Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

2022-2023

Thèse Professionnelle

Département Génie Civil et Construction

Mastère Spécialisé Immobilier et Bâtiment Durables,

Transitions carbone et numérique

Nils Frantz

La micro-maison, potentiel et pertinence de son développement

Projet réalisé au sein de Hausmade

10, rue du Jura 68440 Dietwiller

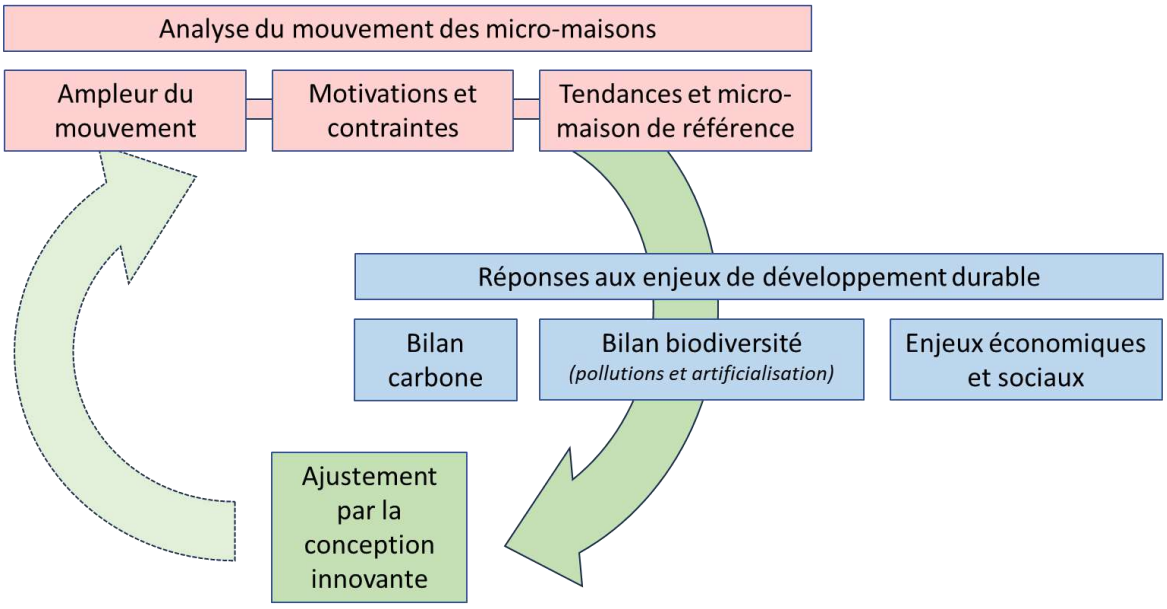
19/10/2023

Tuteur entreprise : Monsieur Rode Frantz

Tuteur Ecole : Monsieur Arthur Lapeyrère

Résumé

Cette étude présente une approche originale consistant à évaluer le potentiel des micro-maisons (Tiny-house) au regard des grands enjeux nationaux. Elle est suivie par la proposition de solutions relatives à leur conception. Ces travaux ont pour ambition de participer à la croissance du mouvement dans le cadre d'un développement durable. La démarche est schématisée ci-dessous.



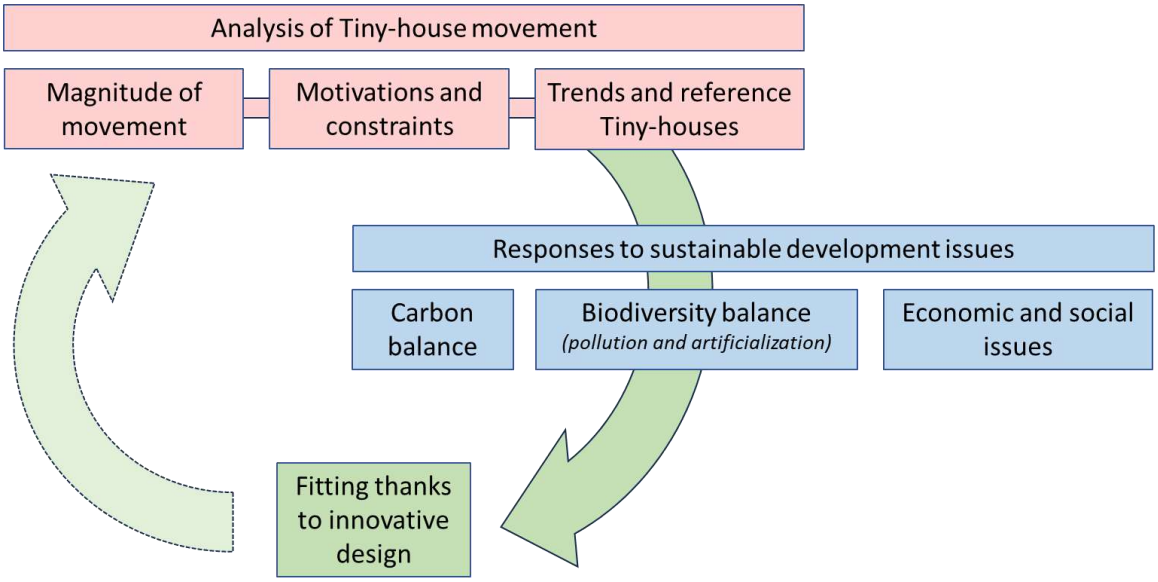
L'analyse du mouvement a permis d'en saisir l'ampleur, les facteurs qui poussent à son développement, ceux qui le freinent et les tendances importantes qui caractérisent l'habitat. L'étude a montré que le minimalisme est au cœur de ce mode de vie. L'engouement qu'il suscite serait lié à l'équilibre qu'il propose entre cette philosophie et un certain niveau de confort. Certains freins relatifs à cette dernière dimension ont émergé au cours de cette étude, tel que le manque d'inertie thermique. Il est apparu que ces inconvénients étaient bien souvent indissociables de la micro-maison mobile. La disposition du terrain figure aussi parmi les principales contraintes. Il résulte que le caractère mobile, propre à un grand nombre de micro-maisons, a du mal à se justifier en France. L'importance du facteur économique et la simplicité relative à ce mode de vie semblent prépondérantes parmi les arguments en faveur de ce mouvement. La taille réduite couplée à d'autres caractéristiques inhérentes à ce type d'habitat lui permet de bénéficier également d'un impact environnemental très faible, en comparaison à

la moyenne nationale du résidentiel. Toutefois, son potentiel semble encore largement sous-exploité. La conception proposée permet de résoudre une grande partie des freins identifiés et ambitionne de participer à leur développement. Enfin, les travaux menés pour cette étude ont montré que l'analyse relative à la micro-maison ne peut être dissocié de celle du transport et que leur implantation doit se faire dans un cadre légal pertinent.

Mots-clés : micro-maison, développement durable, minimalisme, confort

Abstract

This study presents an original approach to assessing the potential of tiny-houses in relation to major national issues. It is followed by a proposal of solutions for their design. The aim is to contribute to the growth of the movement within the framework of sustainable development.



Analysis of the movement has enabled us to grasp its scope, the factors driving its development, those holding it back, and the important trends characterizing the habitat. The study showed that minimalism is at the heart of this lifestyle. Its popularity is linked to the balance it offers between this philosophy and a certain level of comfort. A number of comfort-related drawbacks became apparent during the course of the study, such as the lack of thermal inertia. This study showed that these disadvantages are often inseparable from the mobile tiny-house. Access to land is also one of the main constraints. As a result, the mobile nature of many tiny houses is not really justified in France. The importance of the economic factor and the simplicity of the lifestyle seem to be the main arguments in favor of this movement. The smaller size and other inherent characteristics of this type of housing also mean that it has a much lower environmental impact than the national residential average. However, its potential remains largely unexploited. The proposed design resolves many of the obstacles identified, and aims to contribute to their

development. Finally, the work carried out for this study has shown that the analysis of tiny-houses cannot be dissociated from that of transport, and that their implementation must take place within a relevant legal framework.

Keywords : tiny-house, sustainable development, minimalism, comfort

Table des matières

1 Table des matières

Résumé 2
Abstract 4
Table des matières 6
Liste des tableaux 9
Liste des figures 11
Liste des annexes 13
Introduction 14
1 La tendance 18
1.1 Comment définit-on la micro-maison ? 18
1.2 Quelle est l'ampleur de ce mouvement ? 21
1.2.1 Quel est le nombre d'implantations aujourd'hui ? 21
1.2.2 Quelle en est la dynamique ? 23
1.2.3 Conclusion intermédiaire 23
1.3 Qu'y a-t-il à la source de ce mouvement ? 25
1.3.1 Le minimalisme, un courant de pensé à la source de facteurs plus concrets 25
1.3.2 Le facteur économique 27
1.3.3 La simplicité 28
1.3.4 La flexibilité et la mobilité 29
1.3.5 Le respect de l'environnement 29
1.3.6 Le contact avec la nature 30
1.3.7 L'adhésion à la communauté 31
1.4 Quel est le profil de leurs occupants ? 32
1.4.1 Objectif, méthode et limites de l'analyse 32
1.4.2 Résultats et interprétations 33
1.4.3 Conclusion intermédiaire 35
1.5 Quelles sont les motivations pour franchir le pas ? 36
1.5.1 Objectif, méthode et limites de l'analyse 36
1.5.2 Résultats et interprétations 40
1.5.3 Conclusion intermédiaire 42

1.6 Quelles sont les freins à son développement ? 43
1.6.1 Objectif, méthode et limites de l'analyse 43
1.6.2 Analyses et interprétations 44
1.6.3 Conclusion intermédiaire 50
1.7 Quelles sont les tendances caractéristiques de cet habitat ? 52
1.7.1 Objectif, méthode et limites de l'analyse 52
1.7.2 Analyses et interprétations 52
1.7.3 Conclusion intermédiaire 63
1.8 Ce qu'il faut retenir 65
2 Le potentiel au regard des enjeux de développement durable 68
2.1 L'enjeu Climat 68
2.1.1 La situation à l'échelle mondiale 68
2.1.2 La situation en France 70
2.1.3 Le potentiel des micro-maisons 77
2.2 L'enjeu Biodiversité 82
2.2.1 La situation à l'échelle mondiale 82
2.2.2 La situation en France 88
2.2.3 Le potentiel des micro-maisons 95
2.3 Les enjeux économique et social 99
2.3.1 La situation à l'échelle mondiale 99
2.3.2 La situation en France 100
2.3.3 Le résidentiel et le transport 105
2.3.4 Le potentiel des micro-maisons 115
2.3.5 Conclusion intermédiaire 120
2.4 Ce qu'il faut retenir 121
3 Une conception innovante en réponse aux besoins 123
3.1 Les axes de conception 123
3.1.1 Le concept 123
3.1.2 Les dimensionnements 130
3.2 Le bilan 143
3.2.1 Le bilan carbone 143
3.2.2 Les économies 145

3.2.3 Les améliorations majeures 147
Conclusion 149
Bibliographie 152
Annexes 174
Annexe 1 : Enquête sur le potentiel de développement des tiny-houses en France 175

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les principales caractéristiques d'une micro-maison représentative en France ... 63
Tableau 2 : Bilan des consommations énergétiques et émissions de gaz à effet de serre du résidentiel et des véhicules particuliers ... 75
Tableau 3 : Données d'entrées et évaluation des besoins pour le bilan carbone de la micro-maison de référence ... 78
Tableau 4 : Synthèse des bilans carbone suivant le mix énergétique de la micro-maison de référence ... 79
Tableau 5 : Synthèse des impacts sur la biodiversité du résidentiel et des véhicules particuliers ... 93
Tableau 6 : Données d'entrée et évaluation des besoins pour l'évaluation des impacts sur la biodiversité de la micro-maison de référence (alimentée au bois de chauffage) ... 96
Tableau 7 : Synthèse de l'évaluation des impacts sur la biodiversité de la micro-maison de référence alimentée au bois de chauffage ... 97
Tableau 8 : Données d'entrée pour l'évaluation du coût moyen du logement ... 114
Tableau 9 : Synthèse des dépenses énergétiques pour l'occupation de la micro-maison de référence ... 116
Tableau 10 : Synthèse des dépenses lissées à l'année pour une vie en micro-maison (100% électricité) ... 117
Tableau 11 : Synthèse des dépenses relatives à la micro-maison en comparaison aux moyennes nationales ... 119
Tableau 12 : Dimensionnement de la production de chaleur pour Hausmade ... 132
Tableau 13 : Besoins annuels en bois pour le cas le plus défavorable ... 134
Tableau 14 : Bilan des puissances et consommations électriques de Hausmade ... 135
Tableau 15 : Dimensionnement du système solaire photovoltaïque pour Hausmade ... 136
Tableau 16 : Estimatif des coûts de Hausmade sans l'aménagement ... 142
Tableau 17 : Données d'entrée et évaluation des besoins pour le bilan carbone de Hausmade ... 143
Tableau 18 : Synthèse du bilan carbone de Hausmade ... 144
Tableau 19 : Synthèse des dépenses en bois de chauffage pour Hausmade ... 145

Tableau 20 : Synthèse du bilan économique de la vie dans Hausmade comparée à la micro-maison de référence 146

Liste des figures

Figure 1 : La micro-maison construite par Yvan Saint-Jours en France en 2013 14
Figure 2 : Les grands axes définissant la micro-maison 19
Figure 3 : Exemple de micromaisons mobile (gauche) et sur fondations légères (droite) 21
Figure 4 : Evolution du chiffre d'affaires du marché des tiny house au niveau mondial selon (PR Newswire Technavio, 2022) 22
Figure 5 : Schéma des considérations à la source du mouvement des micro-maisons 27
Figure 6 : Tendances relatives aux profils des occupants de micro-maisons à l'échelle globale; les degrés de rouges marquent l'importance de chacune des catégories ; 1 : (Carras, 2019; Mariotti, 2022; Saxton, 2019; Summers, 2022) ; 2 : (Spätling, 2021; Mariotti, 2022; Made in FR, 2022; Vasseur et al., 2022) 3 : (Cumberbatch-Pearson, 2021; Vasseur et al., 2022) ; 4 :(Anson, 2014; Carras, 2019; Saxton, 2019; Vasseur et al., 2022; Zhang et al., 2022) 33
Figure 7 : Synthèse des facteurs de motivations classés par ordre d'importance selon une enquête dédiée et une analyse de la littérature 1 : Cumberbatch 2020, Mangold et Zschau 2019, Vasseur 2022, Shearer et Burton, Boeckermann, Kilman 2016, ANso 2014, Kaczynski et King 2019, Ilias, Lima 2020, Kiser 2016, Barinkova, Mutter 2013, Böllert 2019, Made in FR, Miyigena 2015, Harris 2018, Langer 2020 40
Figure 8 : Synthèse des principales contraintes estimées et de leurs interdépendances dans le cheminement consistant à vivre en micro-maison (épaisseur des lignes reflète l'importance du lien entre les processus) 51
Figure 9 : Piste de réflexion pour l'amélioration de l'inertie thermique des micro-maisons 59
Figure 10 : Dimensions et bilan thermique de l'enveloppe d'une micro-maison moyenne en France 64
Figure 11 : Simulation d'implantation en zone pavillonnaire et en zone agricole ou naturelle 66
Figure 12 : Répartition de la consommation en énergie primaire en France 71
Figure 13 : Consommation en énergie finale par secteur en France 72
Figure 14 : Schéma simplifié de la méthode IMPACT 2002+ utilisée en vue d'évaluer les impacts sur la biodiversité 84
Figure 15 : Schémas de la méthode appliquée à l'évaluation des impacts du résidentiel et des transports en véhicules particuliers sur la biodiversité 90

Figure 16 : Les principaux enjeux nationaux estimés au regard des dimensions économiques et sociales 104
Figure 17 : Synthèse des enjeux économiques et sociaux du résidentiel et du transport associé 106
Figure 18 : Synthèse de l'évaluation quantitative sur le potentiel des micro-maisons relatifs aux enjeux de développement durable en France 121
Figure 19 : Vues de la structure Hausmade – Source : Gianvito Corazza 124
Figure 20 : Immersion 3D de Hausmade – Source : Gianvito Corazza (www.hausmade.fr) 125
Figure 21 : Zoom sur les matières premières du béton de chanvre-chaux 126
Figure 22 : Concept énergétique de Hausmade 128
Figure 23 : Bilan thermique de l'enveloppe de Hausmade – plan de base : Gianvito Corraza 131
Figure 24 : Monotone de chauffage en configuration défavorable de Hausmade (localisation dans le Jura et allongement de la période de chauffe sur la base d'une température extérieure de 19°C) 133
Figure 25 : Evaluation de l'autonomie électrique et dimensionnement de la batterie pour la conception proposée – en haut : journée de référence en plein hiver – en bas : journée de référence en intersaison 138
Figure 26 : Evaluation du surplus solaire en été pour la conception proposée 140

Liste des annexes

Annexes 174

Introduction

Le mouvement actuel des Tiny Houses ou micro-maisons, à la fois de tailles réduite et mobiles ou facilement démontables, a vu le jour aux États-Unis au début des années 2000 (Dion, 2005), bien qu'il ait ses racines dans des mouvements antérieurs axés sur le minimalisme, la simplicité volontaire, le nomadisme et l'architecture alternative. Un événement fondateur est généralement attribué à l'année 1997, lorsque Jay Shafer a construit sa première « Tiny House » de 9 mètres carrés sur une remorque à Sonoma, en Californie. Le livre "The Not So Big House" de Sarah Susanka, publié en 1998, a également contribué à populariser l'idée de concevoir des maisons plus petites et mieux conçues pour répondre aux besoins des occupants. Cependant, c'est principalement grâce au documentaire "Tiny: A Story About Living Small", réalisé par Merete Mueller et Christopher Smith en 2013, que le mouvement a réellement pris de l'ampleur, rapidement élargi à l'Australie et au Canada (Kilman, 2016; Mangold & Zschau, 2019; Panigyrakis, 2021; Shearer & Burton, 2019; Vasseur et al., 2022) puis plus récemment à l'Europe. En France, la première tiny house a été construite par Yvan Saint-Jours en 2013, le fondateur du magazine : "La Maison Écologique".

