unité fonctionnelle considérée pour cette analyse est l'ensemble du bâtiment. Voici les hypothèses liées à la gestion des déchets :

- **Scénario de référence (M8T3)**
 - 90 % des déchets de verre sont recyclés
 - 75% des déchets papier et cartons sont recyclés
- **Scénario minimal (M8T4)**
 - 0% des déchets de verre sont recyclés
 - 0% des déchets papier et cartons sont recyclés

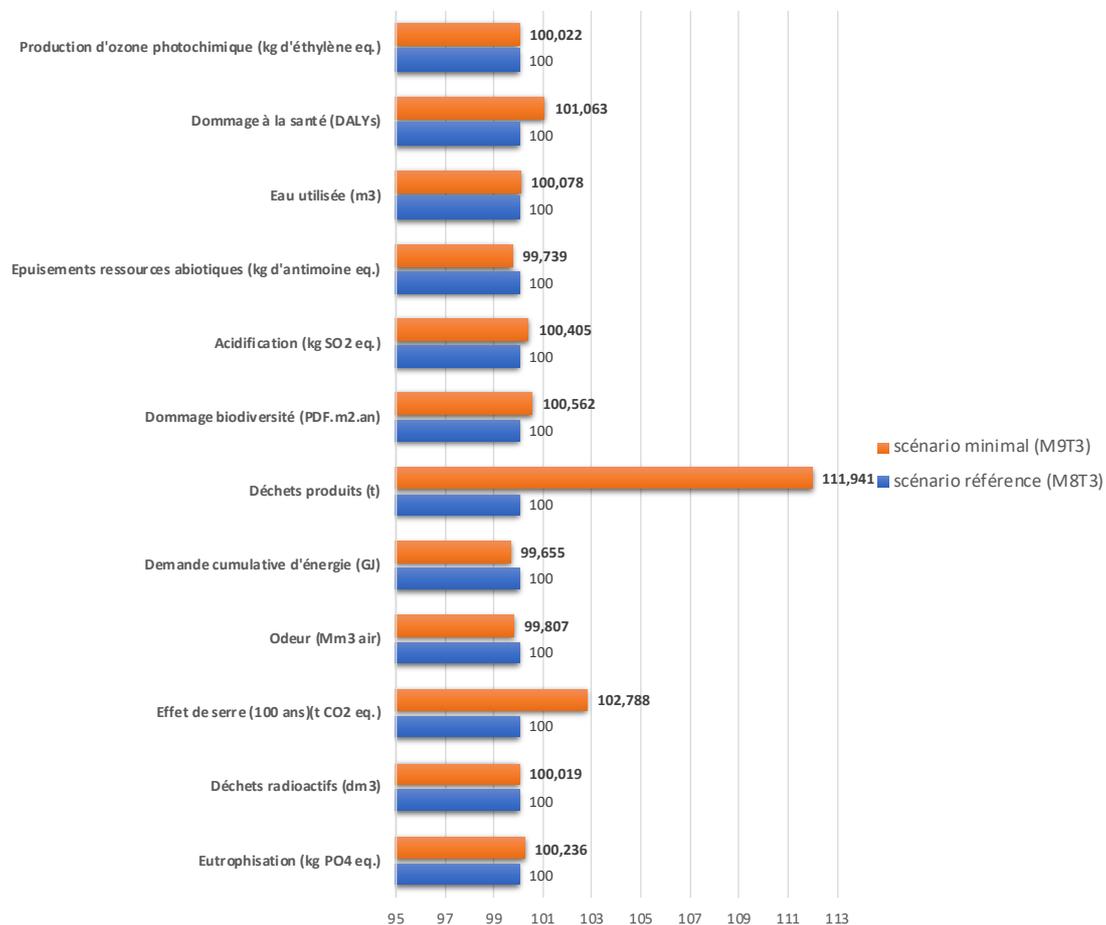


Figure 68 Analyse de l'influence de la gestion des déchets sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence avec le scénario M9T3 (Unité fonctionnelle : logement entier)

Les résultats de la Figure 68, nous indiquent que de manière générale la gestion des déchets et plus particulièrement le tri sélectif permet de réduire les impacts environnementaux. En effet, on constate que dans le cas où le couple de retraités ne réalise aucun tri sélectif (M9T3), les déchets produits, les émissions de gaz à effet de serre et les dommages sur la santé augmentent respectivement de 12%, 3% et 1%. À l'échelle d'une seule habitation, ces augmentations peuvent paraître négligeables, mais ramenées à l'échelle d'un quartier, d'une région ou encore d'un pays cela devient de suite très impactant.

Concernant la demande cumulative d'énergie, l'odeur et l'épuisement des ressources abiotiques nous pouvons remarquer que ces trois indicateurs diminuent dans le cas où le couple de retraités ne réalise pas le tri sélectif. Cela s'explique par le fait que le processus lié au tri sélectif demande une certaine source d'énergie et est générateur d'odeurs. Cependant, ces indicateurs diminuent de moins de 1%, ils sont donc négligeables devant la hausse des déchets produits, des gaz à effet de serre et des dommages sur la santé.

5.5. Comparaison des résultats des différents scénarios

Pour clôturer ce chapitre, nous allons réunir sur un même tableau les résultats des trois périodes d'âge étudiées. Cela va nous permettre de déterminer les paramètres des modes de vie les plus impactants sur les résultats de l'ACV. Pour ce faire, nous avons pour chaque scénario, sommé les variations (en pourcentage) de l'ensemble des critères environnementaux par rapport au scénario de référence de la période d'âge considérée. L'unité fonctionnelle appliquée à cette comparaison est l'occupant.

Tableau 15 Variation des indicateurs environnementaux de l'ensemble des scénarios étudiés

| | | Eutrophisation (kg PO4 eq.) | Déchets radioactifs (dm3) | Effet de serre (100 ans)(t CO2 eq.) | Odeur (Mm3 air) | Demande cumulative d'énergie (GJ) | Déchets produits (t) | Domage biodiversité (PDF.m2.an) | Acidification (kg SO2 eq.) | Epuisements ressources abiotiques (kg d'antimoine eq.) | Eau utilisée (m3) | Domage à la santé (DALYs) | Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène eq.) |
|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---|--------------------|--|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---|----------------------|------------------------------------|--|
| Période 18-35 | Scénario de référence | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Scénario "gestion de la température" | 99,962 | 99,925 | 99,764 | 99,899 | 99,836 | 99,008 | 99,826 | 99,633 | 99,762 | 99,955 | 99,709 | 99,755 |
| | Scénario "modalité d'habitation" | 76,095 | 71,842 | 75,202 | 75,578 | 74,489 | 75,889 | 76,205 | 75,846 | 75,233 | 76,073 | 75,611 | 75,966 |
| Période 36-60 | Scénario de référence | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Scénario "mobilité et transport" | 126,028 | 122,296 | 153,447 | 164,023 | 131,878 | 109,984 | 128,257 | 148,526 | 140,422 | 102,816 | 142,766 | 159,906 |
| | Scénario "mode d'occupation" | 108,882 | 104,668 | 108,056 | 108,419 | 107,124 | 106,057 | 108,938 | 108,455 | 108,025 | 109,219 | 108,332 | 108,555 |
| Période plus de 60 ans | Scénario de référence | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Scénario "gestion des déchets" | 100,236 | 100,019 | 102,768 | 99,807 | 99,655 | 111,941 | 100,562 | 100,405 | 99,739 | 100,078 | 101,063 | 100,022 |
| | Scénario "mode d'occupation" | 68,546 | 69,35 | 69,238 | 69,109 | 69,136 | 68,55 | 68,496 | 68,689 | 69,174 | 68,493 | 68,77 | 68,772 |

Voici le classement des paramètres des modes de vie selon leurs variations par rapport aux scénarios de référence :

1. **Mobilité et transport**, variation de **+ 430%** par rapport au scénario de référence de la période des 36-60 ans
2. **Modalité d'habitation**, variation de **-374%** par rapport au scénario de référence de la période des plus de 60 et variation de **-296%** par rapport au scénario de référence de la période des 18-35 ans.
3. **Mode d'occupation**, variation de **+94%** par rapport au scénario de référence de la période des 36-60 ans
4. **Gestion des déchets**, variation de **+16%** par rapport au scénario de référence de la période des plus de 60 ans
5. **Gestion de la température**, variation de **-3%** par rapport au scénario de référence de la période des 18-35 ans

D'après notre étude, nous pouvons remarquer que le paramètre « **mobilité et transport** » est le plus impactant sur les résultats de l'ACV. En effet, l'usage augmenté de la voiture et l'augmentation de la distance des trajets quotidiens a pour effet d'augmenter considérablement les impacts liés à la production d'ozone photochimique, à l'effet de serre, à l'acidification, aux odeurs et aux dommages sur la santé humaine. Ce constat nous permet d'affirmer que le recours privilégié aux transports en commun ou aux véhicules doux (vélo, trottinette etc.) permet de réduire considérablement les impacts environnementaux. Ainsi, il

semble plus qu'essentiel d'étudier en priorité la composante mobilité et transport dans les études ACV réalisées sur l'ensemble du cycle de vie du logement considéré. Nous pouvons également à travers cette analyse remarquer que les politiques de gouvernance actuelles doivent en priorité mettre l'accent sur le développement des transports en commun et des véhicules doux, car, la création d'un logement passif complètement déconnecté des transports en commun serait aberrant et inefficace en vue de réduire les impacts environnementaux.

En deuxième position, nous retrouvons « **la modalité d'habitation** » qui a également une influence considérable sur les résultats de l'ACV. On remarque que le passage d'un logement de 128 m² (logement entier) à 64 m² (uniquement RDC) permet de réduire les impacts environnementaux de 296% pour la période des 18-35 ans et de 374% pour la période des plus de 60 ans. Il semble donc extrêmement important de choisir une modalité d'habitation adapté au profil du ménage. Dans notre simulation, l'utilisation du logement entier pour les périodes des 18-35 ans et des plus de 60 ans n'est pas du tout optimal. En effet, dans ces deux périodes, le ménage est composé de deux personnes, ainsi, un logement de 128 m² est bien trop grand. Finalement, nous pouvons en conclure que la création d'un logement modulable et adaptable permettant de suivre l'évolution des ménages semble être une solution à privilégier en vue de réduire significativement les impacts environnementaux.

En troisième position, nous retrouvons « **le mode d'occupation** » qui dans notre étude entraîne une augmentation des impacts environnementaux de +95% par rapport au scénario de référence. Cette hausse, s'explique par le fait que dans le scénario M7T2 (scénario qui nous a permis de mesurer l'influence du mode d'occupation), la présence quotidienne des occupants dans le logement est plus importante que dans le scénario de référence. Ainsi, il semble important d'intégrer le paramètre mode d'occupation aux études ACV en réalisant une analyse détaillée de l'emploi du temps des occupants du logement. Nous pouvons également ajouter que c'est un paramètre qui varie fortement en fonction des individus, ce qui explique en partie la difficulté d'étudier un tel paramètre.