Figure 1 : La micro-maison construite par Yvan Saint-Jours en France en 2013

Un contexte propre aux Etats Unis à cette période a sans aucun doute contribué à cette amorce, notamment avec les conséquences de l'ouragan Katrina de 2005, la crise immobilière de 2007, les prix du logement élevés dans les grandes villes, ou encore l'assouplissement de

certaines règles d'urbanisme (Carlin, 2014; Mingoya, 2015; Anson, 2018). En revanche, au-delà d'une certaine proximité culturelle, les pays précurseurs disposent à priori de grands espaces et sont loin de figurer parmi les pays aux tensions foncières les plus fortes. L'attrait que peut avoir ce type d'habitat ne semble pas seulement lié au coût du logement mais aussi à un style de vie, pour lequel il est d'ailleurs difficile d'en extraire un profil type de consommateur. Prenons le risque de résumer ce mouvement comme une réaction au consumérisme ou à la tendance à en vouloir toujours plus (Mangold & Zschau, 2019; Shearer & Burton, 2021), encore largement lié à la perception de la réussite sociale et tendant à guider nos intentions et nos actes au quotidien. Ce phénomène est probablement encore plus prégnant aux Etats Unis qu'ailleurs en tant que fer de lance du capitalisme et pays de la démesure. Les grands espaces offerts par le nouveau continent n'ont sans doute fait qu'exacerber cette tendance. La surface de plancher moyen des maisons individuelles a plus que doublé en 50 ans pour dépasser les 200 m² (Statistica Research Department, 2023) quand le nombre moyen de personnes par foyer a diminué de presque 20% (US Census Bureau, 2023). La consommation énergétique dédiée à l'occupation des logements a suivi cette tendance puisqu'elle a également doublé au cours de cette période (EIA, 2022) à l'heure où il ne fait plus de doute que la planète doit être ménagée. Ce poste correspondrait à environ 30% des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale (IEA, 2022c). L'Australie peut même se targuer de dépasser les Etats-Unis en surface moyenne de plancher de ses maisons individuelles pour avoisiner 250 m² ce qui est un record mondial (Australian Bureau of Statistics, 2023). Par ailleurs, l'étalement urbain et les vastes territoires environnants aux Etats-Unis, comme au Canada et en Australie, ne font qu'accentuer l'importance accordée à la mobilité ainsi que l'envie de l'liberté et de rapprochement avec la nature. D'ailleurs, le facteur environnemental est concerné là aussi puisqu'au-delà de la problématique des transports polluants, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) désigne l'artificialisation des sols comme une cause majeure de la réduction de la biodiversité.

Il s'agit donc en quelque sorte de prendre le contre-pied en consommant moins pour finalement vivre mieux, plus libre et en harmonie avec son environnement, tel que l'a fait valoir d'une certaine manière Henry David Thoreau dans son livre Walden or Life in The Wood Thoreau (Anson, 2017; Ford & Gomez-Lanier, 2017; Anson, 2018; Harris, 2018). Cet écrivain et philosophe américain du XIXième siècle a été jusqu'à démontrer les vertus de la privation de toute technologie, pour atteindre son souhait de liberté, dénué de toute contrainte

matérialiste, en totale synergie avec la nature, quitte à diminuer son confort de vie. Le mouvement des « Tiny Houses » promeut une sorte d'équilibre à même de conserver, voire d'améliorer son confort au quotidien (Bařinková, 2022) tout en adoptant un style de vie moins coûteux et plus respectueux de l'environnement. Ce dernier point semble d'ailleurs avoir bénéficié d'une résonance particulière en Europe et en France (Guide-tinyhouse, 2022; Tiny House France, 2023). Ce mouvement serait aussi affilié à un certain courant de pensés d'après-guerre en Europe de l'Ouest, porté notamment par Le Corbusier ou Jean Prouvé, consistant à proposer des habitats de petite taille, économiques et démontables pour répondre au besoin urgent de logement dans les années 1950-1960. A cela s'ajoute une forte urbanisation sur ce continent et une réglementation plus contraignante, aboutissant finalement à une certaine diversité de ces habitats, de la micro-maison mobile sur remorque à des structures démontables sur fondations légères. La rupture claire évoquée précédemment au sein des Pays précurseurs, notamment en termes de surface habitable, pourrait être moins prononcée en Europe, au regard de la topologie générale des logements ainsi que de la diversité des habitats alternatifs proposés. Mentionnons à cet égard, la maison container née en Chine ou encore la Jataku Japonaise, toutes deux nées dans les années 1990. La première faisant son entrée sur le continent dans les années 2000, la seconde étant source d'inspiration pour les architectes occidentaux dont… Jay Shafer, pionnier de la « Tiny House ».

Ainsi, au fil du temps, le mouvement des micro-maisons s'est étendu à l'échelle mondiale, touchant des personnes de tous horizons. De nombreux architectes, concepteurs et entreprises spécialisés se sont engagés dans la conception et la construction de ce type d'habitat, permettant ainsi à ce mouvement de continuer à prospérer et à innover pour répondre aux besoins évolutifs. En parallèle, un certain nombre d'ouvrages et de documentations ont vu le jour, portant sur des retours d'expérience d'une vie empreinte de minimalisme et de synergies avec la nature ou sur des informations plus opérationnelles, sous forme de guide par exemple. Une centaine de travaux de recherche (articles scientifiques et thèses) ont également été identifiés en rapport à ce type d'habitat. Ils visent le plus souvent à mieux comprendre ce mouvement appliqué à une zone géographique donnée. Les études sont généralement menées par le biais du domaine de la sociologie ou de l'urbanisme. Déjà peu nombreuse, la littérature concentrée sur le territoire national semble davantage avoir occulté la dimension sociologique. Par ailleurs, l'interdisciplinarité et la dimension sociologique liées à l'étude de cet habitat semblent avoir écarté pour le moment l'intérêt des chercheurs en sciences « dure ».

Hausmade est un projet d'entreprise visant à fournir des micro-maisons écologiques, autonomes en énergie, confortables, démontables, sur fondations légères et… abordables. Convaincue de la place de ce type d'habitat dans le parc immobilier de demain, les fondateurs sont à la fois attentifs à l'évolution de ce mouvement et aux grands enjeux de développement durable dans lequel il doit s'intégrer. Disposant des compétences clés, réparties sur toute la chaîne de valeur et au fait des dernières avancées, il en résulte un habitat au plus près du besoin exprimé et aux nombreux avantages différenciants.

Cette étude appliquée aux micro-maisons consiste à proposer une approche originale, articulée autour des enjeux majeurs en matière de développement durable dans les secteurs concernés que sont le bâtiment et le transport. Elle débute par un état de situation ainsi que par une évaluation approfondie des tendances en France et une identification des principaux verrous à un développement plus important. A la suite de quoi une mise en perspective des enjeux majeurs de développement durable, est entreprise. L'objectif est alors à la fois d'apprécier la pertinence d'un développement plus massif de ces micro-maisons, à vocation d'habitat permanent, et d'en entrevoir les limites. Cette seconde partie permet donc de vérifier dans quelle mesure et comment s'attaquer aux verrous identifier à la première partie pour un développement durable. Enfin, fort des constats précédents, une conception innovante est proposée et évaluée, ambitionnant d'accélérer le développement du mouvement et sa durabilité.

1 La tendance

Cette partie consiste à dresser un état de la situation relatif aux micro-maisons et au mouvement qui lui est associé en tant qu'habitat permanent.

Après avoir défini ce que nous considérons comme micro-maison, une première approche est effectuée, estimant la quantité actuelle d'implantations et la croissance estimée. Les sources alimentant le mouvement, les profils concernés ainsi que les motivations et les principales contraintes sont ensuite évalués. Une enquête a été menée en France dans le cadre de cette étude afin de compléter les données issues d'une littérature souvent orientée vers l'étranger. L'ensemble de ces évaluations permet d'apporter toutes les nuances nécessaires à la compréhension d'une tendance encore récente, polymorphe, complexe et faisant l'objet d'un changement radical dans son mode de vie. L'intérêt est également d'identifier les freins majeurs retenant une expansion plus massive ainsi que les facteurs clés susceptibles de les relâcher.

Pour finir, les tendances relatives aux caractéristiques propres à la micro-maison sont établies. Cette démarche considère les enseignements tirés des évaluations précédentes et fournit une référence moyenne de l'ensemble des micro-maisons en présence et à venir sur le territoire national. Celle-ci doit servir afin d'évaluer le potentiel de développement de cet habitat au regard des principaux enjeux en matière de développement durable en France.

1.1 Comment définit-on la micro-maison ?

Il n'existe pas de consensus sur la définition de ce type d'habitat à ce jour. Peu d'articles universitaires s'y sont aventurés et les points de vue divergent en raison des racines populaires de ce phénomène (Panigyrakis, 2021) et des contextes propres à chaque pays (Hradeckỳ, 2008; Mutter, 2013; Mingoya, 2015; Kilman, 2016; Perdereau, 2016; Boeckermann et al., 2019; Böllert, 2019; R. Roy, 2019; Lima, 2020; Ruiter, 2020; Willoughby et al., 2020; Porch Research, 2021; Shearer & Burton, 2021; Bařinková, 2022; Guide-tinyhouse, 2022; Zhang et al., 2022). Les ouvrages « grand public » et les articles en ligne consultés ont l'avantage de présenter une définition au plus près des constatations de terrain mais manquent généralement de précision pour servir de base comme analyse quantitative. Plus étonnant, les études de marché consultées ne semblent pas avoir fait l'objet de plus de précisions. D'ailleurs, pour

beaucoup, il semble évident qu'une micro-maison ou « Tiny House » est une maison sur roue, ce qui n'est pas le parti pris dans cette étude.

Le Code international d'habitation définit les micro-maisons comme suit: tous habitats aux surfaces de plancher inférieures à 37,17 m² (400 square feet), à l'exclusion des lofts. Cette étude reprend ce critère, arrondi à 35 m², et y ajoute, en accord avec la loi française sur l'Accès au Logement et un Urbanisme Rénové (ALUR) promulguée en 2014 (n°2014-366), la nécessité d'être mobile ou montable et démontable sans intervention d'engins lourds. Elle doit aussi être capable de fournir l'ensemble des commodités attendues d'un bâtiment d'habitation. Enfin, le respect des principes de l'éco-conception peuvent être également introduits dans cette définition sans créer de discrimination sur l'ensemble visé. Si la roulotte des XVII^{ième} et XIX^{ième} siècle s'apparente le plus à une Tiny-House dans sa morphologie, le niveau de confort, d'équipement et d'isolation peut les différencier l'une de l'autre. Certains habitats traditionnels tels les yourtes et les tipis, conçus pour être agréables à vivre toute l'année en climat tempéré et démontables peuvent quant à eux satisfaire à la définition de la micro-maison. Cependant, par souci de cohérence, ces habitats ne sont considérés ici que lorsqu'ils s'inscrivent au sein du mouvement récent, objet de cette étude, excluant les personnes n'ayant jamais quitté leur mode de vie de nomade. Ainsi, en ajoutant la dimension communautaire, la définition de la micro-maison considérée dans cette étude (*Figure 2*) est proche de celle énoncée par Shearer et Burton (Shearer & Burton, 2019).

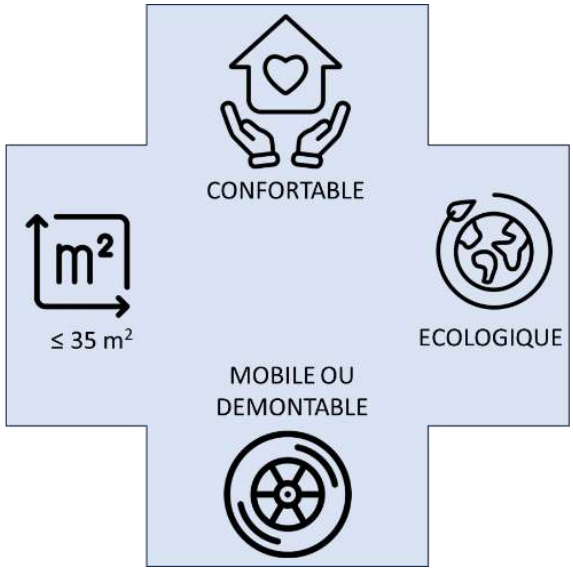


Figure 2 : Les grands axes définissant la micro-maison

Cette définition exclut :

- Les caravanes, camping-car et vans conçus pour "avaler" les kilomètres, pour une occupation temporaire ou saisonnière, disposant d'une structure issue du monde automobile. Les aspects environnementaux ne sont généralement pas considérés lors de leur conception, les matériaux nobles et écologiques tel que le bois, ne sont pas utilisés comme éléments de structure et le niveau de confort est le plus souvent d'un niveau inférieur.
- Les « mobil-homes » ou résidences temporaires/saisonnières et déplaçables sur un terrain de loisir, non conçus pour être spécialement écologiques ni pour une occupation permanente. Ces habitats légers, à destination de loisirs, nécessitent souvent la mise à disposition d'équipements externes, partagés avec un ensemble d'occupants sur le terrain dédié. Là aussi, peu de place est accordée aux matériaux nobles ou biosourcés.
- Les habitats d'« urgence et temporaire », conçus pour un déploiement rapide et économique et pour assurer les services minimums à des populations faisant face à un changement subi. Ils n'ont pas pour vocation première d'être écologique, leur niveau de confort est généralement plus bas et ces habitats nécessitent aussi la sollicitation d'équipements externes.
- Les habitats de fortune auto-construits par des personnes en difficulté, hors des normes de construction, sur domaine public, sans autorisation, conçus en premier lieu pour disposer d'un toit et les fonctions les plus basiques d'un logement, avec la contrainte des matériaux disponibles, qui ne satisfont généralement pas aux critères définis.
- Tout habitat léger à destination touristique et non équipé pour une occupation permanente.

Notons que la frontière entre ces différents types d'habitats peut être floue. Dans certains cas, la micro-maison peut également correspondre aux catégories exclues, si bien qu'elle pourrait empiéter sur leur marché de niche correspondant, plus ancien et bien établi. Il est aussi intéressant de relever que la tendance inverse est fort peu probable. La croissance du marché des micro-maisons en est la preuve, en partie due au style de vie qui lui est attaché et à son impact environnemental voulu comme le plus réduit possible dès sa conception. Une certaine place pour les micro-maisons pourrait donc être explorée en ce sens. Toutefois le niveau de confort et de fonctionnalité ainsi que le coût associé ou encore une mobilité réduite en

comparaison aux caravanes, camping-car et vans, peuvent néanmoins freiner ce type de déploiement. Par ailleurs, pour qu'une micro-maison soit occupée durablement, elle doit sans doute susciter une certaine adhésion au mouvement qui la caractérise.

Figure 3 : Exemple de micromaisons mobile (gauche) et sur fondations légères (droite)

Enfin, les habitats sur roues, aux dimensions permettant un remorquage sur voie publique, présentent un segment à différencier des autres, sur fondations « légères » (*Figure 3**Figure 1*), simplement posées au sol ou sur roue en bois à l'image d'une roulotte aménagée (mobile sur la parcelle).

1.2 Quelle est l'ampleur de ce mouvement ?

Brosser un portrait précis concernant l'implantation de ce type d'habitat n'est pas tâche aisée. Ce mouvement est récent et évolue rapidement. De plus, les constructions ne sont pas toujours répertoriées, la définition de ce type d'habitat peut varier selon les pays concernés, et la frontière entre celui-ci et d'autres types d'habitats, peut être très poreuse. Cette première approche vise à quantifier le nombre d'implantations actuelles et à venir en France.

1.2.1 Quel est le nombre d'implantations aujourd'hui ?

Le marché des micro-maisons est estimé à 15 milliards de dollars en 2023 (*Figure 4*), encore en majorité porté par le marché nord-américain selon (PR Newswire Technavio, 2022).

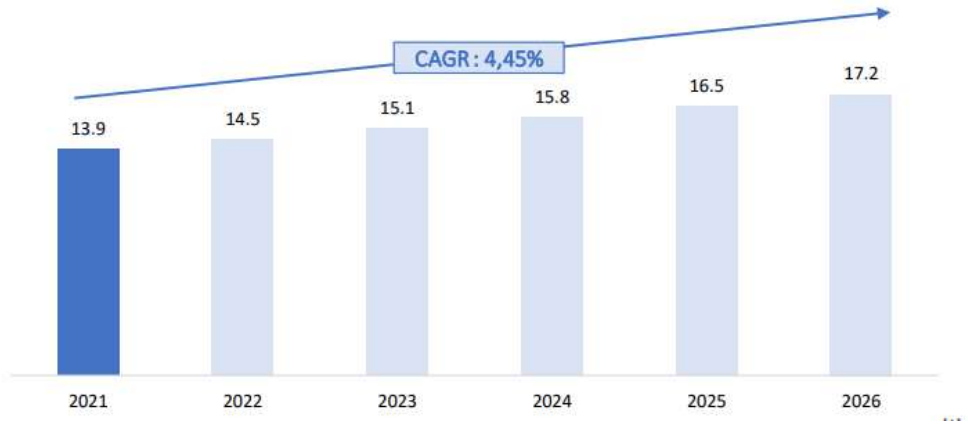


Figure 4 : Evolution du chiffre d'affaires du marché des tiny house au niveau mondial selon (PR Newswire Technavio, 2022)

En considérant un prix moyen de 50 000 $ pour une micro-maison (Olick, 2021), leur nombre pourrait alors avoisiner les 300 000 dans le monde. Les statistiques « Airbnb », leader incontesté parmi les plateformes de location d'habitats, répertorie 60 000 propositions de séjours classés en catégorie « Tiny House » en 2023 (Airbnb Statistics, 2023). Notons une certaine surévaluation puisqu'une proportion importante des annonces ne correspond pas à cette catégorie (cf. 1.1) notamment parce qu'il est possible d'inclure son habitat dans différentes catégories et qu'aucune vérification n'est faite par l'opérateur de la plateforme. Il reste que selon Michaël Desloges, dirigeant de la société « La Tiny House », l'achat est réalisé le plus souvent pour une utilisation personnelle, plutôt que dans une logique de location ou d'investissement (Rollot, 2019). L'analyse de marché fournie par DataBridge confirme cette dernière tendance à l'échelle internationale, bien qu'elle souligne l'importance de la part dédiée au tourisme et son rôle moteur pour le développement de ce marché (Data Bridge, 2022). En recoupant ces informations, l'estimation de 300 000 micro-maisons semble plutôt cohérente. Il est donc raisonnable de retenir l'ordre de grandeur, de la centaine de milliers de micro-maisons actuellement exploitées dans le Monde.

En Europe, même si une quantification pourrait être hasardeuse au regard du caractère novateur du marché, il est possible d'affirmer que l'Allemagne présente le plus grand nombre d'implantations (Spätling, 2021). En France, aucune statistique officielle n'existe à ce jour ce qui explique probablement la tendance par les médias à largement sous-évaluer leur nombre, avec 300 « tiny houses » annoncées par exemple par le quotidien Ouest France en 2020 (Ouest

France, 2020). Selon le groupe Facebook Collectif tiny house, 600 familles habitaient en micro-maisons déjà en 2019 (Le Parisien, 2019). Ce à quoi il faut aussi ajouter la part non négligeable dédiée à la location ou à une occupation temporaire (habitat secondaire ou extension dédiée à l'accueil de ses invités ou au télétravail par exemple). Le magazine 18h39 détenu par Castorama estimait quant à lui en 2022 entre 1200 et 1500 « tiny houses » en France (18h39, 2022). La somme des productions issues d'un ensemble de quatre producteurs parmi les plus importants serait proche du millier 2020. Cette donnée est à considérer en rapport au marché très fragmenté, dénombrant plus de 50 producteurs nationaux (Made in FR, 2022). Enfin, une évaluation réalisée dans le cadre de cette étude montre un volume estimé en 2022 de 1500 « tiny houses » exploitées sur le territoire national. Là aussi, retenons l'ordre de grandeur, du millier de micro-maisons implantées en France. Elle serait principalement représentée par les micro-maisons mobiles bien qu'un volume non négligeable de micro-maisons sur fondations légères existe.