En quatrième position, nous retrouvons « **la gestion des déchets** » qui entraîne une augmentation des impacts environnementaux de 16% lorsque les occupants ne réalisent pas de tri sélectif. Ainsi, l'influence de la gestion des déchets sur les impacts environnementaux n'est pas négligeable et doit être pris en compte dans les études ACV. Cependant, nous pouvons remarquer que l'impact est presque insignifiant en comparaison avec des paramètres « mobilité et transport », « modalité d'habitation » et « mode d'occupation ».

Enfin, nous retrouvons en cinquième position « **la gestion de la température** » qui entraîne une variation de seulement 3% par rapport au scénario de référence. Ce paramètre pourtant si important du point de vue de la STD semble cette fois-ci être négligeable à la vue des résultats de l'ACV. Cela s'explique par le fait que le niveau d'isolation du logement étudié est si important que les variations de température n'entraînent aucune différence significative sur les impacts environnementaux. Nous pouvons donc en conclure que du point de vue de l'ACV le paramètre « gestion de la température » semble être négligeable.

Chapitre 6 : Conclusion

Après avoir mené à bien cette étude très ambitieuse, qui nous a conduit à simuler 20 scénarios dans le cas de la STD et 9 scénarios dans le cas de l'ACV, nous pouvons affirmer que les modes de vie ont une influence significative sur les besoins de chauffage et les impacts environnementaux.

L'usage de la méthode STD et de la méthode ACV s'est avérée très intéressante en vue de répondre aux objectifs de notre étude. En effet, les outils utilisés et les scénarios étudiés nous ont permis d'en tirer plusieurs conclusions très intéressantes. Tout d'abord, nous avons pu remarquer, de par l'influence significative de la composante mobilité et transport, qu'il est aujourd'hui essentiel d'étudier le logement sur l'ensemble de son cycle de vie et de ne pas considérer uniquement la phase d'utilisation. Ensuite, nous avons également pu déterminer quels sont les paramètres des modes de vie les plus influents sur les résultats de la STD et de l'ACV. Ainsi, nous savons désormais que dans notre étude, la modalité d'habitation, le mode d'occupation et la gestion de la température sont les trois paramètres des modes qui vont le plus impacter les résultats de la STD (besoins de chauffage). En ce qui concerne l'ACV, nous avons pu déterminer que la mobilité, la modalité d'habitation et le mode d'occupation sont les trois paramètres des modes de vie qui influencent le plus les résultats de l'ACV (impacts environnementaux).

Une des grandes forces de cette étude est sa reproductibilité. En effet, à partir du travail que nous venons de mener à bien, il est tout à fait possible de modifier le logement étudié pour l'adapter à un autre cas de figure. Nous pouvons également imaginer d'intégrer d'autres paramètres de modes de vie que nous n'avons pas pu étudier ici.

Il est important de rappeler que dans le cadre de cette étude, nous avons sélectionné nos paramètres à partir de plusieurs travaux et outils statistiques. Il faut garder en mémoire que l'accès aux informations et aux données relatives aux individus et à leurs modes de vie est extrêmement restreint. Cependant, après avoir discuté avec plusieurs personnes de mon travail de fin d'études, j'ai pu m'apercevoir que la plupart d'entre eux étaient réceptifs et enthousiastes du travail accompli. Si c'était à refaire, je chercherais à réaliser au préalable une série de questionnaires ou d'entretiens afin de déterminer avec précision plusieurs modes de vie réels. Ainsi, j'ajouterais une dimension humaine et sociale à mon travail en fournissant aux occupants des solutions en vue d'améliorer leurs consommations de chauffage et leurs impacts environnementaux.

Nous avons également plusieurs pistes de réflexion à soumettre en vue de poursuivre le travail accompli. Tout d'abord nous n'avons pas pu développer comme nous le souhaitons la partie consacrée à l'habitat modulable. En effet, le but premier de notre travail de fin d'études était d'étudier l'influence des modes de vie des occupants sur les besoins de chauffage et les impacts environnementaux engendrés sur un logement unifamilial belge. De ce fait, la partie logement et en particulier l'habitat modulable est resté au second plan. D'après moi, je pense qu'un travail de fin d'études consacré à l'habitat modulable et flexible serait extrêmement intéressant. Je reste convaincu que ce nouveau type de logement pourrait être une des clés en vue de limiter la consommation des terres, l'étalement urbain et les impacts

environnementaux. Ce travail de fin d'études pourrait par exemple étudier, à partir d'une Analyse du Cycle de Vie plusieurs types de logement modulable en intégrant évidemment les impacts environnementaux engendrés par la transformation du logement d'une configuration A à une configuration B.

La deuxième piste de réflexion que nous proposons est l'intégration de nouveaux paramètres à étudier. En effet, pour des raisons évidentes de temps nous avons dû sélectionner un certain nombre de paramètres à analyser, négligeant ainsi d'autres paramètres relatifs aux modes de vie qu'il serait certainement intéressant d'étudier. Nous pouvons par exemple citer l'utilisation des énergies renouvelables ou encore la gestion de l'eau (avons-nous une citerne de récupération des EP ? sommes-nous en présence de sols perméables ?). Une des grandes difficultés de ce type d'étude réside dans la complexité de quantifier les modes de vie. Comme évoqué à plusieurs reprises, les modes de vie sont propres à chaque individu et divergent fortement d'une personne à une autre. Ainsi, ils restent encore énormément de choses à accomplir lorsque l'on s'intéresse à la question de l'occupant.

Nous pouvons conclure ce chapitre en présentant les bénéfices apportés par ce travail de fin d'études. Tout d'abord, j'ai eu l'opportunité de réaliser un travail de recherche scientifique. J'ai pu, à travers un état de l'art, réaliser un tour d'horizon de la littérature existante sur les modes de vie, l'habitat modulable et l'ACV, ce qui m'a permis de développer mes connaissances sur des sujets que je ne maîtrisais pas. Une fois ce premier travail de recherche effectué j'ai pu mettre en place une méthodologie qui m'a permis de prendre en main de nouveaux outils (STD et ACV) dédiés au bilan environnemental des bâtiments. Nous vivons actuellement dans un monde en pleine remise en question, les crises environnementales et sanitaires nous mènent vers une transition écologique ou le recours aux énergies renouvelables est plus que souhaitable. La méthode ACV va à coup sûr devenir une étape incontournable de la phase de conception d'un nouveau bâtiment. De ce fait, je pense que la maîtrise de ce genre d'outils est désormais incontournable pour tous les jeunes architectes et ingénieurs génie-civil.

Bibliographie

ADEME. Ministère de la transition écologique et solidaire. (2018, février). *La lettre stratégie*. ADEME.

https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe_lalettre_strategie_55sr_vf.pdf

Allacker, K. (2010, septembre). *SUSTAINABLE BUILDING THE DEVELOPMENT OF AN EVALUATION METHOD*. K.U. Leuven. https://limo.libis.be/prim-explore/fulldisplay?docid=LIRIAS1713941&context=L&vid=Lirias&search_scope=Lirias&tab=default_tab&lang=en_US&fromSitemap=1

Bendix, R. S. L. (1967). *Class, Status and Power* (2nd éd.). Routledge & Kegan Paul PLC.

Bin, S., & Dowlatabadi, H. (2005). Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO2 emissions. *Energy Policy*, 33(2), 197-208. [https://doi.org/10.1016/s0301-4215\(03\)00210-6](https://doi.org/10.1016/s0301-4215(03)00210-6)

Brown, L. R. (2003). *Plan B : Rescuing a Planet under Stress and a Civilization in Trouble* (1re éd.). W. W. Norton & Company.

Brundtland, G. H. (2011). *Notre Avenir à Tous - Rapport Brundtland (French Edition)*. Books LLC, Classics Series.

Buyle, M., Braet, J., & Audenaert, A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 379-388. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.001>

Cadre d'action en matière de climat et d'énergie d'ici à 2030. (2017, 16 février). Action pour le climat- European Commission. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_fr#tab-0-0

Catellani, A., Pascual Espuny, C., Malibabo Lavu, P., & Jalenques Vigouroux, B. (2019). Les recherches en communication environnementale. *Communication*, Vol. 36/2. <https://doi.org/10.4000/communication.10559>

Cavalli, S. (2007). Modèle de parcours de vie et individualisation. *Gérontologie et société*, 30 / n° 123(4), 55-69. <https://doi.org/10.3917/g.s.123.0055>

Chapin, S. F. (2021). *F. Stuart Chapin / Contemporary American Institutions A Sociological Analysis*. Generic.

Les critères techniques. (2021, 21 mai). La Maison Passive. <https://www.lamaisonpassive.fr/la-construction-passive/les-criteres-techniques/>

Cuéllar-Franca, R. M., & Azapagic, A. (2012). Environmental impacts of the UK residential sector : Life cycle assessment of houses. *Building and Environment*, 54, 86-99. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.005>

Dagnies, J. (2016, février). *Adapter l'habitat pour favoriser la qualité de vie des séniors « la démarche ABCD »*. CEPESS. <http://www.cepess.be/wp-content/uploads/2016/02/EVIA-demarche-ABCD-20160203.pdf>

De Meester, T., Marique, A. F., de Herde, A., & Reiter, S. (2013). Impacts of occupant behaviours on residential heating consumption for detached houses in a temperate climate in the northern part of Europe. *Energy and Buildings*, 57, 313-323. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.005>

Deshayes, P. (2012). Le secteur du bâtiment face aux enjeux du développement durable : logiques d'innovation et/ou problématiques du changement. *Innovations*, 37(1), 219-236. <https://doi.org/10.3917/inno.037.0219>

Dillman, D. A., Rosa, E. A., & Dillman, J. J. (1983). Lifestyle and home energy conservation in the United States : the poor accept lifestyle cutbacks while the wealthy invest in conservation. *Journal of Economic Psychology*, 3(3-4), 299-315. [https://doi.org/10.1016/0167-4870\(83\)90008-9](https://doi.org/10.1016/0167-4870(83)90008-9)

Dirdi, A. (2016). *ANALYSE DU PROCESSUS D'ÉMERGENCE ET DE DÉVELOPPEMENT DES INDICATEURS DU BÂTIMENT DURABLE : LE CAS DU QUÉBEC*. Université du Québec à Montréal. <https://irec.quebec/repertoire/fiche/analyse-du-processus-demergence-et-de-developpement-des-indicateurs-du-batiment-durable-le-cas-du-quebec>

Donella H, M. (1972). *The Limits to Growth*. Universe Books.