1.2.2 Quelle en est la dynamique ?

La croissance annuelle de ce marché est importante, estimée entre 3.5% et 5% en chiffre d'affaires jusqu'en 2029 selon les études (Data Bridge, 2022; PR Newswire Technavio, 2022). Les Etats-Unis continueraient à porter la croissance de ce marché ces prochaines années (Made in FR, 2022). 57% de la croissance estimée entre 2022 et 2027 serait à attribuer à l'Amérique du Nord (PR Newswire Technavio, 2022). L'Allemagne, les Pays-Bas ou encore la France devraient connaitre une croissance importante, comblant progressivement leur retard en quantité relative au nombre d'habitants (Made in FR, 2022). L'analyse de l'impact de la pandémie de COVID-19 sur cette dynamique mériterait d'être approfondie bien que finalement d'une influence relativement modérée. En somme, il semble qu'elle soit plutôt un facteur d'accélération de la croissance (PR Newswire Technavio, 2022; Vasseur et al., 2022).

1.2.3 Conclusion intermédiaire

Ces micro-maisons confirment leur déploiement progressif à l'échelle globale. Elles seraient donc en passe de se faire une place non négligeable au sein du secteur résidentiel. Cette tendance se confirme également en France avec de **l'ordre du millier d'implantations**, suivant une **dynamique de croissance importante**. Vivre en micro-maison dépasse donc le principe d'un

habitat dit « alternatif » bien que les analyses de marché s'accordent à identifier ces débouchés comme des marchés de niche. En effet, la pertinence de leur implantation au vu des différents enjeux de développement durable et selon les territoires concernés (notamment selon la densité urbaine) est le facteur limitant. A cela s'ajoute le frein relatif au mode de vie associé, en rupture avec une tendance encore largement consumériste.

La limite relative à la pertinence de leur implantation sera approfondie en seconde partie de cette étude afin d'évaluer le réel potentiel de la micro-maison et sa capacité à répondre aux principaux enjeux de notre société.

Il semble toutefois évident que nous sommes encore loin d'atteindre ce niveau de développement. Le frein relatif au changement de mode de vie est quant à lui un aspect central pour évaluer leur développement. Les auteurs et observateurs consultés s'accordent sur le niveau de popularité de ce mouvement en raison des belles valeurs associées (tant pour le travail sur soi que pour le bien de la communauté et le respect de l'environnement). L'engouement est tel que selon une étude américaine, mandatée par RubyHome (Mariotti, 2022), 56% des personnes interrogées déclareraient aimer vivre dans ce type d'habitat, 26 % seraient indécis et 24% seraient sûrs de ne pas le vouloir. Or, cet engouement suppose que l'existence de ce type d'habitat est largement connue. Pourtant, la croissance du marché, importante mais dans des proportions qui restent raisonnables au regard de son potentiel, montre que le **passage à l'acte est loin d'être une évidence**. Il est vrai que les constructeurs semblent rencontrer des difficultés à suivre la demande. Néanmoins, cela s'expliquerait davantage par le changement radical dans le mode de vie qu'induit cette transition de l'habitat « conventionnel » vers la vie en micro-maison.

Par conséquent, la suite de cette partie propose une analyse plus approfondie du mouvement associé à la vie en micro-maison en tant qu'habitat permanent.

1.3 Qu'y a-t-il à la source de ce mouvement ?

L'espace de vie limité des micro-maisons est la caractéristique majeure qui ressort des différentes études et témoignages récoltés ou encore d'une analyse par la méthode de Text Mining ou « fouille de texte ». Celle-ci induit la nécessité de simplifier sa vie, à se débarrasser de l'encombrement matériel et réduire ses consommations en général. Ce mode de vie minimaliste est en fait l'essence même du mouvement porteur de leur développement (*Figure 5*). Associé à un niveau de confort participant à satisfaire pleinement ses besoins physiologiques, il forme les piliers de ce mode de vie (*Figure 5*). Bien que le profil des occupants est loin d'être uniforme (Harris, 2018), la littérature et les occupants de ces micro-maisons décrivent ce mouvement comme imprégné de simplicité volontaire. Il s'agit de réduire à la fois ses consommations, ses dépenses inhérentes au logement, son impact environnemental et sa distance avec la nature (Boeckermann et al., 2019; Shearer & Burton, 2021). A cela pourrait s'ajouter un désir de liberté ou de réduction de ses besoins en transport quotidien ou encore la volonté d'appartenance à une certaine communauté (Kilman, 2016; Mutter, 2013). L'idée de « réduction » est en fait quasi omniprésente dans la description de ce mouvement, à la fois source de motivation pour les uns et de contraintes pour les autres. Ainsi, cette partie consiste à définir le minimalisme et comment il peut être décliné en facteurs concrets alimentant ce mouvement (*Figure 5*).

1.3.1 Le minimalisme, un courant de pensé à la source de facteurs plus concrets

Cette philosophie se caractérise en fait par la volonté délibérée de vivre simplement, de réduire la possession de biens matériels et ses besoins en général pour se concentrer sur l'essentiel et mettre l'accent sur les expériences de vie et les relations plus significatives (Mingoya, 2015; Ford & Gomez-Lanier, 2017; Mangold & Zschau, 2019). Selon Mangol & Zschau 2019, le but est de parvenir à une vie plus heureuse et se démontrerait effectivement dans la pratique selon certaines études (cumberbatch, Alexander et Ussher (2012) et Boujbel et d'Astous (2012)). Alors d'où peut bien venir cette idée que vivre avec moins apporterait finalement plus ?

Pour répondre à cette question, il semble nécessaire de remonter à ses racines pour ne pas dire à nos racines. En effet, l'homme a vécu comme chasseur-cueilleur pendant la majeure partie de

son histoire en tant qu'espèce. Cette période, connue sous le nom de Paléolithique, a débuté il y a environ 2,5 millions d'années avec l'émergence de la lignée humaine (Homo) et a pris fin avec le début de la révolution agricole, il y a seulement environ 10 000 ans. L'homme a donc vécu comme chasseur-cueilleur pendant environ 2,49 millions d'années, soit la grande majorité de son existence en tant qu'espèce, développant progressivement une diversité génétique spécifiquement adaptée à son environnement. Cette période d'interdépendance très concrète et directe avec la nature qui l'entoure se caractérise par une dépendance forte vis-à-vis de la chasse, de la cueillette et de la pêche pour son alimentation, ainsi que par des modes de vie nomades, la petite taille des groupes sociaux et des technologies relativement simples. La révolution agricole a marqué un tournant significatif dans l'histoire humaine, avec le développement de l'agriculture et de l'élevage, ce qui a finalement conduit à la sédentarisation des peuples, la croissance de la population et le développement de la civilisation telle que nous la connaissons aujourd'hui. Or la sensation de bien-être durable ou même de bonheur plus éphémère sont intimement liés à notre patrimoine génétique. Ces sensations, si convoitées, sont à la fois le fruit du développement de ce patrimoine et son fil conducteur en tant qu'émotions guidant nos actes, à condition de ne pas se perdre en chemin. Ainsi, par interprétation et en accord avec Henry David Thoreau, écrivain et philosophe américain du XIX^{ième} siècle, grande source d'inspiration de ce mouvement, l'idée de se rapprocher des conditions « naturelles » de notre espèce pour sa quête de bien-être et de bonheur semble être un postulat à la base du mode de vie minimaliste. Beaucoup d'autres courants de pensée ont d'ailleurs adhéré à ce mode vie, tant philosophique que spirituel ou religieux dont fait partie le Bouddhisme par exemple.

Certaines cultures ont même continué à s'articuler autour de cette logique quand la sédentarisation des peuples se généralisait en parallèle. « Pourquoi maintenant les hommes de 5 à 6 pieds ont-ils besoin des maisons qui en font 60 à 80… ne trouvons-nous pas dans nos habitations toutes les commodités et les avantages que vous avez dans le vôtre, comme vous reposer, boire et dormir, manger et nous amuser avec nos amis…? » serait la question posée par le chef des Abénakis, tribus Amérindienne, aux Français leur proposant leur propre modèle d'habitation selon les « Histoires amérindiennes » de Zitkala-Sa, 1921 (Fisher, 1983). En plus d'être reconnu comme agréable à vivre dans son contexte climatique, l'aspect pratique de l'habitat Amérindien et des peuples nomades proches de la nature en général, revêtait en fait un caractère particulièrement important, découlant directement de ce mode de vie minimaliste.

Des considérations plus concrètes découlent du minimalisme et sont largement évoquées par les occupants de micro-maisons. Parmi elles, citons la réduction des dépenses, l'envie de simplicité, la volonté de disposer d'une certaine mobilité, de respecter et se rapprocher de son environnement naturel ou encore de créer des liens sociaux forts (Mutter, 2013; Anson, 2014; Mingoya, 2015; Kiser, 2016; Kilman, 2016; Harris, 2018; Boeckermann et al., 2019; Böllert, 2019; Mangold & Zschau, 2019; Lima, 2020; Cumberbatch-Pearson, 2021; Panigyrakis, 2021; Shearer & Burton, 2021; Bařinková, 2022; Vasseur et al., 2022).

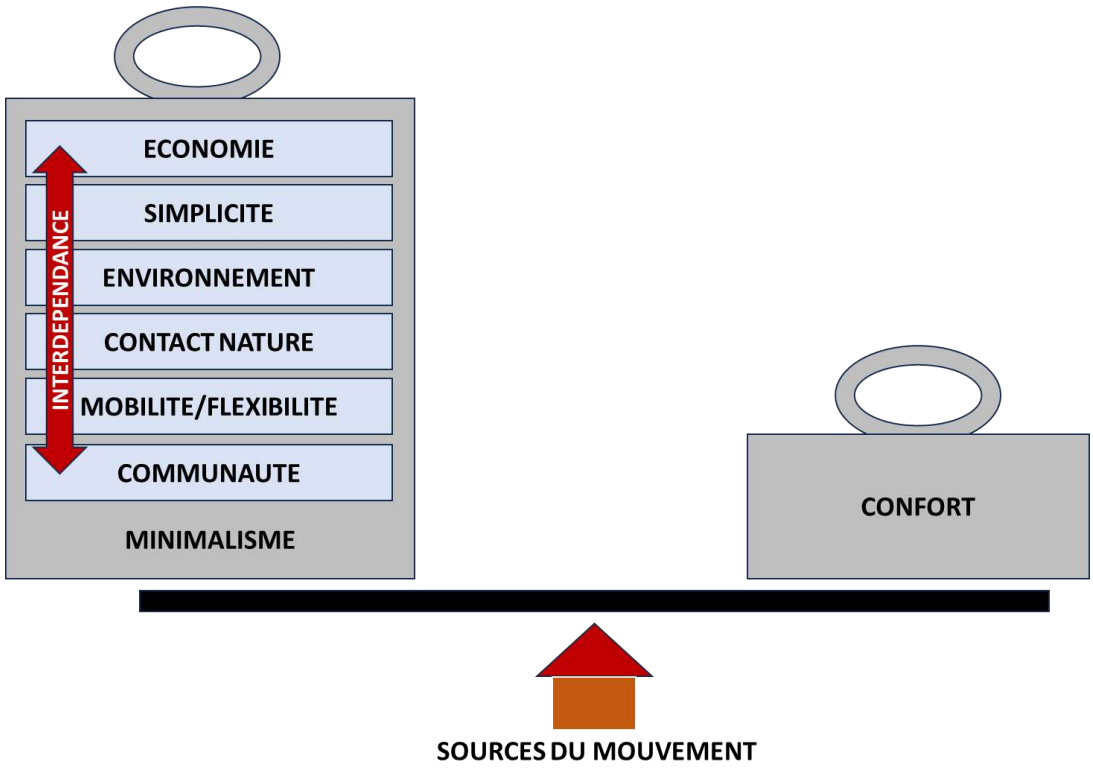


Figure 5 : Schéma des considérations à la source du mouvement des micro-maisons

1.3.2 Le facteur économique

L'investissement initial, l'endettement éventuellement associé, le coût des commodités telle que les consommations énergétiques, celui des équipements, meubles et objets divers ou encore le coût de la propriété (impôts, taxes et assurances) sont autant de volets sur lesquels des économies importantes sont possibles en vivant dans une micro-maison, au regard de sa taille réduite (Anson, 2014; Kilman, 2016; Boeckermann et al., 2019; Shearer & Burton, 2021; Lima, 2020; Mangold & Zschau, 2019; Cumberbatch-Pearson, 2021; Panigyrakis, 2021; Bařinková, 2022; Vasseur et al., 2022). A cela peut s'ajouter une économie éventuellement relative au transport par une implantation plus flexible grâce à leur caractère mobile ou démontable. En

somme, tous les grands vecteurs de dépenses, relatifs à l'habitat et même potentiellement au transport, sont concernés. Il s'agit donc d'un argument de taille évalué aux sections suivantes. Certains auteurs le mettent d'ailleurs en opposition au courant minimaliste, objet d'un choix de vie (Harris, 2018; Hanckmann, 2019). Il est vrai que la restriction peut être contrainte par la précarité économique mais il s'agit dans tous les cas d'accepter ce mode de vie, d'autant que d'autres alternatives plus conventionnelles existent. De plus, la micro-maison et son mouvement tels que définis dans cette étude excluent les habitats de « fortune » (cf.1.1). Enfin, la volonté de réduire ses dépenses peut aussi faire l'objet d'un choix ou d'un arbitrage avant d'être une contrainte absolue, correspondant pleinement à une déclinaison du minimalisme en question. Il peut ainsi s'agir de se libérer du poids de la dette, de privilégier le budget à dédier aux voyages ou adhérer purement et simplement au mouvement et à sa communauté par exemple. Certains universitaires qualifient même ce mouvement de « privilégié » parce qu'uniquement les individus les plus favorisés seraient en mesure de faire volontairement le choix de réduire leurs possessions (Anson, 2014; Schneider, 2017). Admettons néanmoins qu'il s'agisse aussi d'une voie pour accéder à la propriété à moindres frais (Cumberbatch-Pearson, 2021) et apportant une solution intéressante pour fournir un logement confortable aux plus démunis à l'image de ce que propose l'association française « l'Espoir Gessien ». Notons que cette démarche doit alors être soutenue financièrement et politiquement.

1.3.3 La simplicité

La réduction de ses dépenses peut donc être libérateur et simplifier son mode de vie, atténuant sa dépendance à certaines activités plus ou moins contraignantes, son niveau de stress et d'anxiété relatifs à celle-ci et sa crainte de perdre son niveau de possession matériel (Boeckermann et al., 2019; Shearer & Burton, 2021; Vasseur et al., 2022). Cette simplification volontaire permet également un gain en temps et en argent, augmentant les possibilités de se concentrer sur l'essentiel et être davantage à l'écoute de ses envies (Bařinková, 2022; Boeckermann et al., 2019; Kiser, 2016; Mingoya, 2015; Shearer & Burton, 2019; Vasseur et al., 2022). A cela s'ajoute un espace de vie optimisé et débarrassé du superflus, permettant de gagner en praticité (Garcia-Guzman, 2019). Ainsi, bien que lié au facteur économique, la simplification de son mode de vie peut être considérée comme source de motivation à part entière, à approfondir aux sections suivantes quant à son importance et ses limites.

1.3.4 La flexibilité et la mobilité

Le caractère mobile ou démontable voir autonome en énergie des micro-maisons apporte une certaine flexibilité et augmente encore ce sentiment de liberté (Anson, 2014; Mutter, 2013; Bartlett, 2016; Boeckermann et al., 2019; Mangold & Zschau, 2019; Böllert, 2019; Shearer & Burton, 2021). Il se caractérise par la possibilité de changer de lieu de résidence en fonction de ses besoins ou de son désir de découvrir de nouveaux endroits, par l'intermédiaire d'une location de terrain par exemple. Concrètement relatif aux micro-maisons telles que définis précédemment, ce caractère peut également être pleinement considéré au sein du courant minimaliste au travers de la notion de liberté, à l'image des nomades dont nous sommes tous les descendants.

1.3.5 Le respect de l'environnement

Le souhait de réduire son impact environnemental est également un argument fréquemment mentionné, notamment en Europe (Mutter, 2013; Mingoya, 2015; Kilman, 2016; Ford & Gomez-Lanier, 2017; Boeckermann et al., 2019; Mangold & Zschau, 2019; Panigyrakis, 2021; Shearer & Burton, 2021; Made in FR, 2022; Vasseur et al., 2022; Made in FR, 2022). Là aussi, une réduction du volume de son habitat voire de ses besoins en transports est central. Elle permet notamment une diminution significative de ses besoins en énergie. En plus des équipements et infrastructures énergétiques associés, incluant pollutions et consommations en matières non renouvelables relatif à leur production, elle est bien souvent synonyme d'une consommation en énergie fossile. La non-durabilité quant à son utilisation n'est plus à démontrer au regard de son impact sur le dérèglement climatique, de l'épuisement progressif et des tensions géopolitiques induites ainsi que de ses émissions polluantes impactant la biodiversité. Cette question de la diminution de sa consommation énergétique est encore une fois directement liée au facteur économique. Des alternatives existent, consistant à installer des systèmes de production d'énergies renouvelables décentralisés, nécessitant des investissements plus importants, plus ou moins compensé par un faible coût d'utilisation. Plus qu'un choix financier, il s'agirait donc d'un engagement pour l'environnement ou… d'une volonté d'autonomie accrue, en s'affranchissant en tout ou partie des infrastructures et réseaux énergétiques. Cette initiative peut donc également être liée à une certaine aspiration à la liberté évoquée au paragraphe précédent.

La taille réduite et l'absence de fondations « lourdes » permet aussi de lutter contre l'artificialisation des sols en tant que source importante de perte de biodiversité selon la Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Cette caractéristique est donc importante sur le plan du respect de l'environnement, à condition de ne pas en profiter pour s'implanter (illégalement) dans les zones les plus sensibles. Notons que là encore, cet aspect est lié à la notion de liberté.

Enfin l'utilisation réduite en matière non renouvelable pour la construction de sa micro-maison et la sollicitation de matériaux biosourcés et faiblement transformés est un autre grand volet susceptible de réduire significativement son bilan environnemental. Le petit volume de l'habitat permet la réduction de la quantité de matière sollicitée. La substitution de matières non renouvelables par des matériaux biosourcés faiblement transformés et capables de stocker du carbone est une manière également efficace de réduire son impact. Si bénéficier de ces matériaux de construction est souvent également une manière d'améliorer le confort intérieur de l'habitat, ce levier a également la particularité d'être très décorrélé des autres facteurs évoqués (économiques et notion de liberté). Le choix de bénéficier de ces matériaux de construction semble donc être un indicateur fort de la volonté de l'occupant de réduire réellement son impact environnemental.