Eleb, M. (2017, mai). *THE HOUSING OF TODAY AND TOMORROW : FLEXIBLE, ADAPTABLE, REVERSIBLE?* Universidad de Sevilla. <https://doi.org/10.12795/ppa2017.i16.01>

Énergie dans les bâtiments. (2021, 11 mai). Ministère de la Transition écologique. <https://www.ecologie.gouv.fr/energie-dans-batiments>

Enquête sur les pratiques environnementales des ménages (EPEM 2016) | Données et études statistiques. (2016). Ministère de la transition écologique. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/enquete-sur-les-pratiques-environnementales-des-menages-epem-2016>

État de santé en Wallonie. (2021, 7 juin). IWEPS. <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/etat-de-sante/>

Gervásio, H., Santos, P., da Silva, L., Vassart, O., Hettinger, A. L., & Huet, V. (2014, février). *Valorisation de la contribution des structures en acier au développement durable*. Fonds de Recherche pour le Charbon et l'Acier (RFCS) de la Communauté européenne. http://sustainable-steel.eu/downloads/fr/Background%20document_fr.pdf

Herpin, N., & Verger, D. (2008). *Consommation et modes de vie en France*. Découverte.

Hugon, P. (2005). Environnement et développement économique : les enjeux posés par le développement durable. *Revue internationale et stratégique*, 60(4), 113-126. <https://doi.org/10.3917/ris.060.0113>

ISO 14040:2006. (2014, août 12). ISO. <https://www.iso.org/fr/standard/37456.html>

Jouvenel, H., Lamblin, V., & Theys, J. (2003). *Radioscopie de la France en mutation, 1950–2030. L'évolution socio-économique, les modes de vie, les territoires, les villes, la mobilité et l'environnement en 40 dimensions*. FUTURIBLES INTERNATIONAL. <http://isidoredd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/CETTEXST005344/CETTEXST005344.htm>

Kende, P. (1976). La prospective de la consommation et des modes de vie. L'état des travaux français. *Revue d'études comparatives Est-Ouest*, 7(2), 203-227. <https://doi.org/10.3406/receo.1976.2041>

Larousse, Æ. (2021a). *Définitions : comportement - Dictionnaire de français Larousse*. Larousse. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/comportement/17728>

Larousse, Æ. (2021b). *Définitions : pratique, pratiques - Dictionnaire de français Larousse*. Larousse. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/pratique/63257>

Lasida, E. (2009). Le développement durable : un nouveau style de vie. *Transversalités*, 109(1), 7-17. <https://doi.org/10.3917/trans.109.0007>

Lefèvre, F. & L'Echo. (2018, 31 janvier). *La Wallonie prévoit un « stop au béton » en 2050*. L'Echo. <https://www.lecho.be/monargent/immobilier/la-wallonie-prevoit-un-stop-au-beton-en-2050/9977339.html>

Le Gallic, T. (2018, octobre). « *Penser nos futurs modes de vie dans les démarches de prospective énergétique : proposition d'une approche par la modélisation*. Université de recherche Paris Sciences et Lettres. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01887812>

Leonard-Barton, D. (1981). Voluntary Simplicity Lifestyles and Energy Conservation. *Journal of Consumer Research*, 8(3), 243-252. <https://doi.org/10.1086/208861>

Le Van Lemesle, L. (2004). Les théories économiques et la crise de 1973. *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, 84(1), 83-92. <https://doi.org/10.3406/xxs.2004.4298>

Lévy, J. P., Roudil, N., Flamand, A., & Belaïd, F. (2014). Les déterminants de la consommation énergétique domestique. *Flux*, N° 96(2), 40. <https://doi.org/10.3917/flux.096.0040>

Lüdtke, H., & Schwenk, O. G. (1996). *Lebensstil zwischen Sozialstrukturanalyse und Kulturwissenschaft (Sozialstrukturanalyse, 7) (German Edition)* (1996e éd.). VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Malmedy, C. (2020). *Analyse des impacts environnementaux et calcul du coût environnemental d'un immeuble à appartements sur l'ensemble de son cycle de vie pour atteindre les objectifs quasi zéro énergie et net zéro énergie*. Faculté des sciences appliquées - Université de Liège (ULG). <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/8978>

Maréchal, P. (1977). *Crise de l'énergie et évolution des modes de vie*. CREDOC. <https://www.credoc.fr/publications/crise-de-lenergie-et-evolution-des-modes-de-vie>

Massard-Guilbaud, G. (2007, avril). *Note sur l'histoire de l'environnement urbain en France*. http://www.archives-oraales.developpement-durable.gouv.fr/docs/Manifestation/0000/Manifestation-0000036/Genevieve_Massard_Note_sur_l%27histoire_de_lenvironnement_en_France.pdf
Communication donnée à l'Assemblée générale de l'AHCESR

Mauger, P. (2005). *MODE DE VIE*. Encyclopædia Universalis. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/mode-de-vie/>

Ministère de la transition écologique et solidaire. (2017, juillet). *Plan climat*. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2017.07.06%20-%20Plan%20Climat.pdf>

Ministère de la Transition écologique. (2021, mai). *Énergie dans les bâtiments*. <https://www.ecologie.gouv.fr/energie-dans-batiments>

Mor, E. (2010). *Rétrospective des modes de vie 1960-1970 / 2000-2010*. Rapports réalisés dans le cadre du projet PROMOV. http://energie.promes.cnrs.fr/projets_2009/list_proj1e85.html?id=54

Parin, M. (2018). *Maxime Parin architecte | Le logement en question | Concours*. Monsite. <https://www.maximeparinarchitecte.com/concours-le-logement-en-question>

Pourouchottamin, P., Barbier, C., Chancel, L., & Colombier, M. (2013, avril). *Nouvelles représentations des consommations d'énergie* (No 22). Les cahiers du Club d'Ingénierie Prospective Énergie et Environnement. https://www.iddri.org/sites/default/files/import/publications/clip22_nouvelles-representations-consommations-energie_web.pdf

Pyramides des âges en Wallonie. (2021, 6 juin). IWEPS. <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/pyramides-des-ages/>

Recht, T., Munaretto, F., Schalbart, P., & Peuportier, B. (2017, février). *Analyse de la fiabilité de COMFIE par comparaison à des mesures. Application à un bâtiment passif*. Conférence IBPSA. <https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-01461407/document>

Reiter, S. (2010). *Life cycle assessment of buildings - a review*. In *Arcelor-Mittal International Network in Steel Construction, Sustainable Workshop and Third Plenary Meeting*. LEMA ; Lepur : Centre de Recherche en Sciences de la Ville, du Territoire et du Milieu rural. <http://hdl.handle.net/2268/96541>

Rossi, B., Marique, A. F., & Reiter, S. (2012). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. *Building and Environment*, 51, 402-407. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.002>

Scardigli, V. (1987). *L'Europe des modes de vie*. Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

Schipper, L., Bartlett, S., Hawk, D., & Vine, E. (1989). Linking Life-Styles and Energy Use : A Matter of Time ? *Annual Review of Energy*, 14(1), 273-320. <https://doi.org/10.1146/annurev.eg.14.110189.001421>

Servaes, R., Allacker, K., Debacker, W., Delem, L., de Nocker, L., de Troyer, F., Janssen, A., Peeters, K., Spirinckx, C., & van Dessel, J. (2013, mars). *Profil environnemental des éléments de construction vers une évaluation environnementale intégrée des matériaux utilisés dans les bâtiments*. OVAM. <https://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/Profil%20environnemental%20des%20éléments%20de%20construction.pdf>

SESSI & Ministère de l'économie, des finances et de l'emploi. (2007). *Les fournisseurs de la construction en chiffres*. http://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/56726/1/SESSI_batimat2007.pdf

Sevin, M. (2018). *Analyse du cycle de vie à l'échelle du quartier*. Faculté des sciences appliquées - Université de Liège (ULG). <https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/4676/7/Matthieu%20Sevin%20TFE.pdf>

Simonen, K. (2014). *Life Cycle Assessment*. Routledge.

Sobel, M. E. (2013). *Lifestyle and Social Structure : Concepts, Definitions, Analyses*. Academic Press.

Tabbone, L., Ravalet, E., Durand-Daubin, M., & Kaufmann, V. (2016, Janvier). *Spatial location of activities and energy consumption of households in France*. EPFL. EDF. https://www.researchgate.net/publication/301511210_Spatial_location_of_activities_and_energy_consumption_of_households_in_France

Tallman, I., & Morgner, R. (1970). Life-Style Differences Among Urban and Suburban Blue-Collar Families. *Social Forces*, 48(3), 334-348. <https://doi.org/10.2307/2574652>

Taux d'accroissement de la population wallonne. (2021, 8 juin). IWEPS. <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/taux-daccroissement-de-la-population/>

Theys, J., & Vidalenc, E. (2013). *Repenser les villes dans la société post-carbone*. Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie. ADEME. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/repenser-villes-dans-societe-post-carbone-7870.pdf>

Tsayem Demaze, M. (2009). Les conventions internationales sur l'environnement : état des ratifications et des engagements des pays développés et des pays en développement. *L'Information géographique*, 73(3), 84-99. <https://doi.org/10.3917/lig.733.0084>

Vavàkovà, B. (1984). La différenciation des modes de vie dans les sociétés de type soviétique (Hongrie, Pologne, Tchécoslovaquie). *Revue d'études comparatives Est-Ouest*, 15(1), 33-59. <https://doi.org/10.3406/receo.1984.2478>

Verbeeck, G., & Hens, H. (2010). Life cycle inventory of buildings: A contribution analysis. *Building and Environment*, 45(4), 964-967. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.10.003>

Verchère, A. (2012). Le développement durable en question : analyses économiques autour d'un improbable compromis entre acceptations optimiste et pessimiste du rapport de l'Homme à la Nature. *L'Actualité économique*, 87(3), 337-403. <https://doi.org/10.7202/1009279ar>

Vilches, A., Garcia-Martinez, A., & Sanchez-Montañes, B. (2017). Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment : A literature review. *Energy and Buildings*, 135, 286-301. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042>

Vuarnoz, D., Hoxha, E., Nembrini, J., Jusselme, T., & Cozza, S. (2020). Assessing the gap between a normative and a reality-based model of building LCA. *Journal of Building Engineering*, 31, 101454. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101454>

Wolvén, L. E. (1991). Life-styles and energy consumption. *Energy*, 16(6), 959-963. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(91\)90047-p](https://doi.org/10.1016/0360-5442(91)90047-p)

XB Architectes. (2015, novembre). *Architecture évolutive/flexible - Projet BAZED*. ADEME. Nobatek. <https://www.bazed.fr/wp-content/uploads/2015/10/bazed-evolutivite-1.pdf>

Youmatter. (2021, 19 avril). *Comprendre le développement Durable : définition, histoire, enjeux*. https://youmatter.world/fr/definition/definition-developpement-durable/#anchor_0

Zablocki, B. D., & Kanter, R. M. (1976). The Differentiation of Life-Styles. *Annual Review of Sociology*, 2(1), 269-298. <https://doi.org/10.1146/annurev.so.02.080176.001413>