Précisons que la notion de respect de l'environnement est un facteur faisant appel à des valeurs et non à une source de motivation concrète. L'évaluation de son importance aux sections suivantes n'est donc pas chose aisée. Les préoccupations avérées relatives à cette dimension et le lien au courant minimaliste au travers d'une recherche d'équilibre durable et harmonieux avec la nature en font un facteur de motivation à part entière.

1.3.6 Le contact avec la nature

L'habitat en micro-maison offre aussi des possibilités intéressantes pour se rapprocher de la nature (Shearer & Burton, 2019, 2021; Panigyrakis, 2021), argument fortement imbriqué au courant minimaliste et faisant également l'objet d'un certain engouement. En effet, l'implantation de la micro-maison, sa conception, sa taille et le temps libéré évoqué précédemment incitent à s'y immerger pour renouer avec elle et percevoir le lien d'interdépendance qui nous lie à elle. La diminution du niveau de technologie est également évoquée comme argument permettant de mieux comprendre ce lien. Il permettrait de lutter

efficacement contre une volonté de la contrôler, en vain, aboutissant à sa dégradation et finalement à la nôtre.

1.3.7 L’adhésion à la communauté

La volonté d’appartenance à une communauté est aussi mentionnée par certains auteurs et au travers de certains témoignages (Mutter, 2013; Mingoya, 2015; Kilman, 2016; Harris, 2018; Boeckermann et al., 2019; Mangold & Zschau, 2019; Willoughby et al., 2020; Panigyrakis, 2021; Bařinková, 2022). Il est vrai qu’il s’agit également d’une condition importante lorsqu'il s’agit de partir à la quête du bien-être et du bonheur (Gherman & others, 2012). Forger des liens forts au travers d’une communauté de taille réduite est d’ailleurs largement promu par le philosophe Henry David Thoreau. L’appartenance à ce mouvement est susceptible de satisfaire à ce besoin. La personnalisation de son habitat, l’adhésion aux groupes dédiés à ce mode de vie sur les réseaux sociaux ou encore le rassemblement sous forme de village de micro-maisons sont autant de facteurs favorables à cette dimension. L’importance de la volonté d’appartenir à cette communauté est toutefois relativement compliquée à évaluer puisqu’elle est plus abstraite et directement relative à l’adhésion au mouvement lui-même.

1.4 Quel est le profil de leurs occupants ?

1.4.1 Objectif, méthode et limites de l'analyse

Plusieurs auteurs signalent la grande variété de profils des occupants de micro-maisons, compliquant toute démarche visant à en dresser le portrait (Harris, 2018; Boeckermann et al., 2019; Saxton, 2019). Il semble néanmoins possible d'en tirer quelques tendances à partir d'une approche globale, rassemblant les données issues de la littérature (*Figure 6*). Certaines de ces tendances ont pu être recoupées à l'aide de l'enquête réalisée pour cette étude, évoquée aux sections suivantes et dont la modèle est annexé (*Annexe 1*). Cette approche concerne uniquement l'occupation permanente, ce qui tend à diminuer l'importance de la classe sociale supérieure (déjà réduite en nombre absolu). Cette classe sociale est généralement plus encline à l'immersion expérimentale qu'à se séparer définitivement des biens et services non essentiels, dont elle dispose bien souvent en grande quantité. Ces classes sociales sont déterminées selon des critères socio-économiques faisant l'objet d'un certain consensus auprès des chercheurs en sociologies (Liu et al., 2004). Le manque d'informations disponibles concernant le profil des habitants en micro-maison en France a nécessité d'ouvrir l'analyse à l'échelle globale. Les tendances dégagées sont toutefois en accord avec les données provenant spécifiquement des implantations européennes ainsi qu'avec les retours de l'enquête menée pour cette étude.

1.4.2 Résultats et interprétations

La *Figure 6* ci-dessous synthétise les résultats de l'analyse visant à faire apparaître les principales tendances.

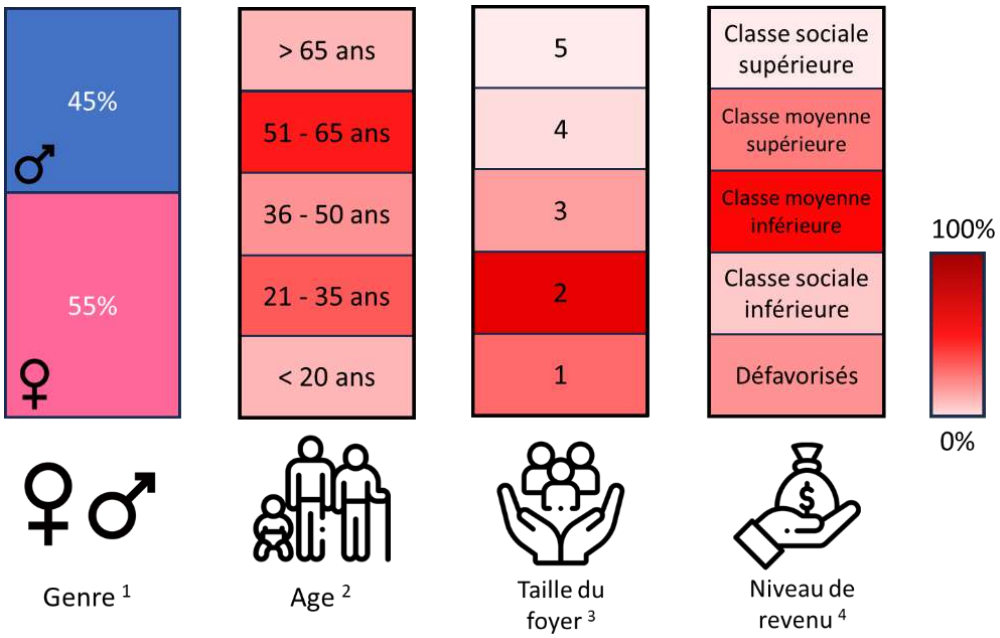


Figure 6 : Tendances relatives aux profils des occupants de micro-maisons à l'échelle globale; les degrés de rouges marquent l'importance de chacune des catégories ; 1 : (Carras, 2019; Mariotti, 2022; Saxton, 2019; Summers, 2022) ; 2 : (Spätling, 2021; Mariotti, 2022; Made in FR, 2022; Vasseur et al., 2022) 3 : (Cumberbatch-Pearson, 2021; Vasseur et al., 2022) ; 4 :(Anson, 2014; Carras, 2019; Saxton, 2019; Vasseur et al., 2022; Zhang et al., 2022)

Il semble que le mouvement soit un peu plus représenté par la gente féminine (Mariotti, 2022) bien qu'une majorité des occupants soient manifestement en couple (Cumberbatch-Pearson, 2021; Vasseur et al., 2022). Si les foyers avec un enfant ne semblent pas si rares, ces couples vivraient le plus souvent sans (Vasseur et al., 2022). Au-delà d'une difficulté à héberger une famille nombreuse par manque de place, une raison importante de la taille réduite des foyers en micro-maisons pourrait être liée à leur âge puisqu'une grande partie d'entre eux auraient plus de 50 ans (Spätling, 2021; Made in FR, 2022; Vasseur et al., 2022; Mariotti, 2022). Leurs enfants ont souvent quitté le nid familial à l'exception éventuellement d'un petit dernier arrivé un peu tardivement. Il n'est d'ailleurs pas rare que ce contexte présente l'occasion de se recentrer sur le couple et de remettre en question ses choix de vie. Ce groupe d'âge est aussi

celui qui dispose généralement d'un peu plus de moyens financiers, surtout lorsqu'il s'agit de la classe moyenne inférieure qui serait la plus représentée dans ce mouvement (Anson, 2014; Vasseur et al., 2022; Zhang et al., 2022). Les autres groupes d'âge disposent aussi d'une certaine représentativité notamment les jeunes adultes (21-35 ans) malgré des moyens financiers plus limités (Carras, 2019; Made in FR, 2022). La durée d'installation de ces jeunes adultes en micro-maison est à suivre considérant les évolutions de vie (enfants, promotion sociale etc.). En effet, la proportion des occupants est actuellement un peu plus faible pour la tranche d'âge supérieure (36-50 ans). Ils sont également plus enclins à l'auto-construction pour des raisons essentiellement budgétaires mais aussi par un regain d'intérêt pour les travaux manuels (Made in FR), pleinement en phase avec le mouvement décrit plus haut (cf. 1.3).

Si la classe moyenne représente la majorité des personnes vivant en micro-maisons, notons que les plus défavorisés sont aussi représentés. Ils n'adhèrent généralement pas au mouvement par conviction mais ce type d'habitat peut être une solution intéressante afin de leur fournir de vrais logements décents au travers d'un soutien politique et associatif. Citons l'association « l'Espoir Gessien » en France. Précisons aussi que la classe sociale des étudiants, souvent en manque de moyens financiers, est associée à la classe de leurs parents qui les soutiennent généralement encore financièrement. D'ailleurs quelques initiatives, bien accueillies, existent les concernant tel que le village de « tiny-houses » à Saint-Brieuc (FR) lancé en 2019 (Julien, 2021). Il reste que la classe « inférieure » semble peu représentée par le mouvement. Cela pourrait s'expliquer par un niveau d'éducation souvent moindre et un manque de recul, occupé à satisfaire ses besoins physiologiques et de stabilité à court terme. Elle aspire également à rejoindre la représentation commune d'une classe moyenne encore largement liée au consumérisme et au matérialisme. Une autre hypothèse est le manque de moyens pour l'acquisition du bien et du terrain pour son implantation, développée aux sections suivantes.

1.4.3 Conclusion intermédiaire

A l'issue de cette analyse, il est possible de conclure que **la classe moyenne représente le moteur du développement des micro-maisons**, notamment sa tranche dite « inférieure », entre autres en raison du facteur économique, s'agissant d'une population mise à mal ces dernières années de ce point de vue. La classe supérieure n'est pas à négliger car elle dispose, plus encore que la classe moyenne, d'un pouvoir d'influence sur la définition de ce que sont les marqueurs d'une vie réussie. Précisons que ces tendances ne sont pas claires et que globalement l'ensemble des classes sociales sont représentées.

Elever une famille de plusieurs enfants dans ce type d'habitat pourrait être un frein au même titre que le coût d'acquisition pour les moins fortunés (pas ou peu d'offre de location pour un habitat permanent). En fait, la majorité des micro-maisons sont **occupés par un couple**, souvent de plus de 50 ans.

Notons que l'évaluation des âges est difficile. D'une part, l'occupation en micro-maison semble concerner toutes les générations. D'autre part, les études de marché se réfèrent à l'âge effectif lors de l'acquisition du bien plutôt que celui des occupants à un instant donné. Enfin, certaines études universitaires présentent le résultat de leur enquête avec des moyennes, sans écart type. En effet, un âge moyen de 43 ans relevé dans une des études consultées (Mangold & Zschau, 2019) ne permet pas de dire si le taux d'occupation par les séniors de plus de 50 ans et par les moins de 35 ans est plus ou moins important que le taux de **la tranche d'âge intermédiaire (36-50 ans).** Selon cette analyse, il est cependant possible d'affirmer que cette dernière **serait moins représentée.**

Un approfondissement les facteurs de motivations et freins au développement de ce mouvement est présenté aux sections suivantes.

1.5 Quelles sont les motivations pour franchir le pas ?

1.5.1 Objectif, méthode et limites de l'analyse

L'objectif de cette section est de mieux cerner les motivations de ceux qui ont choisi une telle rupture dans leur mode de vie. Cette étape doit permettre d'affiner l'approche consistant à évaluer le potentiel de développement des micro-maisons en France.

De nombreuses études universitaires se sont concentrées sur cette question (Mutter, 2013; Anson, 2014; Mingoya, 2015; Kilman, 2016; Kiser, 2016; Harris, 2018; Boeckermann et al., 2019; Böllert, 2019; Mangold & Zschau, 2019; Langer & others, 2020; Lima, 2020; Cumberbatch-Pearson, 2021; Panigyrakis, 2021; Bařinková, 2022; Vasseur et al., 2022; Shearer & Burton, 2021). Notons que seules deux travaux ont cherché à hiérarchiser certains facteurs de motivations (Boeckermann et al., 2019; Shearer & Burton, 2021).

Déterminer les facteurs de motivation et leur niveau d'importance, en fonction des profils, des différentes cultures et contextes géographiques est un sujet extrêmement vaste et complexe. Ce qui explique d'ailleurs le nombre d'études universitaires traitant ce sujet. Elles prennent différentes formes (analyse de la littérature, tendances de marché, rencontres physiques ou enquêtes en ligne, entretiens libres, semi-directif ou directif etc.), visent différents ensembles (profils, taille, zone etc.) et utilisent des méthodes d'analyse différentes (étude comportementale, analyse qualitative, méthodes d'analyses statistiques etc.).

A la suite de cette partie, quelques tendances majeures seront dégagées, utiles pour une évaluation plus globale du potentiel de développement des micro-maisons. Pour ce faire, aux études, sondages et témoignages réalisés par des universitaires et auteurs d'ouvrages et d'articles grand public, est associée une enquête réalisée spécifiquement pour cette étude dont le modèle est présenté en *Annexe 1*. Ce choix a été motivé par le manque d'informations disponibles concernant les particularités européennes et plus particulièrement françaises. La partie du sondage dédiée à cette fin (évaluation des motivations) est directive afin d'attribuer un niveau d'importance aux facteurs de motivation préétablis et de les hiérarchiser. Ces derniers sont définis pour être recoupés avec l'analyse de la littérature, en accord avec l'objectif visé. Directement en lien avec les valeurs relatives au minimalisme évoquées précédemment, ils sont également volontairement très concrets, reprenant les différentes déclinaisons évoquées à la

partie 1.3. (*Figure 5*). Ce choix permet de maximiser la précision des réponses et faciliter une interprétation au regard de l'objectif de cette étude. L'enquête tire également profit des déductions précédentes concernant les profils des occupants de micro-maisons. Elle permet notamment de considérer les motivations concernant les deux sous-ensembles d'âge identifiés : différenciation des habitants de moins de 50 ans des plus de 50 ans. L'échantillon est composé de 10 habitants de manière permanente en micro-maison. 8 habitants vivaient en micro-maison mobile.

L'échantillonnage a été effectué par l'envoi des sondages au sein des principaux groupes sociaux français sur les plateformes internet dédiées à l'échange sur ce mode de vie : groupes Facebook « Groupe Ma Tiny House », « Collectif Tiny House » et « Tiny House association ». Le choix est donc porté vers les utilisateurs actuels. L'avantage majeur d'orienter le sondage de la sorte est le fait de viser une population impliquée, réellement passée par la phase de réflexion, de prise de décision et de mise en pratique. De plus, la plupart des études analysées en parallèle ont fait ce même choix ce qui facilite la comparaison des résultats. La limite de cette méthode est la faible représentativité de l'échantillon au regard de la société en général. En effet, il vise les plus convaincus. L'évaluation d'autres ensembles pourrait être effectuée en complément de cette étude (visant des occupants intéressés, à l'écoute ou encore pas du tout intéressés) afin d'affiner les facteurs clés de succès et les freins majeurs pour le développement de ces micro-maisons. La dissociation de ces catégories de population est toutefois difficile à opérer en pratique notamment en raison du fort décalage entre l'engouement pour ce mouvement et le passage à l'acte. Enfin précisons que cette enquête se base sur un échantillon de taille limitée, uniquement valable pour en tirer quelques enseignements d'ordre qualitatif.

Inspiré de l'ensemble des déductions effectuées à ce stade de l'étude, les facteurs de motivation sont définis comme suit :

- Facteur Economique, incluant :
    - Les économies relatives au coût d'acquisition (environ 60 000 € en moyenne pour une solution « clé en main » ou environ 30 000 € en moyenne pour une auto-construction) et la réduction de son niveau d'endettement le cas échéant
    - Les économies relatives aux consommations énergétiques, nettement plus faibles par rapport à un logement conventionnel au regard du volume de l'habitat et de son niveau d'équipement réduit

    - Les économies en équipements et objets divers
- Facteur Simplicité, incluant :
    - La diminution des activités contraignantes grâce à la réduction de biens à acquérir
    - La diminution des travaux d'entretien courants
    - La suppression des objets superflus et la praticité d'un espace optimisé
    - La diminution de la charge cognitive relative à la gestion de ses biens et aux questions économiques relatives à celle-ci
    - Le gain de temps pour se consacrer à l'essentiel et aux occupations choisies
    - L'expérience d'un mode de vie minimaliste en général
- Facteur Environnemental, incluant :
    - La réduction de son bilan carbone donc de son impact sur le dérèglement climatique (diminution des émissions de gaz à effet de serre par la réduction des consommations énergétiques, utilisation de matériaux biosourcés peu transformés et capables de stocker le carbone etc.)
    - La réduction de son impact sur la biodiversité et les écosystèmes (réduction des émissions polluantes par la diminution des consommations énergétiques, diminution de l'artificialisation des sols etc.)
    - La réduction de son impact sur l'appauvrissement des ressources non renouvelables (diminution de la consommation en énergie et en matières non renouvelables)
- Facteur Nature, incluant :
    - La relative flexibilité d'implantation permettant un contact privilégié avec elle (en zone rurale notamment)
    - La taille et la conception de la micro-maison favorables aux activités extérieures
    - Un niveau de technologie réduit pour réapprendre à vivre plus en harmonie avec la nature et à retrouver le sens physique des choses
- Facteur Flexibilité et Mobilité, incluant :
    - La possibilité d'envisager un rapprochement de son lieu de travail
    - La possibilité de modifier son lieu d'implantation pour habiter ailleurs tout en conservant sa micro-maison (donc sans déménagement).

    - La possibilité de partir éventuellement en vacances avec sa maison (dans le cas d'un « tiny-house » mobile)
- Facteur Communauté, incluant :
    - L'adhésion à une communauté engagée pour le minimalisme, tournée vers l'essentiel et attirée par le partage d'expériences

L'enquête dédiée a abouti à un classement par niveau d'importance (« essentiel », « important », « peu important ou non déterminant », « négligeable ») et une hiérarchisation de ces facteurs.

1.5.2 Résultats et interprétations

La *Figure 7* présente une synthèse des résultats visant à tirer les tendances attendues à partir de la définition des facteurs de motivation définis à cette section (1.51).

Précisons que la hiérarchisation des facteurs issus de la littérature se base sur les conclusions des études consultées, à égale importance dès lors que les facteurs de motivation étaient proches de ceux définis pour cette analyse. La différence de taille d'échantillons, de leur représentativité, de la zone géographique concernée, des écarts d'importance entre chacun des facteurs ou de la nature plutôt quantitative ou qualitative de l'analyse ne font l'objet d'aucune pondération. Cette synthèse doit donc être considérée uniquement pour en déduire les principales tendances. Un quart des études considérées appliquait leur analyse aux populations européennes.