Table des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 Les exigences PEB de 2021 en fonction de la nature des travaux – energie.wallonie.be | 8 |
| Figure 2 U_{max} d'après les exigences PEB de 2021 - energie.wallonie.be..... | 8 |
| Figure 3 Frise chronologique reprenant les publications majeures..... | 14 |
| Figure 4 Frise chronologique du développement durable..... | 20 |
| Figure 5 Les trois piliers du développement durable – source : un.org..... | 21 |
| Figure 6 « De ces trois opinions sur les désordres climatiques (tels que les tempêtes et inondations en France), laquelle se rapproche le plus de la vôtre ? » - Source : Ademe (Enquête sur les représentations sociales du changement climatique 2001-2017) | 23 |
| Figure 7 « Pour chacune des activités que je vais vous citer, dites-moi si, d'après ce que vous savez, elle contribue beaucoup, assez, peu ou pas du tout à l'effet de serre ? » - Source : Ademe (Enquête sur les représentations sociales du changement climatique : 20 ^{ème} vague)23 | 23 |
| Figure 8 « Comment jugez-vous l'état de l'environnement ? » - Sources : CGDD/SDES (Epem 2011-2016)..... | 24 |
| Figure 9 « Si le réchauffement/changement climatique continu, à votre avis, quelles seront les conséquences en France d'ici une cinquantaine d'année » - Source : ADEME, Les représentations sociales (de l'effet de serre) du changement climatique », GLS - Opinion Way | 24 |
| Figure 10 « Je vais vous citer des actions qui pourraient réduire les émissions de gaz à effet de serre ; pour chacune, dites-moi si vous le faites déjà ? » - Source : Ademe (Enquête sur les représentations sociales du changement climatique 2001-2017)..... | 25 |
| Figure 11 Consommation énergétique et PIB par habitant dans 6 pays (USA, R-U, Suède, Allemagne, France, Japon) – (Le Gallic, 2018) | 26 |
| Figure 12 Usage de l'énergie et usage du temps aux États-Unis en 1985 – (Schipper et al., 1989) | 28 |
| Figure 13 Consommation d'énergie et émissions de CO ₂ aux États-Unis en 1997 - (Bin et Dowlatabadi, 2005)..... | 28 |
| Figure 14 Structure des consommations énergétiques des Français en 2005 – (Pourouchottamin et al., 2013)..... | 29 |
| Figure 15 Synthèse des consommations globales, par personne et par m ² – (INSEE, Enquête nationale sur le logement, 2002)..... | 31 |
| Figure 16 Profils dominants selon les types de consommateurs - Source : Enquête nationale sur le logement 2002 (INSEE)..... | 32 |
| Figure 17 Intensité de consommation selon les types de consommateurs - Source : Enquête nationale sur le logement 2002 (INSEE) | 33 |
| Figure 18 Plans du logement étudié – (De Meester et al., 2013) | 34 |
| Figure 19 Synthèse des scénarios étudié – (De Meester et al., 2013) | 35 |
| Figure 20 Synthèse des résultats - (De Meester et al., 2013) | 35 |
| Figure 21 Les 4 scénarios étudiés dans l'analyse du cycle de vie - (De Meester et al., 2013)) | 36 |
| Figure 22 Les charges de chauffage selon les degrés d'isolation et selon les 4 scénarios étudiés – (De Meester et al., 2013) | 36 |
| Figure 23 Évolution des populations des régions belges (1992-2020) - Source : IWEPS | 38 |

| | |
|--|----|
| Figure 24 Pyramide des âges de la Wallonie en 2020 et en 2071 - Sources : Bureau fédéral du Plan juin 2020 ; Statbel ; Calculs : IWEPS | 38 |
| Figure 25 Évolution de la taille des ménages privés en Wallonie (indice 1992=100) - Source : Demobel – Statbel ; Calculs : IWEPS | 40 |
| Figure 26 Répartition des ménages privés wallons selon le type au 1er janvier 2020 (en pourcentage) - Source : Demobel – Statbel ; Calculs : IWEPS..... | 41 |
| Figure 27 Évolution externe, l'extension - (XB Architectes, 2015)..... | 43 |
| Figure 28 Évolution interne – (XB Architectes, 2015) | 43 |
| Figure 29 Évolution de l'habitat au cours d'une même journée en fonction des besoins - Source : Studio Wok Architects (2015) | 45 |
| Figure 30 Évolution du logement selon les besoins – (PKMN Architecture, 2014)..... | 47 |
| Figure 31 Système structurel utilisé – (Maxime Parrin Architecte, 2018) | 48 |
| Figure 32 Coupe technique – (Maxime Parrin Architecte, 2018)..... | 48 |
| Figure 33 Des compositions d'aménagement différentes adaptées aux modes de vie – (Maxime Parrin Architecte, 2018)..... | 49 |
| Figure 34 H. Gervasio, P. Santos, L-S. da Silva et al., "Large valorisation on sustainability of steel structures", 2014..... | 51 |
| Figure 35 Méthodologie générale du présent TFE..... | 55 |
| Figure 36 Typologie des logements de Belgique en 2021 - (Statsbel, 2021) | 56 |
| Figure 37 Typologie des logements de Belgique en 2021 - (Statbel, 2021) | 56 |
| Figure 38 Superficies bâties au sol en fonction des régions et des typologies de logement en 2021 - (Statbel, 2021) | 57 |
| Figure 39 Localisation géographique du logement étudié..... | 58 |
| Figure 40 Évolution du profil de la famille | 61 |
| Figure 41 Synthèse des paramètres et scénarios étudiés..... | 70 |
| Figure 42 Schéma détaillé de la méthodologie mise en place pour ce travail de fin d'études | 74 |
| Figure 43 Plan 2D du bâtiment étudié - Pleiades Modeleur | 79 |
| Figure 44 Visuel 3D du bâtiment étudié - Pleiades Modeleur | 79 |
| Figure 45 Zonage thermique des différentes pièces du bâtiment étudié - Pleiades Modeleur | 80 |
| Figure 46 Exemple de l'encodage des températures - Pleiades Modeleur..... | 81 |
| Figure 47 Exemple de l'encodage des scénarios d'occupation - Pleiades Modeleur | 82 |
| Figure 48 Exemple de l'encodage des puissances dissipées - Pleiades Modeleur | 83 |
| Figure 49 Analyse de l'influence de la température sur les besoins de chauffage – Période 18-35 ans..... | 85 |
| Figure 50 Analyse de l'influence des modes d'occupation sur les besoins de chauffage - Période 18-35 ans | 86 |
| Figure 51 Analyse de l'influence de la modalité d'habitation sur les besoins de chauffage - Période 18-35 ans | 87 |
| Figure 52 Influence de la température sur les besoins de chauffage - Période 36-60 ans | 88 |
| Figure 53 Analyse de l'influence des modes d'occupation sur les besoins de chauffage - Période 36-60 ans | 89 |
| Figure 54 Analyse de l'influence de la gestion de la zone chauffée sur les besoins de chauffage - Période plus de 60 ans | 91 |
| Figure 55 Synthèse des scénarios retenus pour l'ACV | 93 |
| Figure 56 Répartition des impacts environnementaux dans les différentes phases du cycle de vie - Scénario de référence de la période des 18-35 ans | 99 |