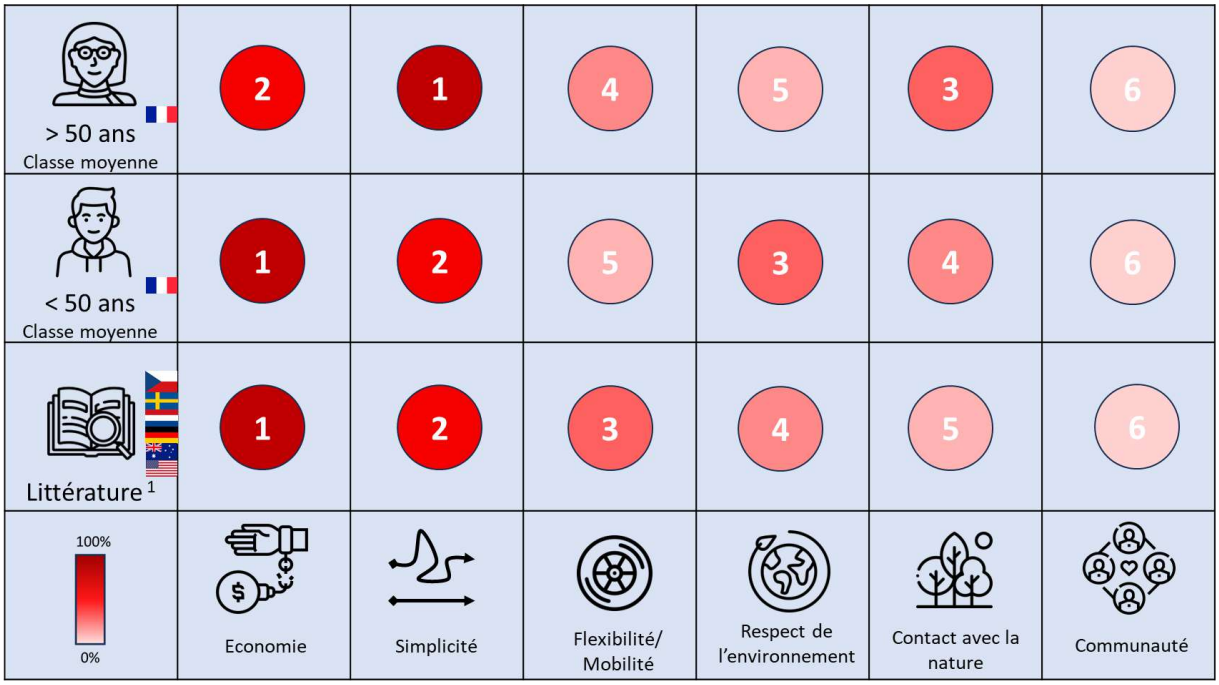


Figure 7 : Synthèse des facteurs de motivations classés par ordre d'importance selon une enquête dédiée et une analyse de la littérature 1 : Cumberbatch 2020, Mangold et Zschau 2019, Vasseur 2022, Shearer et Burton, Boeckermann, Kilman 2016, ANso 2014, Kaczynski et King 2019, Ilias, Lima 2020, Kiser 2016, Barinkova, Mutter 2013, Böllert 2019, Made in FR, Miyigena 2015, Harris 2018, Langer 2020

Cette évaluation montre que le facteur économique et la simplicité relative à la vie dans cet habitat s'affirment clairement comme étant de première importance. Précisons que la volonté d'accéder à la propriété est incluse dans le facteur économique, ce qui est discutable. Le respect de l'environnement occupe également une place importante dans les motivations des jeunes français selon l'enquête menée spécifiquement pour cette étude. Cela se confirme par certains travaux de recherche qui évoquent la plus grande importance de ce facteur en Europe par rapport aux Etats-Unis. Les plus âgés tendent à favoriser davantage le contact avec la nature. D'une part, les retraités (une partie des plus de 50 ans) pourraient avoir plus de temps et plus de liberté en matière d'implantation, pour profiter de ses bienfaits. Il est aussi possible que ces générations soient tout simplement plus sensibles à ces derniers. D'autre part, ce sous-ensemble a peut-être été moins sensibilisé aux questions environnementales, très préoccupantes et largement relayées à partir des années 2000. Toujours selon l'enquête dédiée, l'importance de la mobilité et la flexibilité est variable mais globalement moins déterminant dans leur choix. Cette dimension semble globalement davantage considérée dans les pays précurseurs, aux grands espaces (Etats-Unis, Australie et Canada) si bien qu'un certain nombre d'études appliquées aux populations américaines montrent un intérêt plus fort pour cet aspect que pour l'impact environnemental (Boeckermann , Mangold). Certaines personnes manifestent toutefois un grand intérêt à disposer d'un maximum d'autonomie, notamment sur le plan énergétique. L'adhésion à une communauté soudée et passionnée semble quant à elle de moindre importance et globalement non déterminante. Certains témoignages peuvent toutefois y voir un argument supplémentaire pour franchir le pas.

1.5.3 Conclusion intermédiaire

Cette évaluation permet de confirmer l'importance de l'ensemble des facteurs préétablis. Les **facteurs économiques et relatifs à la simplicité** volontaire semblent figurer **en tête des arguments en faveur de ce mode de vie**. Les jeunes actifs peuvent également y voir une opportunité intéressante d'accéder à la propriété. Le contact avec la nature, le respect de l'environnement et la flexibilité/mobilité semblent également influer dans la prise de décision. L'intérêt concernant cette dernière dimension serait davantage lié à **une envie d'autonomie** qu'à un réel besoin de mobilité. L'adhésion à la communauté issue de ce mouvement semble secondaire. Si la création de village de micro-maisons remporte un certain succès, leur attractivité serait toutefois limitée.

Une **différence générationnelle** semble également se dégager avec une **plus grande sensibilité aux impacts environnementaux pour les jeunes actifs** et une plus grande sensibilité pour la proximité avec la nature chez les plus âgés.

L'influence relative au dérèglement climatique ou au risque d'un retour à une crise sanitaire n'a pu être clairement déterminée au travers de cette analyse.

L'évaluation des freins au développement de ce type d'habitat, présentée à la section suivante, doit permettre d'apporter les informations complémentaires nécessaires à une meilleure évaluation de sa dynamique de croissance et à la détermination des facteurs clés de succès relatif à ce mouvement. Ces derniers seront utiles à la fois pour une mise en persécutives avec les enjeux globaux de développement durable et pour l'ajustement par une conception innovante proposé à la dernière partie.

1.6 Quelles sont les freins à son développement ?

1.6.1 Objectif, méthode et limites de l'analyse

En tant qu'habitat permanent, le frein au développement de ce type d'habitat peut s'évaluer à la fois au regard de leurs caractéristiques propres et de leur environnement (contraintes et opportunités). Cette évaluation s'inspire du modèle PESTEL conçu comme outil d'analyse stratégique, orienté spécifiquement pour apprécier l'environnement du bien, service ou produit concerné. Le frein majeur lié à la caractéristique propre de la micro-maison est sa surface habitable réduite, prise en compte très en amont de la prise de décision (cf. 1.3). D'autres aspects sont toutefois mentionnés dans cette section, au sein de la dimension technologique. Cette analyse se base essentiellement sur l'ensemble des travaux universitaires disponibles (Mutter, 2013; Delépine, 2015; Mingoya, 2015; Ford & Gomez-Lanier, 2017; Harris, 2018; Schveibinz, 2018; Boeckermann et al., 2019; Böllert, 2019; Panigyrakis, 2021; Julien, 2021; Bařinková, 2022; Vasseur et al., 2022; Basile, 2022), les analyses de marché (Data Bridge, 2022; Made in FR, 2022; PR Newswire Technavio, 2022) ainsi que sur l'enquête dédiée à cette étude (Annexe 1). En comparaison de l'évaluation des motivations, cette approche est à la fois plus concrète, propre aux territoires concernés et aux expériences de chacun. De plus cette dimension est moins étudiée à ce jour et encore une fois peu de données sont disponibles concernant le territoire national (essentiellement récoltées au sein des ouvrages « grand public » et de témoignages sur internet).

Par conséquent, la partie de l'enquête dédiée à cette analyse (*Annexe 1*) utilise la question ouverte. Il est toutefois demandé aux personnes de hiérarchiser leurs réponses en fonction de l'importance de la contrainte évoquée. Une distinction est faite également selon qu'il s'agissait de contraintes (avérées ou non) ayant agi sur le processus de décision ou qu'elles aient réellement été subies. Enfin une place a été mise à disposition pour s'exprimer sur quelques opportunités identifiées au cours de ce cheminement.

1.6.2 Analyses et interprétations

1.6.2.1 Dimension Politique

La contrainte du facteur politique dépend du degré de compréhension du mouvement des micro-maisons comme réponse aux enjeux de développement durable. La politique menée à l'échelle nationale est à l'initiative du cadre juridique avec la promulgation de la loi ALUR (loi pour l'accès au logement et un urbanisme rénové) en 2014 (n° 2014-366) par exemple. Cette loi a permis de reconnaitre et de fournir un cadre juridique à ces micro-maisons comme habitation à part entière. Elle permet donc une ouverture vers des habitats alternatifs et innovants sur un continent très urbanisée. La politique est aussi à l'initiative de l'objectif de « zéro artificialisation net » (ZAN) des sols d'ici 2050 (Convention citoyenne sur le climat). Plus globalement, sensible aux enjeux de développement durable, elle est également à l'écoute de l'opinion publique notamment concernant l'échelon local en lien direct avec la population. C'est d'ailleurs bien au niveau de la politique menée au niveau communal et intercommunal que se manifestent les contraintes les plus importantes. Elle est au cœur de la planification territoriale au travers de l'élaboration des documents d'urbanisme tels que le Plan Local d'Urbanisme (PLU) ou Plan Local d'Urbanisme Intercommunal (PLUI). Au-delà du cadre que la commune est susceptible de réviser ou bien d'interpréter dans un sens ou un autre, elle peut aussi décider de mettre à disposition des terrains dont elle dispose ou par préemption. C'est au travers de ce type de démarche que la majorité des villages de micro-maisons ont vu le jour (Julien, 2021). Les terrains visés peuvent alors être partiellement viabilisés et accordés sur une durée définie par un bail, en attente d'un aménagement urbain futur (Julien, 2021).

L'analyse de la littérature, recoupée par les témoignages issus de l'enquête, montre que si la contrainte relative à la disposition du terrain figure parmi les freins les plus importants, la dimension politique n'est pas systématiquement mise en cause. Bien qu'en partie personnifiée par le Maire, la réglementation est davantage critiquée. Il reste néanmoins que certains témoignages évoquent le parti pris du Maire et de son conseil municipal comme potentiellement contraignant ou au contraire facilitateur. Leur pouvoir de révision des documents d'urbanisme et celui de freiner les demandes d'autorisation sont généralement mis en cause. L'exigence de viabilisation d'un terrain constructible sur lequel une demande d'implantation est effectuée ou

le refus pur et simple d'une autorisation au motif de l'intégration paysagère sont des exemples concrets évoqués par certains témoignages en France.

1.6.2.2 Dimension Légale

Sur le plan légal, deux aspects peuvent être dissociés : l'implantation de l'habitat au regard du droit de l'urbanisme et la mobilité au regard des règles de circulation routière.

L'implantation de l'habitat au regard du droit de l'urbanisme

La loi ALUR promut en 2014 reconnait les micro-maisons comme habitat à part entière tout en définissant le cadre relatif à leur implantation. Celle-ci peut uniquement être envisagée sur terrain constructible et dans des zones agricoles ou naturelles délimitées par les « secteurs de taille et de capacité d'accueil limité » (STECAL). Ces dernières sont toutefois établies à titre exceptionnel. Leur inclusion au Plan local d'urbanisme (PLU ou PLUi) passe d'ailleurs par plusieurs étapes dont la Commission Départementale de la Consommation des Espaces Agricoles, peu encline à une réduction des terres agricoles. Les refus d'octroi de cette étiquette sur des terrains après implantions illégales serait d'ailleurs fréquents même si les occupants sont soutenus par la municipalité (Basile, 2022).

Dans le cas général, l'implantation d'une habitation permanente nécessite une demande d'autorisation auprès de la commune, intercommunalité ou communauté d'agglomération concernée. Le plus souvent, une déclaration préalable serait suffisante, à condition de ne pas dépasser 20 m² d'emprise au sol. Bien qu'en dessous de cette surface, une personne interrogée a également mentionné la nécessité de passer par une demande de permis de construire pour une implantation sur un terrain encore non construit. Le Maire est garant de la conformité au regard des règles d'urbanisme (PLU par exemple) auxquelles s'ajoute l'examen par des services de l'Etats. Les Architectes des Bâtiments de France est le service le plus concerné dans les faits lorsqu'il s'agit de l'implantation de micro-maisons. La demande est soumise à leur accord dès lors que le projet se situe dans un périmètre prédéfini ou lorsque le bâtiment est dans le champ de visibilité d'un monument historique et à moins de 500 mètres de celui-ci. L'exigence d'une toiture à deux pans ou relative à la couleur de cette toiture et des façades sont les contraintes les plus citées. Les matériaux et matières utilisés en tant que revêtement et structure apparente font l'objet d'une attention particulière par ce service mais ne semblent pas poser de problème majeur dans le cas des micro-maisons (en bardage bois le plus souvent). Mentionnons que l'implantation d'une micro-maison mobile à titre d'occupation temporaire (inférieure à 3 mois)

peut se voir libérer de ces démarches d'autorisation. Cette caractéristique a été identifiée au travers de l'enquête comme une opportunité intéressante par un travailleur saisonnier. Il a d'ailleurs classé la flexibilité/mobilité en troisième position comme facteur de motivation. Ce choix lui a permis de se débarrasser de son camping-car devenu vétuste et de quitter l'appartement dont il bénéficiait en location. Déplacer sa micro-maison n'est pas simple mais il n'aurait aucune difficulté à trouver un terrain en location pour se rapprocher de ses missions saisonnières. Il n'a toutefois pas échappé à la demande d'autorisation pour son implantation en tant qu'habitation permanente en-dehors de ses périodes de travail. Concernant les règles relatives à la construction, elles sont identiques à celles d'un bâtiment d'habitation conventionnel. Mentionnons toutefois l'exigence de moyens imposés par la Règlementation Environnementale 2020 (RE2020) concernant les micro-maisons sur fondation légères. Bien que non contrôlé, des seuils relativement exigeants sont fixés concernant la résistance thermique des parois extérieures. En effet, la RE 2020 ne semble pas considérer le volume réduit de l'habitat à sa juste valeur (au regard de ses exigences de moyens). De plus l'épaisseur des parois isolantes peut réduire significativement le volume à vivre si on considère la limite de 20 m² de surface d'emprise au sol. Notons qu'aucune exigence de performance globale n'est exigible à ce jour par cette réglementation pour ce type d'habitat. . Enfin, l'obtention d'une assurance peut être plus compliquée bien que non mentionnée parmi les contraintes importantes

En somme, les règles d'urbanisme sont perçues comme une contrainte majeure. Certains témoignages mentionnent leur désir de s'implanter en pleine nature, hors des zones constructibles établies par les documents d'urbanisme. Cette limitation, compréhensible au regard des enjeux de développement durable et urbanistiques, n'est toutefois pas la contrainte centrale. Il semble que les demandes d'autorisation sur terrains constructibles créées souvent de l'incertitude quant à leur issue lorsqu'il s'agit de ce type d'habitat. Malgré une adaptation du cadre règlementaire en matière d'urbanisme, le caractère de cet habitat reste encore non conventionnel et clivant. Certains témoignages mentionnent également la difficulté de trouver un terrain à leur goût et en-dehors des projets de lotissement.

La mobilité au regard des règles de circulation routière

Concernant les contraintes relatives à la circulation des micro-maisons mobiles, il s'agit essentiellement de leur dimension et de leur masse. Dans le cas général, la largeur ne doit pas excéder 2,55 mètres et 12 mètres de longueur (18 mètres avec le véhicule). La largeur peut être

étendue à 3 mètres mais doit alors bénéficier d'une autorisation de « convoi exceptionnel » auprès de la préfecture. Les démarches administratives, le surcoût et l'incertitude relative à l'octroi de l'autorisation semble largement dissuader les acquéreurs. Les constructeurs et auto-constructeurs consultés ne présentent aucune micro-maison mobile dépassant la largeur de 2,55 mètres. La masse totale (Poids Total Autorisé en Charge) ne doit pas dépasser 3,5 tonnes avec un permis de conduire pour véhicule léger (permis B). Une formation de 7 h additionnelle (B96) est nécessaire pour voir ce seuil augmenter à 4,25 tonnes. Au-delà, un permis « voiture avec remorque » (BE) est exigé. La remorque équipée ne doit cependant pas dépasser 3,5T. L'ensemble « remorque-micro-maison » d'une masse supérieure à 750 kg doit être freinée et disposer d'un certificat d'immatriculation.

La contrainte liée à la largeur n'est pas directement mentionnée mais est liée à la contiguïté de l'espace à vivre. Il s'agit d'un facteur central considéré dès le départ avec le choix de vivre en micro-maison (cf. 1.3). Il reste qu'une surface de 20 m² dans un rectangle allongé n'offre pas le même potentiel aménageable qu'un carré d'une même surface. La limitation par la masse est quant à elle directement évoquée parmi les contraintes rencontrées dans la pratique de l'auto-construction et auprès des constructeurs eux-mêmes. Toujours selon leurs témoignages, les seuils en question leur donneraient du fil à retordre si bien que l'utilisation de matériaux capables de fournir une inertie thermique significative au bâtiment est proscrite. Dans la pratique, les micro-maisons produites « clé en main » sont conçues pour avoisiner 3,5 tonnes. La masse de la remorque en pleine charge dépasse donc souvent ce seuil.

En somme, il semble que ces contraintes significatives, auxquelles s'ajoute la difficulté de circuler avec un tel encombrement et une telle masse, soit le prix à payer pour disposer d'une micro-maison mobile plutôt que démontable et sur fondations légères. Un témoignage évoque d'ailleurs la contrainte relative à la puissance du véhicule tracteur et le refus de passer le permis BE. Cet aspect est à mettre en perspective avec la hiérarchisation des motivations évaluées à la partie précédente (cf. 1.5) où il semble qu'en Europe et en France, la notion de mobilité ne soit pas aussi importante qu'aux Etats-Unis. Ceci est probablement lié à l'urbanisation de ce continent et est davantage développé à la seconde partie relative aux enjeux nationaux.

1.6.2.3 Dimension Sociale

Nous l'avons évoqué aux paragraphes précédents, la dimension sociale n'est pas anodine. Le niveau de compréhension et d'acceptation relatif à cet habitat et au mouvement associé influence la classe politique et l'instruction des demandes d'autorisation. Si l'engouement pour ce mode de vie est important, il reste aujourd'hui clivant. Ainsi, la pression sociale est également évoquée comme une source de contrainte bien qu'elle ne semble pas déterminante dans la prise de décision et rapidement mise de côté. Elle se manifesterait par l'incompréhension des proches et de la société en générale. Notons que certains témoignages évoquent au contraire leur motivation à adhérer à une communauté soudée et en phase avec leurs valeurs (cf. 1.3). Un autre aspect d'ordre social évoqué est relatif à ses propres capacités. Certaines qualités d'ordre relationnel et certaines compétences techniques (surtout dans le cas d'une auto-construction) seraient nécessaires pour mener à bien un projet de cette nature. Les plus marginaux seraient bien plus à même de rencontrer des difficultés dans leurs démarches. Notons que la contrainte relative aux compétences techniques freinerait la prise de décision mais ne serait pas toujours réellement avérée dans la pratique. Enfin, l'incertitude d'un retour à une crise sanitaire pourrait également influencer (positivement ou négativement) la prise de décision. L'importance de ce facteur semble toutefois curieusement plutôt occultée. Ce facteur serait plutôt lié à une tendance de fond, un peu abstraite.

1.6.2.4 Dimension Economique

La contrainte économique est souvent évoquée et figure parmi les plus importantes, notamment en raison de la difficulté à obtenir des prêts à taux raisonnables pour l'acquisition de la micro-maison. Le coût d'acquisition d'un terrain bien situé accentue cette problématique, d'autant que la tendance est à la hausse au regard de l'objectif national de « zéro artificialisation net » des sols d'ici 2050. Elle peut toutefois être contournée en passant par une location. L'augmentation du prix et des délais de livraison de la micro-maison (~ 2 ans actuellement) est aussi évoquée en tant que contrainte importante. Ceci s'explique par l'inflation actuelle sur les matériaux de construction (Goetz, 2021) et une offre qui peine à suivre la demande. L'inflation s'explique en partie par la reprise économique après la crise sanitaire de 2019-2020 (et l'arrêt de la production pendant cette période) mais l'offre est également mise à mal par la croissance du mouvement. Cette contrainte freine la prise de décision et se confirme ensuite dans les faits. Enfin, le niveau de tension immobilière, très variable selon les régions et agglomérations du territoire national

(INSEE, 2021a), est également à considérer comme facteur plus ou moins favorable à une implantation en micro-maison. Toutefois, l'inflation actuelle du secteur du bâtiment tendrait plutôt à favoriser le mouvement des micro-maisons (PR Newswire Technavio, 2022). A cette analyse pourrait finalement s'ajouter la crise sur les approvisionnements en énergies fossiles, accentuée par la guerre en Ukraine initiée en 2022, comme facteur également plutôt favorable à ce changement de mode de vie.

1.6.2.5 Dimension Technologique

Bien qu'évoquée dans les ouvrages « grand public », la dimension technologique n'est quasiment pas abordée dans la littérature universitaire. Elle existe pourtant belle et bien et se confirme largement au travers de l'enquête dédiée à cette étude. Deux axes se dégagent, l'un relatif à la structure et au volume de l'habitat, l'autre en rapport à la gestion des utilités. Pour le premier, l'humidité et le manque d'inertie thermique (surchauffe en période chaude) sont les plus mentionnés et classés comme importants ou très importants. Le manque d'isolation phonique et le bruit relatif aux intempéries a été mentionné au travers d'un témoignage. Enfin, la difficulté à gérer au quotidien l'aménagement sur un espace réduit a aussi été évoquée. D'ailleurs, seulement deux sondés vivaient en micro-maison à plus de deux personnes (un foyer avec un enfant et l'autre avec deux enfants). Ce paramètre n'a toutefois pas été mentionné comme une contrainte importante. Concernant le second axe, il s'agirait principalement de la gestion de l'eau, des déchets et de l'énergie électrique (pour le cas d'une autoconsommation solaire). La gestion de l'approvisionnement dédié au chauffage (gaz ou bois en général) n'est pas mentionnée parmi les contraintes importantes. Au contraire, sa capacité à fournir un certain niveau d'autonomie sur le plan énergétique, sans engendrer de grandes contraintes, est bien accueillie.

1.6.2.6 Dimension Environnementale

Le caractère environnemental de la démarche n'a jamais été mentionné directement comme contrainte. Cela semble évident puisqu'il s'agit d'un type d'habitat reconnu comme plus respectueux de l'environnement par rapport aux logements plus conventionnels. La contrainte relative à la surchauffe du bâtiment en période chaude (par manque d'inertie thermique notamment) est toutefois liée au réchauffement climatique et tendra donc à s'accentuer.

1.6.3 Conclusion intermédiaire

A la suite de cette analyse, résumée par la *Figure 8*, retenons que **la réglementation freinerait considérablement l'implantation des micro-maisons**. **Les politiques locales jouent un rôle important** tant par leur grande implication dans la réalisation des documents d'urbanismes que par leur pouvoir facilitateur lorsqu'il s'agit de telles démarches. La politique nationale et le **cadre législatif semblent plutôt favorables** au mouvement bien que **l'objectif de « zéro artificialisation net » des sols d'ici 2050 limite les politiques locales** concernant la détermination de nouveaux terrains constructibles. La particularité de ces habitats, imperméabilisant peu le sol par leur implantation, pourrait être davantage considéré. Le facteur économique est également mentionné parmi les contraintes majeures. De plus, **le coût du terrain constructible** (en rapport à celui de la micro-maison) serait un problème important. La difficulté d'obtenir des prêts pour l'acquisition des maisons le serait également. L'inflation actuelle du secteur pourrait toutefois être un facteur favorable à leur développement, à condition peut-être qu'une alternative au bois de construction soit disponible pour leur construction.

Les micro-maisons mobiles rencontrent aussi le problème de leurs largeurs et **masses limites**. Cette dernière ne **permet pas de fournir une enveloppe disposant d'une inertie thermique significative** (nécessitant l'utilisation de matériaux plus lourds), d'autant plus stratégique au regard du réchauffement climatique.

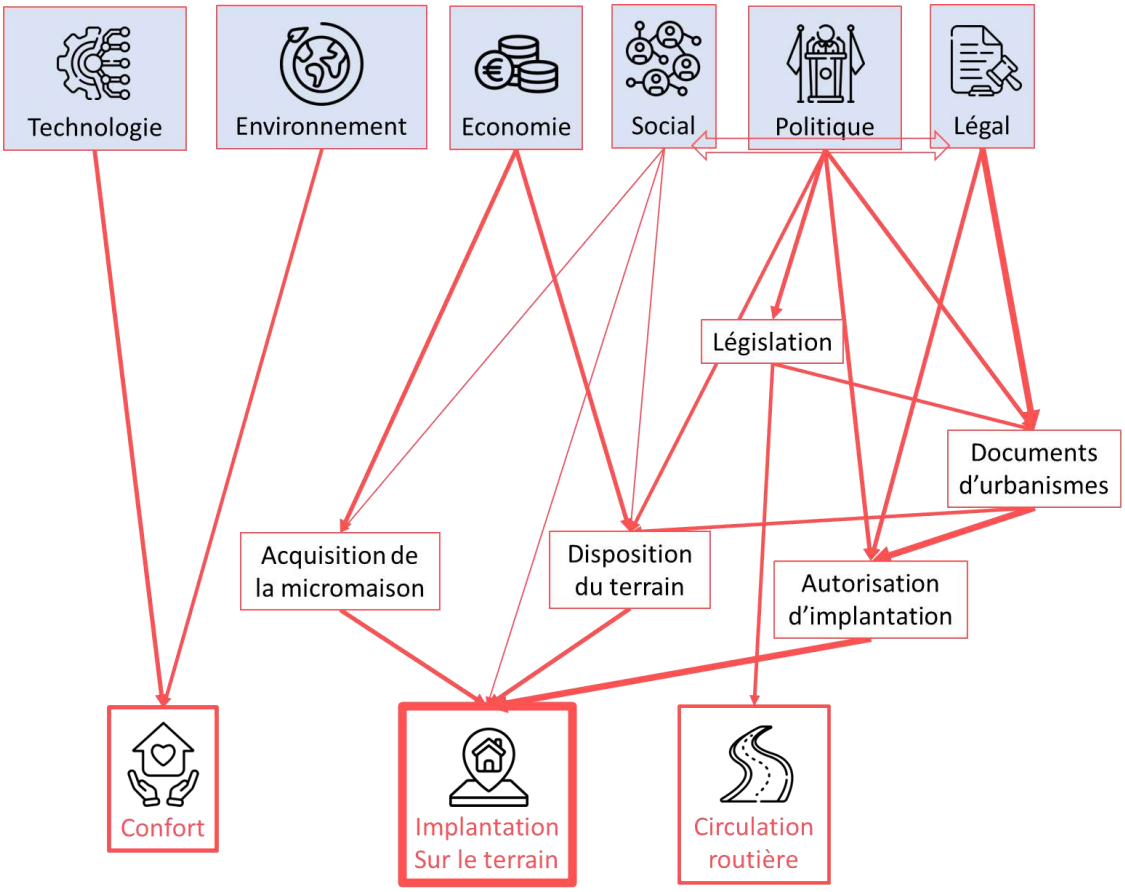


Figure 8 : Synthèse des principales contraintes estimées et de leurs interdépendances dans le cheminement consistant à vivre en micro-maison (épaisseur des lignes reflète l'importance du lien entre les processus).

Enfin la limitation relative au manque d'espace et à la taille du foyer n'apparait pas clairement au sein des témoignages issus de la littérature. Il s'agit en fait d'une contrainte considérée très en amont du processus de décision, au cœur du mouvement lui-même (cf. 1.3), relatif au confort et mis dans la balance du minimalisme évoqué au début de cette étude (*Figure 5*). La nature de l'enquête n'est pas adaptée à ce type d'évaluation puisqu'elle vise des personnes ayant déjà franchi le pas. Il est donc difficile d'établir une surface de vie idéale. Précisons toutefois que dans les pays précurseurs (Etats-Unis, Australie, Canada), où la réglementation est moins restrictive en termes de masse et dimension maximales autorisées pour la circulation routière, la surface habitable des micro-maisons mobiles est généralement plus élevée. Elle serait voisine de 20 m² quand elle dépasserait rarement 15 m² en France.

1.7 Quelles sont les tendances caractéristiques de cet habitat ?

1.7.1 Objectif, méthode et limites de l'analyse

Après avoir analysé en détails le mouvement des micro-maisons, il est finalement intéressant de conclure cette partie par un portrait d'une micro-maison représentative de l'ensemble du parc actuel, à usage d'habitation en France (incluant les dernières tendances observées). Ces caractéristiques doivent permettre d'évaluer son potentiel de développement au regard des enjeux de développement durable sur le territoire national (partie 2). Son coût, son mode de réalisation, sa structure, la performance de son enveloppe et ses équipements techniques sont autant de paramètres abordés dans cette section. Les données utilisées à cette fin sont issues à la fois des constructeurs, des habitants eux-mêmes via les réseaux sociaux, de l'enquête dédiée à cette étude (Annexe 1) et de la littérature disponible. La partie de l'enquête dédiée à cette analyse utilise des questions préformées afin d'obtenir des réponses claires à des questions bien identifiées en amont.

1.7.2 Analyses et interprétations

Les zones géographiques

La partie nord-ouest de la France semble être la zone la plus concernée par l'implantation de la micro-maison lorsqu'il s'agit d'habitat permanent. Cette zone géographique, au climat globalement océanique, est la moins touchée par les grandes chaleurs estivales. En effet le mouvement semble largement s'étendre à l'ensemble du territoire. A cet égard, la problématique de l'inertie thermique (cf. 1.6.2.5) ne peut que prendre davantage d'importances (en plus de la tendance du climat à se réchauffer). D'ailleurs, bien que non mentionnée directement, il n'est pas exclu que la variable climatique soit d'ores et déjà considérée négativement dans la prise de décision.

Le coût

A l'échelle globale, le prix moyen des micro-maisons aurait plus que doublé depuis 2012, notamment en raison d'une augmentation de leur surface habitable (Made in FR, 2022). Cette tendance persisterait ces prochaines années en raison d'une croissance encore importante et d'une poussée inflationniste. Le coût d'une micro-maison dépend également de son niveau

d'équipements (relatif au niveau d'autonomie énergétique notamment) ainsi que de son mode de réalisation.

Sa surface moyenne habitable serait d'environ 14 m^2 (et ~ 5 m² de mezzanine) si on se réfère aux modèles proposés par les quelques 50 constructeurs français ainsi qu'aux différents témoignages retranscrits sur les sites internet de références : « Tiny House France » et « Collectif Tiny House » (Collectif Tiny House, 2023; Tiny House France, 2023). La tendance en France est aussi plutôt à la hausse, bien que limitée par les réglementations relatives à la circulation routière concernant les micro-maisons mobiles (masse totale et largeur, cf. 1.6.2.2). Les habitations sur fondations légères dépassent rarement les 17 m² de surface habitable afin de ne pas excéder les 20 m² d'emprise au sol, restant ainsi dans le cadre règlementaire de la déclaration préalable (dans le cas général, cf.1.6.2.2) pour leur implantation.

Le prix moyen des modèles « clé en main » est actuellement proche des 60 000 €, sans système dédié à l'autonomie énergétique. D'autres modes de réalisation sont également largement répandus. L'auto-construction figure parmi eux et permet de réduire ce coût d'acquisition. Les témoignages issus de l'enquête annoncent alors un coût actuel compris entre 25 000 € et 30 000 €. La durée du chantier pour une petite équipe motivée et principalement dédiée à cette tâche varie de 6 mois à plus d'un an selon les témoignages (Perdereau, 2016; Weisbarth & Giffin, 2019; Guide-tinyhouse, 2022; Collectif Tiny House, 2023). L'achat de micro-maison « à compléter », « hors d'eau » et « hors d'air » sont quant à elles affichées à un prix moyen d'environ 30 000 € selon l'enquête (hors équipements techniques), nécessitant alors quelques mois de travaux. Bien que connaissant un certain succès, cette dernière « formule » ne permet pas de gains économiques significatifs si on considère le coût des travaux relatifs à l'intégration des équipements techniques, à l'aménagement et aux finitions encore à effectuer.

Précision finalement qu'une augmentation importante des coûts a été constatée en France, quelques soit le mode de réalisation choisi. Le coût moyen « clé en main » en France était encore voisin de 45 000 € avant la crise sanitaire et la tension sur les matériaux qui la suivit, amenant certaines études à sous-évaluer leur coût actuel (Guide-tinyhouse, 2022; Made in FR, 2022).

Le mode de réalisation

Trois modes de réalisation peuvent donc être distingués : le « clé en main », entièrement produit au sein des ateliers du constructeur, la formule intermédiaire évoqué à l'instant et l'auto-construction totale (ou presque). Bien que le marché soit principalement représenté par le « clé

en main », les deux autres « formules » disposent d'une place également importante. La livraison d'une micro-maison complète, prête à l'emploi, est évidemment la solution la plus commode mais la personnalisation est limitée. La solution de l'auto-construction permet de faire des économies d'argent mais nécessite de fournir un effort important pour la construction en plus du temps à y consacrer. De plus cette démarche n'est pas à la portée de tous. Le délai de livraison d'une micro-maison prête à l'emploi peut toutefois pousser à s'orienter de la sorte (cf. 1.6.2.4). La formule « intermédiaire », consistant en général à disposer d'une structure, « hors d'eau » et « hors d'air » est soutenue par les constructeurs au travers de formations et par la fourniture de plans. Elle permet aussi de s'affranchir des plus gros travaux par rapport à une configuration 100% auto-construite ce qui permet d'économiser beaucoup de temps. Le niveau de qualification sur chantier peut également être moindre en disposant d'une structure produite en atelier par des spécialistes bénéficiant de conditions de travail optimales. Par ailleurs, en comparaison à une acquisition « clé en main », cette configuration permet de conserver un grand potentiel de personnalisation et d'appropriation. Cela est rendu possible grâce à la réalisation de l'aménagement laissée au soin de l'auto-constructeur. Enfin, la notion d'auto-construction, même partielle, se marie bien avec les valeurs prônées par une majorité des occupants évoquées aux sections précédentes (cf. 1.3). Ainsi, l'engouement pour ce mode de construction prend de l'ampleur ces dernières années et la France ne fait pas exception (Weisbarth & Giffin, 2019; Made in FR, 2022). Notons que les constructeurs sont de plus en plus flexibles à ce sujet et tendant à proposer plusieurs niveaux de finitions « intermédiaires ».

La structure

La durée de vie de la micro-maison est estimée à 20 ans (Tiny House France, 2022). L'architecture est généralement pensée pour minimiser la consommation des ressources lors de son utilisation et pour maximiser les apports naturels. Les principes de bases du bio-climatisme sont donc généralement mis à l'honneur avec notamment une grande surface vitrée disposée au sud (avec ou sans brise-soleil) et une enveloppe généralement conçue pour une ventilation naturelle. Les micro-maisons mobiles disposent d'une largeur proche de 2,5 m (limitation au regard des règles de circulation, cf. 1.6.2.2). Leur longueur varie mais la tendance se rapproche des 6,6 mètres. Leur hauteur « hors tout » est généralement comprise entre 4 m et 4,2 m. Cette hauteur permet de passer sous la majorité des ponts en France (signalisation obligatoire en-dessous de 4,3 m) pour ce qui concerne les micro-maisons mobiles. La hauteur sous plafond peut alors être supérieure à 3,5 m permettant l'installation d'une mezzanine. Différents types

de toitures existent. Certains optent pour la toiture en mansardes par exemple, afin de fournir un espace optimisé et conférant une identité forte à la micro-maison (Perdereau, 2016). Une grande majorité des constructions est réalisée en ossature et bardage bois, redynamisant au passage une filière en perte de vitesse ces dernières décennies (Tendil, 2013). La masse totale de bois avoisinerait alors les 2T selon le témoignage de Denis DEMAEGDT, constructeur Lou Tiny-House. Son utilisation confère en fait de nombreux avantages. Il participe au faible bilan environnemental de la micro-maison puisqu'il nécessite peu de transformation et permet de stocker du carbone en son sein (en supposant une provenance issue d'une exploitation forestière raisonnée). Par ailleurs sa légèreté et les méthodes pour le travailler sont adaptées à la préfabrication en usine ou « Hors site », conférant des avantages en matière de productivité, de qualité et d'ergonomie au travail. Enfin, le savoir-faire est encore présent dans les territoires français et n'attends qu'à être davantage valorisé. Notons que d'autres matériaux tel que l'acier, l'aluminium ou encore le plastique, recyclés ou non, peuvent également être utilisés comme structure. La contrainte commune est de fournir un ensemble suffisamment solide et le plus léger possible.

L'isolation

L'isolation est généralement issue de matériaux biosourcés (à base de chanvre ou de lin généralement) ce qui n'est d'ailleurs généralement pas le cas aux Etats-Unis. Ni les constructeurs ni les auto-constructeurs ne seraient enclins à leur utilisation outre atlantique (Perdereau, 2016; Weisbarth & Giffin, 2019). Or cette caractéristique, liée au respect de l'environnement, est décorrélée du facteur économique ou d'un besoin en autonomie (partie1.3.5). Par conséquent, l'utilisation de matériaux biosourcés est un excellent indicateur de la sensibilité des utilisateurs Français à l'égard de ses impacts environnementaux. Toujours selon la même enquête, l'épaisseur de cette isolation avoisine généralement la dizaine de centimètres pour les parois verticales et le sol. Le plafond est généralement isolé avec une épaisseur de 15 cm. La conductivité thermique (λ) de l'isolation est de 0,038 $W.m^{-1}.K^{-1}$ ce qui est environ 20% supérieure aux isolants minéraux ou pétro-sourcés utilisés en masse dans le bâtiment avant l'application de la réglementation (RE2020). La performance de l'enveloppe est néanmoins jugée suffisante en hiver au regard du volume à chauffer. La modélisation effectuée dans le cadre de cette étude aboutie à une conductance thermique totale d'environ 48 $W.K^{-1}$, ouvrants, ventilation naturelle et ponts thermiques compris (*Figure 10*).