| | |
|--|-----|
| Figure 57 Ecoprofil du scénario de référence de la période des 18-35 ans – Pleiades ACV ... | 99 |
| Figure 58 Analyse de l'influence de la température sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence et du scénario M1T3 (Unité fonctionnelle : logement entier)..... | 104 |
| Figure 59 Analyse de l'influence de la température sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence et du scénario M1T1 (Unité fonctionnelle : logement entier)..... | 105 |
| Figure 60 Analyse de l'influence de la modalité d'habitation sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence et du scénario M4T1 (Unité fonctionnelle : l'occupant) | 106 |
| Figure 61 Répartition des impacts environnementaux dans les différentes phases du cycle de vie - Scénario de référence de la période des 36-60 ans | 108 |
| Figure 62 Ecoprofil du scénario de référence de la période des 36-60 ans – Pleiades ACV . | 109 |
| Figure 63 Analyse de l'influence du mode d'occupation sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence avec les scénarios M7T2 et M6T2 (Unité fonctionnelle : logement entier) | 110 |
| Figure 64 Analyse de l'influence de la mobilité sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence avec le scénario M5T2 (Unité fonctionnelle : logement entier)..... | 112 |
| Figure 65 Répartition des impacts environnementaux dans les différentes phases du cycle de vie - Scénario de référence de la période des plus de 60 ans..... | 115 |
| Figure 66 Ecoprofil du scénario de référence de la période des plus de 60 ans - Pleiades ACV | 115 |
| Figure 67 Analyse de l'influence de la modalité d'habitation sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence avec le scénario M9T3 (Unité fonctionnelle : l'occupant)..... | 116 |
| Figure 68 Analyse de l'influence de la gestion des déchets sur les résultats ACV. Comparaison des impacts environnementaux du scénario de référence avec le scénario M9T3 (Unité fonctionnelle : logement entier)..... | 117 |

Table des tableaux

| | | |
|------------|---|-----|
| Tableau 1 | Tableau de synthèse des différentes dimensions abordées – (Le Gallic, 2018) | 16 |
| Tableau 2 | Définition des dimensions – synthèse de l’auteur (Le Gallic, 2018)..... | 17 |
| Tableau 3 | Superficie des terrains artificialisés en Wallonie - Sources : SPF Finances - AGDP (base de données Bodem/Sol) ; Statbel (SPF Économie - DG Statistique)..... | 39 |
| Tableau 4 | Tableau de synthèse des compositions des parois du bâtiment étudié | 76 |
| Tableau 5 | Tableau de l'émissivité infrarouge, de l'absorptivité solaire et de la réflectivité lumineuse des principales parois du bâtiment étudié..... | 77 |
| Tableau 6 | Coefficient de transmission thermique et atténuation en dB des fenêtres et vitrages du bâtiment étudié | 77 |
| Tableau 7 | Les principaux ponts thermiques du bâtiment étudié | 78 |
| Tableau 8 | Tableau de synthèse des résultats de la STD | 84 |
| Tableau 9 | Résultats ACV du scénario de référence de la période des 18-35 ans | 98 |
| Tableau 10 | Résultats détaillés de l'ACV du scénario de référence de la période des 18-35 ans | 98 |
| Tableau 11 | Résultats ACV du scénario de référence de la période des 36-60 ans | 107 |
| Tableau 12 | Résultats détaillés de l'ACV du scénario de référence de la période des 36-60 ans | 108 |
| Tableau 13 | Résultats ACV du scénario de référence de la période des plus de 60 ans..... | 114 |
| Tableau 14 | Résultats détaillés de l'ACV du scénario de référence de la période des plus de 60 ans..... | 114 |
| Tableau 15 | Variation des indicateurs environnementaux de l'ensemble des scénarios étudiés | 118 |

Annexes

Vous trouverez à votre disposition trois fichiers :

1. Annexes_TFE_Chapiron_Antoine.pdf
2. Annexes_Excel_ACV_TFE_Chapiron_Antoine.xlsx
3. Annexes_Excel_STD_TFE_Chapiron_Antoine.xlsx

Les annexes sont téléchargeables et disponibles sur le site : matheo.uliege.be