L'inertie thermique

Le déphasage thermique de l'enveloppe et l'inertie thermique dont il dépend sont d'autres propriétés importantes puisqu'elles participent au confort thermique d'été. Concrètement, elles permettent aux parois d'absorber de la chaleur la journée grâce à la fraicheur nocturne. La modulation des ouvrants permet par ailleurs de conserver une ambiance intérieure fraîche la nuit. Un enjeu lié à cette dimension est la suppression des systèmes de climatisation, gros consommateurs d'électricité. De plus, les analyses précédentes ont montré que le niveau d'inertie des micro-maisons est insuffisant et contraignant (partie 1.6.2.5). Prenons donc le temps d'approfondir cette question.

Pour évaluer l'inertie thermique, consistant à stocker et à restituer la chaleur de manière diffuse, les paramètres à prendre en compte en général sont :

- l'épaisseur appliquée (e) exprimée en mètre m ;
- la conductivité thermique (λ) du matériau exprimée en $W.m^{-1}.K^{-1}$;
- sa masse volumique (ρ) exprimée en $kg.m^{-3}$;
- sa capacité thermique massique (c) exprimée en $J.kg^{-1}.K^{-1}$.

En effet, l'inertie thermique peut s'apprécier au regard de son effusivité thermique (E) exprimée en $J.K^{-1}.m^{-2}.s^{-1/2}$ (*Equation 1*) et de sa diffusivité thermique (D), en $m^2.s$ (*Equation 2*).

$$E = \sqrt{\lambda . \rho . c} \qquad (1)$$

$$D = \frac{\lambda}{\rho . c} \qquad (2)$$

Plus l'effusivité E est élevée et la diffusivité D réduite plus l'inertie thermique sera importante. Réduire la conductivité thermique (λ) tend à diminuer la diffusivité (D) mais également l'effusivité (E). Une augmentation de la capacité thermique massique (c) permet bien d'augmenter l'effusivité (E) tout en réduisant la diffusivité (D) mais cette grandeur est liée à la structure interne des matériaux et les gains sont limités. Notons tout de même que les isolants biosourcés présentent généralement des capacités thermiques jusqu'à deux fois supérieures à celles des isolants minéraux (laine de roches, laine de verre) et pétro-sourcés (polystyrène expansé, polystyrène extrudé) usuels. Enfin, les variables considérées généralement comme les plus importantes à l'égard de l'inertie thermique sont la masse volumique (ρ) et l'épaisseur du

matériau. Cela revient plus simplement à considérer la masse du matériau constitutif de la paroi en question.

Il apparait donc une problématique propre aux micro-maisons, ayant vocation à rester légères. De plus, l'objectif d'un habitat écologique voir autonome en énergie amène à proscrire l'utilisation d'un climatiseur. Dans la pratique, les isolants biosourcés disposent d'une masse volumique (ρ) qui peut être considérée proche de 50 kg/m^3 et leur capacité thermique massique peut se rapprocher des 2000 $J.kg^{-1}.K^{-1}$ quand les minéraux et pétro-sourcés ne dépassent guère les 1000 $J.kg^{-1}.K^{-1}$. Cependant, le couple effusivité (E) - diffusivité (D) et les épaisseurs de parois des micro-maisons ne permettent pas d'aboutir à une inertie significative en période de forte chaleur. Finalement notons que les isolants pétro-sourcés usuels (polystyrène extrudés et expansés) sont à proscrire car en plus de leur apport quasi inexistant en inertie thermique, ils ne sont pas perspirants c'est-à-dire qu'ils ne permettront pas d'évacuer l'humidité produite à l'intérieur de l'habitat. Ce phénomène, évoqué comme contrainte au travers de notre enquête (cf. 1.6.2.5), peut dégrader la qualité d'air intérieur et le bâtiment lui-même (moisissures), notamment en hiver et en particulier dans un petit volume comme celui des micro-maisons. Une piste de réflexion est proposée en *Figure 9* pour répondre à cette contrainte.

Les équipements techniques alimentés en énergie

Les équipements techniques ne font pas exception à la tendance générale, visant à limiter les consommations et à améliorer l'autonomie de l'habitat. Les équipements consommateurs en électricité sont réduits au minimum et « basses consommations », en particulier lorsqu'il s'agit d'une micro-maison visant l'autonomie. L'éclairage est à LED et la sollicitation d'équipements électroménagers est minimale. La réduction des consommations énergétiques des équipements techniques est un passage obligé par soucis de cohérence globale si ce n'est par la contrainte technique et spatiale. Le point d'équilibre varie néanmoins en fonction du niveau de confort recherché par les uns et les autres. Le bon sens nous indique en tout cas la nécessité de réduire au maximum la sollicitation des équipements électroménagers thermiques (grille-pain, chauffe-eau, four etc.) ou à moteur électrique (aspirateur, machine à laver etc), bien plus « énergivore » que les équipements purement électroniques ou numériques. Le niveau de service apporté par ces derniers est quant à lui à moduler en rapport au minimalisme souhaité et à la volonté de réduire son impact environnemental, incluant l'ensemble du cycle de vie des produits et l'ensemble des catégories d'impacts. Il est vrai que l'équipement électronique a pour vocation

de fonctionner avec le « signal » et le numérique avec la « donnée informatique » plutôt qu'à produire une énergie thermique ou mécanique. De plus ces équipements, par leur masse réduite, ne nécessitent pas de grandes consommations en matière et en énergie pour les produire. Il reste que leur impact sur les écosystèmes et la biodiversité n'est pas négligeable (pollution minière et appauvrissement des terres rares par exemples). D'autant plus que le minimalisme, évoqué précédemment, se rapportant davantage aux « low-tech », prône une adaptation de l'Homme à la nature qui l'entoure, dont il fait partie et dont il dépend, plutôt que de tenter, en vain, de la contrôler par une techno-sphère surchargée et finalement susceptible de la dégrader (cf. 1.3.1).

En somme, selon les différents témoignages les micro-maisons disposent de quelques équipements thermiques et d'électroménagers, de faible puissance et à basse consommation, indispensables pour assurer un certain niveau de confort ainsi qu'un certain nombre d'équipements numériques. Ainsi smartphones, équipements informatiques, leurs périphériques et leurs substituts à venir sont bien souvent à intégrer dans la conception d'une micro-maison. Un système de contrôle-commande pour la gestion automatique d'un certain nombre de paramètres comme la gestion des flux énergétiques peut aussi être la bienvenue. Selon la modélisation effectuée pour cette étude, l'ensemble des équipements électroniques et numériques, incluant l'éclairage à LED, consommerait quelques 500 kWh/an. En fonction de la source d'énergie utilisée, la cuisinière (incluant plaques de cuisson et four à micro-ondes) et la production d'eau chaude sanitaire ferait plus que doubler cette consommation d'électricité.

Une piste de réflexion

Mentionnons qu'une approche plus complète relative au déphasage thermique et à l'inertie thermique dont il dépend, consisterait à coupler les transferts thermiques aux transferts hydriques. Cela permet de connaitre le comportement hygrothermique de la paroi. En effet, les phénomènes de condensation-évaporations de la vapeur d'eau au sein du matériau permettent le stockage et la restitution de chaleur. Il s'agit d'un potentiel intéressant pour un gain en déphasage thermique de certains matériaux. Sa microstructure (liée à l'organisation de sa porosité) et son caractère plus ou moins hydrophile (par liaisons hydrogènes) sont au cœur de ces mécanismes puisqu'ils influencent la perméabilité du matériau, sa capacité à condenser la vapeur d'eau et à la stocker.

Bloc de chanvre-chaux, source : Nils Frantz

Paroi en chanvre-chaux, source : Batirama

En plus de leurs performances acoustiques et de leur capacité à réguler l'humidité dans le bâtiment, les bétons légers à base de végétal tel que le « chanvre-chaux » sont très prometteurs à cet égard. Ils ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche et tendent à (re)démontrer leur potentiel pour une application dans le bâtiment (Evrard, 2006; de Bruijn, 2008; Hustache & Arnaud, 2008; Shea et al., 2012; Bejat et al., 2013; Dubois, 2013; Jami et al., 2019; Bennai et al., 2020; Costantine et al., 2020; Sáez-Pérez et al., 2020; Abbas et al., 2022). La distribution de taille de ses pores, majoritairement ouvertes et interconnectées et le caractère hydrophile du végétal leur confèrent un comportement hygrothermique très intéressant. Selon une étude menée en Haute-Loire (France), à résistance thermique équivalente, ce matériau disposerait d'une capacité de stockage d'énergie 10 fois supérieure aux isolants biosourcés et 50 fois supérieure aux isolants minéraux ou pétro-sourcés usuels (Eco-architecte, 2009). Etant plus dense (masse volumique autour de 300 ou 400 $kg.m^{-3}$ en pratique), leur conductivité thermique est toutefois plus élevée qu'un matériau purement isolant, comprise entre 0 ,06 et 0,08 $W.m^{-1}.K^{-1}$ (Cerezo, 2005; Evrard, 2008; Nguyen et al., 2010; Nozahic, 2012; Pierre et al., 2014; Walker et al., 2014; Dinh, 2014; Rahim et al., 2016). Ce déficit peut être compensé en augmentant son épaisseur par substitution à la couche structurante (et/ou assurant le clos du bâtiment). En effet, sa solidité permet d'envisager la réalisation de parois exclusivement composées de ce matériau, remplaçant à la fois la couche isolante et la couche extérieure à l'enveloppe (Nozahic, 2012).

Bien que plusieurs bâtiments construits à partir de ce matériau voient le jour en France, aucune micro-maison utilisant cette alternative n'est encore recensée. Il est vrai que sa masse volumique, bien que contenue, le rend inadapté aux micro-maisons mobiles au regard de la limitation de leur masse, cf. 1.6.2.2

Figure 9 : Piste de réflexion pour l'amélioration de l'inertie thermique des micro-maisons

Les sources d'énergie

L'alimentation des équipements électriques se fait par la voie d'un raccordement au réseau et/ou par l'intermédiaire d'un système solaire photovoltaïque couplé à une batterie de stockage.

Le sujet de la production de chaleur à fournir pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire voir pour la cuisinière est plus complexe. Selon le témoignage des constructeurs, l'électricité par raccordement au réseau et le gaz étaient les plus demandés jusqu'il y a peu. Toutefois, la demande pour les systèmes au gaz a chuté ces dernières années en raison du contexte énergétique actuel et des craintes relatives aux conséquences de la guerre en Ukraine, initiée en 2022. Le bois remporte également un certain succès pour assurer le chauffage de l'habitat. Les systèmes solaires photovoltaïques peuvent participer à la production d'eau chaude et à la cuisson au cours des « belles » périodes. Leur installation nécessite quelque 10 000 € d'investissements supplémentaires. Au regard de la diversité de la demande, il semble qu'aucune solution ne soit idéale. Par conséquent, quelques approfondissements concernant ces questions sont présentés ci-dessous.

Une production de chaleur électrique ?

L'utilisation d'électricité est la solution la plus pratique si celle-ci est disponible (et la plus répandue). Le bilan carbone et plus largement, environnemental, dépend de sa provenance.

Dans le cas d'un **raccordement au réseau**, il dépendra donc du mix énergétique concerné sur le territoire où se trouve la micro-maison. Cette configuration permet de réduire les coûts d'investissements au maximum mais est dépendante d'un accès au réseau et fournit une énergie au prix le plus élevé. En effet, ce vecteur énergétique est considéré comme disposant d'un haut niveau de « qualité », indispensable pour alimenter les nombreux équipements électriques qui ont pris place dans la société. Ce prix est justifié par les infrastructures qui lui sont associées et par les pertes énergétiques qui y sont liées. Ces déperditions thermiques se caractérisent notamment par le rendement de transformation de la source d'énergie primaire en électricité. Un retour à une production de chaleur ne fait que peu de sens d'un point de vu énergétique. Une solution « 100% électricité » en provenance du réseau **ne devrait** donc sérieusement **être envisagée que dans le cas d'une utilisation occasionnelle** (faible investissement - prix de l'énergie élevé). Toutefois, des inconvénients propres à chaque système tant à brouiller les pistes.

L'installation d'un système **solaire photovoltaïque** ne permettrait pas de palier à ces limites puisqu'elle **ne suffirait pas** à subvenir à l'ensemble des besoins en chaleur (en plus de ceux des équipements électriques). De plus, les besoins en chauffage se manifesteraient au cours des périodes les moins ensoleillées. La surface de toiture disponible serait insuffisante au regard des technologies matures actuelles. Par ailleurs, le coût d'acquisition du système solaire (batterie incluse) est important. De même, l'utilisation d'un ballon thermodynamique (prélèvement de calorie dans son environnement) permettrait de réduire la consommation électrique pour la production d'eau chaude mais ne résoudrait pas la problématique liée au chauffage ou à l'alimentation de la cuisinière. D'ailleurs, bien que réduite, la consommation électrique du ballon d'eau chaude serait encore trop importante au cours des périodes, et dans les zones, peu ensoleillées.

Une production de chaleur au gaz ?

La sollicitation de **bouteilles de gaz** (butane ou propane) comme source d'énergie **peut être un choix intéressant** pour subvenir aux besoins en chaleur. La combustion du gaz émet des gaz à effet de serre mais pollue peu l'environnement local. De plus, des alternatives bas carbone émergent (biobutane et biopropane). Plutôt pratique (réseau de distribution de bouteilles très étendu), le coût d'installation et le prix sont également raisonnables bien que ce dernier tend à augmenter dans le contexte actuel et connaitra toujours des fluctuations de prix difficiles à anticiper. Il s'agit donc d'une configuration relativement simple et semble présenter un compromis intéressant au regard des besoins exprimés précédemment. Cependant, cette source d'énergie serait largement délaissée en raison de la **situation géopolitique** et des craintes qu'elle suscite en matière d'approvisionnement (et de prix). De plus, les plus sensibles aux **impacts environnementaux** ne retiendront pas cette solution. Notons que si la production de biogaz par valorisation des déchets ménagers des occupants peut sembler alléchante pour une décarbonation des consommations énergétiques, elle ne peut largement pas subvenir à l'ensemble des besoins en chaleur.

Production de chaleur au bois ?

Les systèmes au bois nécessitent de fournir un peu plus d'efforts pour s'approvisionner et n'offrent **pas de solution globale à la production de chaleur**. En effet, les systèmes existants ne permettent pas de produire l'eau chaude sanitaire ou d'alimenter la cuisinière sans chauffer le volume intérieur. De plus la combustion du bois engendre des émissions polluantes (NOx,

SOx, COV et particules fines). L'investissement pour un tel système de production est aussi plus élevé. Il confère néanmoins les avantages d'un bilan carbone considéré neutre (dans le contexte européen), d'un faible coût de l'énergie primaire et apporte un haut niveau d'autonomie à l'utilisateur. **Une alimentation au gaz ou électrique peuvent alors prendre le relai** « hors période de chauffe » pour la production d'eau chaude-sanitaire et l'alimentation de la cuisinière hors « période de chauffe ».

Une **installation solaire photovoltaïque, couplée à un ballon thermodynamique peut être envisagée** si le choix se portait sur le vecteur électrique. L'installation est alors davantage sollicitée au cours de cette période, généralement plus ensoleillée. Cette solution est coûteuse en terme d'investissement mais permet de bénéficier d'une source d'énergie gratuite (rayonnement solaire) et d'améliorer l'autonomie énergétique. Toutefois, selon les calculs effectués pour cette étude, la surface disponible en toiture sur les micro-maisons mobiles (dimension de toiture restreinte par la réglementation de la circulation, cf. 1.6.2.2) ne permettraient pas l'installation d'une puissance solaire suffisante pour subvenir à ces besoins dans les zones les moins ensoleillées de France.

Le raccordement au réseau couplé au système « bois » serait quant à lui peu pertinent au regard de la perte en autonomie engendrée (un point fort du « bois »). Le chauffage de l'eau peut aussi être assuré par un chauffe-eau solaire (système solaire thermique) bénéficiant d'une énergie primaire (rayonnement solaire) gratuite et illimitée (bien qu'intermittente). Néanmoins, son coût d'acquisition est relativement important. Son encombrement et la gestion de la surchauffe sont également des points faibles et ce système ne répond pas au besoin de la cuisinière. Pour finir, il ne permettrait évidemment pas de se substituer au solaire photovoltaïque pour l'alimentation des équipements électriques s'il s'agit bien de viser l'autonomie énergétique.

Le traitement de la gestion de l'eau, des effluents et de déchets

Les systèmes de récupération en eau de pluie sont relativement peu répandus. D'une part, ils sont souvent insuffisants pour subvenir à l'ensemble du besoin, d'autre part, ils ne peuvent être légalement utilisés pour les besoins en eaux potables (l'eau dédiée à la vaisselle comprise). Dans le cas général, les micro-maisons sont raccordées à un réseau d'alimentation en eau.

Concernant le traitement des eaux usées, le raccordement au réseau d'assainissement semble assez courant bien qu'un grand nombre d'habitats semble opter pour un système d'assainissement non collectif (ANR). Bien qu'encadré par des dispositifs règlementaires, des

systèmes autonomes existent à des coûts raisonnables pour le traitement des eaux ménagères (eaux grises et de cuisine). Le kit de micro-épuration biologique (activité bactérienne) ou la mise en œuvre d'un petit bassin de phytoépuration en sont des exemples. Le problème de la gestion des eaux vannes (ou noirs) n'est généralement plus à traiter lorsque la micro-maison est équipée de toilettes sèches ce qui est souvent le cas. La séparation de la matière fécale de l'urine permet de produire un composte, résolvant au passage le problème de l'odeur.

1.7.3 Conclusion intermédiaire

Finalement, les principales caractéristiques d'une micro-maison représentative en France sont présentées dans le *Tableau 1*. La *Figure 10* présente ses dimensions et le bilan thermique de l'enveloppe.

Tableau 1 : Les principales caractéristiques d'une micro-maison représentative en France

Caractéristiques	
Prix clé en main	60 000 €
Modes de réalisation	- Prête à l'emploi, - Fourniture « hors d'eau » et « hors d'air » - Auto-construction
Durée de vie	20 ans
Dimension structure	6,6 m x 2,55 m x 4,10 m (L x l x H; Hauteur hors tout)
Matériau de base (y compris structure)	2 200 kg de bois (essences diverses)
Remorque méttalique	750 kg (acier galvanisé)
Matériau isolant	Biosourcé (à base de chanvre ou lin généralement)
Confort thermique d'été	Faible inertie thermique
Surface intérieure	14 m² (hors mezzanine)
Conductance thermique totale estimée	50 $W.K^{-1}$
Consommation des équipements	~ 1000 à 1500 kWh/an hors eau chaude sanitaire
Sources d'énergie	Alimentation total par le réseau électrique souvent Gaz (propane ou butane) et bois aussi utilisés Système solaire photovoltaïque dans certains cas

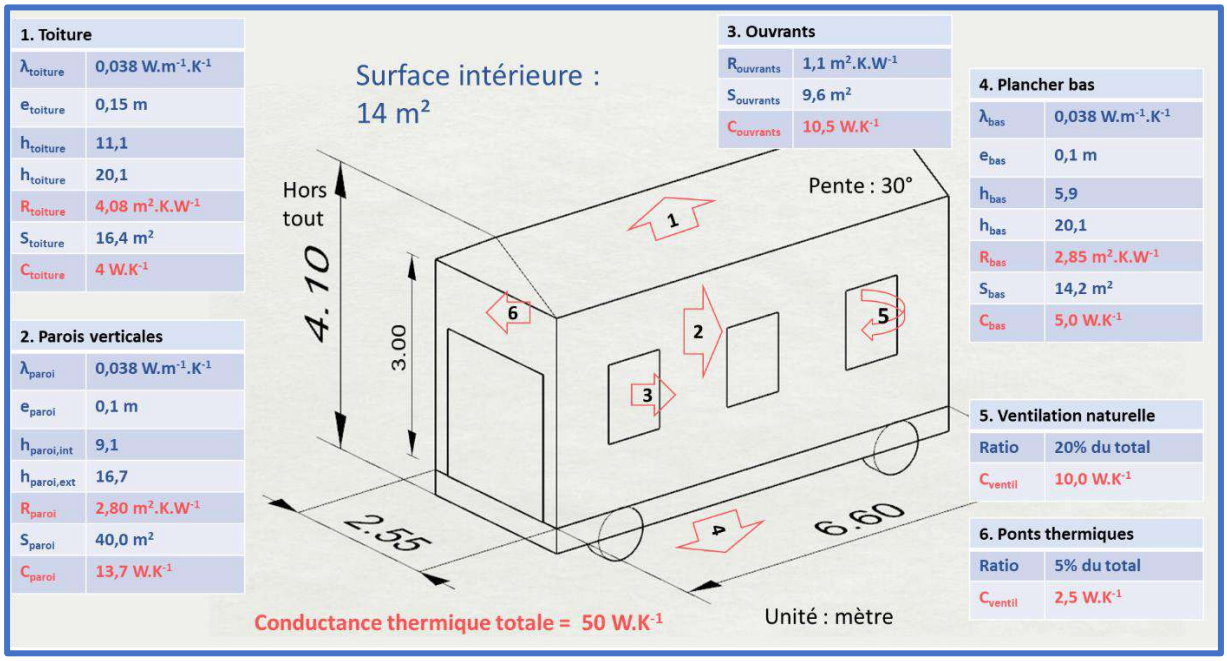


Figure 10 : Dimensions et bilan thermique de l'enveloppe d'une micro-maison moyenne en France

Ces caractéristiques sont prises en référence à des fins de comparaison, d'une part avec les tendances nationales (partie 2) et d'autre part avec la conception proposée (3^{ième} partie).

1.8 Ce qu'il faut retenir

Cette première partie de l'étude confirme le développement important des micro-maisons en France. **Plus d'un millier de micro-maisons** seraient répartis actuellement sur le territoire et tous les indicateurs montrent que le mouvement va encore largement se développer ces prochaines années. Cette étude se focalise sur l'habitat permanent, représentant d'ores et déjà la plus grande partie des implantations. Ainsi, le champ de l'étude vise à évaluer le potentiel de ces micro-maisons en substitution à un logement « conventionnel ».

Ce changement de mode vie n'est pas anodin et s'accompagne, dans une certaine mesure, d'une adhésion au minimalisme. Les habitants consultés soutiennent les principes d'une vie plus simple, moins matérialiste, plus respectueuse de l'environnement et davantage centrée sur l'essentiel, tout en restant sensible au confort. Leurs convictions permettent de démontrer que l'équation est loin d'être insoluble, au contraire. Précisons également que le facteur économique dispose d'une place particulièrement importante dans l'adhésion à ce mouvement.

L'espace de vie réduit est évidemment considéré en premier lieu dans le processus de prise de décision visant à vivre en micro-maison. Toutefois, passé cette étape, quelques barrières, mentales ou plus concrètes, restent à franchir. **La politique locale et les règles d'urbanismes figurent parmi les contraintes les plus mentionnées et redoutées.** Elles sont au cœur du processus d'obtention d'un terrain pour leur implantation.

La capacité des micro-maisons à apporter une alternative à la densification pour la lutte contre l'imperméabilisation des sols ne semble en fait pas réellement considérée dans la réglementation. Au même titre qu'il existe des espaces non constructibles, naturels ou agricoles identifiés comme « terrain de loisir » (activité de camping), il serait cohérent de faciliter l'identification de tels **terrains dédiés à l'habitation permanente pour les habitats légers**, démontables et sans fondations lourdes (*Figure 11*). Pour cela, il pourrait être intéressant de reconnaitre ce type d'habitat comme faiblement imperméabilisant lors des révisions des documents d'urbanisme (quitte à intégrer une clause limitant le degré d'imperméabilisation de la parcelle concernée).
En parallèle, **les politiques locales pourraient davantage s'approprier le potentiel de densification de ce type d'habitat** au sein des petites et moyennes agglomérations (notamment

en périphérie des grandes agglomérations). Celles-ci disposent d'un grand nombre de zones pavillonnaires (lotissements), consécutif à une certaine exode urbaine qui a débutée dans les années 1960-70 suivit par le transfert des responsabilités de l'Etat vers les communes en matière d'urbanisme. Encourager les propriétaires de terrains en « lotissement » à effectuer une **division parcellaire** en vue d'une implantation de ce type d'habitat à côté de chez lui est certainement **un levier intéressant** (*Figure 11*). Il permettrait d'**apporter une certaine flexibilité à un secteur à grande inertie** et une progression significative **vers les objectifs de densification et de zéro artificialisation des sols d'ici 2050**. Les propriétaires des parcelles concernés bénéficieraient d'un retombé économique non négligeable sans les inconvénients de l'implantation d'une construction « lourde » à proximité de la sienne.

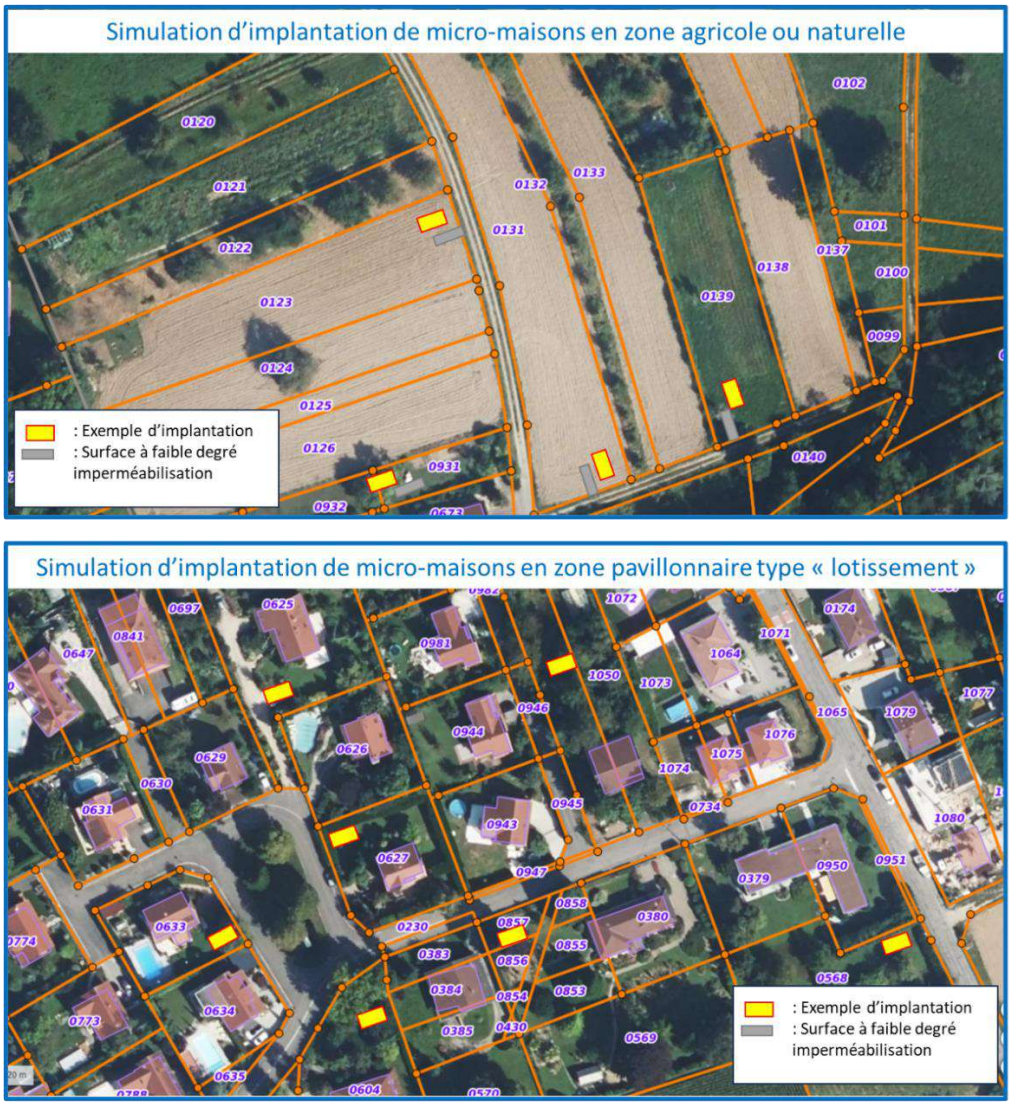


Figure 11 : Simulation d'implantation en zone pavillonnaire et en zone agricole ou naturelle

Compte tenu des résultats de notre analyse, actionner ces leviers **permettrait de réduire significativement le frein au développement** de ce type d'habitat écologique. Au-delà de la difficulté à accéder au terrain, leur coût d'acquisition en comparaison à celui de la micro-maison est également mentionné parmi les contraintes majeures. Bénéficier des terrains évoqués ci-dessus, par la location, permettrait de palier à ce problème tout en améliorant la dimension « flexibilité » inhérente à cet habitat (habitat plus facile à redéployer ailleurs). Il reste que cette piste de réflexion péjore la dimension d'autonomie financière (versements de loyers). Notons aussi que certains témoignages évoquent leur souhait de s'implanter à la périphérie des agglomérations et donc hors des zones pavillonnaires. Concernant le potentiel en zone agricole ou naturelle, le raccordement aux réseaux peut être une problématique à moins **de disposer d'un habitat suffisamment autonome.**

A ce propos, quelques limitations inhérentes à l'habitat lui-même sont aussi évoquées et indissociables de la micromaison mobile (contraintes en masse et en largeur). Le **manque d'inertie thermique** de l'enveloppe, la présence d'humidité sous certaines conditions climatiques, le manque d'isolation phonique ainsi qu'une volonté d'**autonomie** en sont les principales. Ces constations figurent parmi celles qui seront considérées à la 3^{ième} partie, visant à dégager des axes de conception concrets et au plus près du besoin exprimé.

Pour finir, cette partie a permis d'établir **un profil de micro-maison représentatif** du parc et **des tendances** actuelles sur le plan de : son prix, sa structure, ses matériaux de construction, son niveau d'équipement, sa performance thermique, ses besoins énergétiques et ses sources d'énergie (cf. 1.7.3). Ce profil sert de référence à l'évaluation du potentiel de cet habitat au regard des enjeux nationaux de développement durable présentée à la partie suivante.

2 Le potentiel au regard des enjeux de développement durable

Cette partie vise à évaluer le potentiel de la micro-maison au regard des enjeux majeurs de développement durable en France. Leur nombre, estimé à plus de mille aujourd'hui (cf. 1.2), tend à croitre et il semble opportun d'évaluer la pertinence de ce mouvement et d'évaluer ce qu'il peut apporter aux grands enjeux nationaux. La partie précédente a montré notamment l'importance des freins (réglementaires, économiques et politiques) relatifs à l'accès au terrain sur leur développement. L'évaluation qui suit permet de les mettre en rapport avec la pertinence de leur développement au regard des impacts sur le dérèglement climatique, de la perte de biodiversité et des enjeux sociaux-économiques. Pour ce faire, elle se base sur la micro-maison de référence établie à la fin de la partie précédente (cf. 1.7.3), considérant les tendances relatives au mouvement étudié. Cette analyse aboutit également à l'identification des limites de ce mouvement.

Précisions que les trois axes approfondis (climat, biodiversité et enjeux économique et social) débutent chacune pas une approche très globale pour progressivement se resserrer autour du sujet de la micro-maison. Elles font également l'objet d'une argumentation systématique des démarches pour aboutir aux données utilisées dans les calculs et les analyses quantitatives. Cette démarche invite le lecteur à reprendre du recul dans l'idée de partir des enjeux globaux plutôt que de prendre le sujet de la micro-maison comme point de départ.

2.1 L'enjeu Climat

Le dérèglement climatique représente la plus grande menace existentielle à laquelle l'humanité est confrontée actuellement, mettant en danger nos écosystèmes, notre sécurité alimentaire et nos conditions de vie (IPCC, 2023).

2.1.1 La situation à l'échelle mondiale

2.1.1.1 L'enjeu

L'industrialisation du Monde, accompagnée par une augmentation importante des populations, génère des impacts grandissant sur le dérèglement climatique. Les conséquences de plus en plus alarmantes font de ce sujet un enjeu majeur du XX^{ième} siècle. L'augmentation des températures

planétaires est estimée à 1,2°C en 2021 par rapport à la période préindustrielle (1850-1900) selon le Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC, 2023). Cette augmentation pourrait avoisiner les 1,5°C d'ici 2030 selon leurs dernières projections. Les conséquences sont nombreuses et alarmantes : élévation du niveau des océans, phénomènes météorologiques extrêmes, inondations et sécheresses, acidification des sols, perte en biodiversité… S'agissant d'un impact global (et non local), l'engagement pour en limiter son importance rencontre des difficultés à l'échelle de la gouvernance. Malgré tout, de nombreuses initiatives et mesures sont prises actuellement en ce sens au regard d'un large consensus sur l'importance de cet enjeu.

2.1.1.2 Les causes

Les émissions totales émises de gaz à effet de serre en 2021 seraient d'environ 38 000 Mt_{CO2eq} (European Commission. Joint Research Centre., 2022) ce qui correspondrait une empreinte carbone par personne d'environ 5 t_{CO2eq}/pers./an. Ce bilan pourrait toutefois être sous-évalué au regard des estimations de la Banque Mondiale (jusqu'à +20%). Le besoin en énergie finale mondiale est d'environ 116 000 TWh/an en 2019 (IEA, 2022b). La consommation en énergie primaire mondiale est quant à elle établie à 168 000 TWh/an au cours de cette même année (IEA, 2021b). Environ 80% de ces approvisionnements proviennent du charbon, du pétrole et de gaz naturel (respectivement 27%, 30% et 23%). La combustion de ces énergies fossiles est la principale source de ces émissions de gaz à effets de serres (environ 75%) (Ghosh, 2020). D'autres vecteurs d'émission peuvent être également mentionnés tel que les activités agricoles (émission de méthanes des élevages) ou encore une partie des émissions relatives à la production de ciment (réactions de calcination). Enfin, l'impact de la déforestation et de l'artificialisation des sols n'est pas négligeable au regard de la capacité du végétal à stocker le carbone. Plus de 43 millions d'hectares de forêts auraient disparu entre 2004 et 2017 (WWF, 2020). Notons qu'aucun front de déforestation n'a été identifié sur le territoire national.

Le secteur du bâtiment est un grand contributeur de ces impacts puisqu'il est responsable d'environ 33% de la consommation énergétique finale (incluant les matériaux de construction) et 38% des émissions de gaz à effet de serre en 2021 (IEA, 2022c). Le secteur des transports représente quant à lui environ 28% de la consommation énergétique et 20% des émissions de gaz à effet de serre (IEA, 2022d). L'occupation du bâtiment représenterait plus de 70% des émissions du secteur notamment en raison des besoins en chauffage mais aussi en éclairage et

en équipements électriques divers (IEA, 2018). Les 30% restants sont principalement à imputer aux matériaux de construction et à leur mise en œuvre. Deux tiers de cet impact (matériaux de construction) est généré par l'industrie du ciment pour la production de bétons, ce qui correspond à environ 8% du total des émissions mondiales tout secteur confondu (IPCC, 2023).

2.1.1.3 L'engagement

Face à cette crise climatique, de nombreux pays et organisations internationales ont pris des mesures pour réduire les émissions de gaz à effet de serre relatives aux activités humaines, à la source de ce dérèglement. Mentionnons à cet égard l'Accord de Paris adopté lors de la 21^{ième} Conférence des Parties (COP21) de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Tenue à Paris en décembre 2015, cet accord international est historique. Il a su rassembler toutes les parties (197 parties prenantes) et définir un cadre mondial pour limiter le réchauffement de la planète bien en dessous de 2 degrés Celsius par rapport aux niveaux préindustriels (et poursuivre les efforts pour limiter l'augmentation à 1,5°C). Selon les projections du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), ces objectifs sont ambitieux et nécessitent une réaction collective forte mais essentielle pour ne pas entrainer des dommages importants et irréversibles sur la planète et ses écosystèmes dont nous faisons partie. De nombreuses initiatives et organisations engagées pour la protection de l'environnement et plus particulièrement du climat, quelques fois à la marge des institutions scientifiques et politiques, sont encore plus alarmistes et agissent comme des lanceurs d'alertes (Greenpeace, WWF, CAN…).

2.1.2 La situation en France

2.1.2.1 Vue d'ensemble

Les émissions de gaz à effet de serre émis par la France étaient de 436 $Mt_{CO2}eq$ en 2019. L'empreinte carbone des Français, incluant les externalités serait même de 604 Mt_{CO2eq}/an (Statistiques gouvernement, 2022c). Les émissions totales par Français seraient alors d'environ 8.2 t_{CO2eq}/pers./an.

L'approfondissement relatif au bilan carbone s'accompagne d'un bilan énergétique en raison du lien fort qui existe entre ces deux dimensions. Le pays a besoin d'environ 1 600 TWh en énergie finale ce qui correspond actuellement à environ 2 600 TWh en énergie primaire (Commissariat général au développement durable, 2020b). 40% de l'énergie primaire (*Figure*

12) est représentée par le nucléaire et environ 13 % par des sources d'énergies renouvelables. Les quelques 47% restant proviennent des énergies fossiles. La proportion d'électricité utilisée dans les mix énergétiques nationaux influence significativement le rapport entre énergie primaire et finale en raison des rendements de production d'électricité.

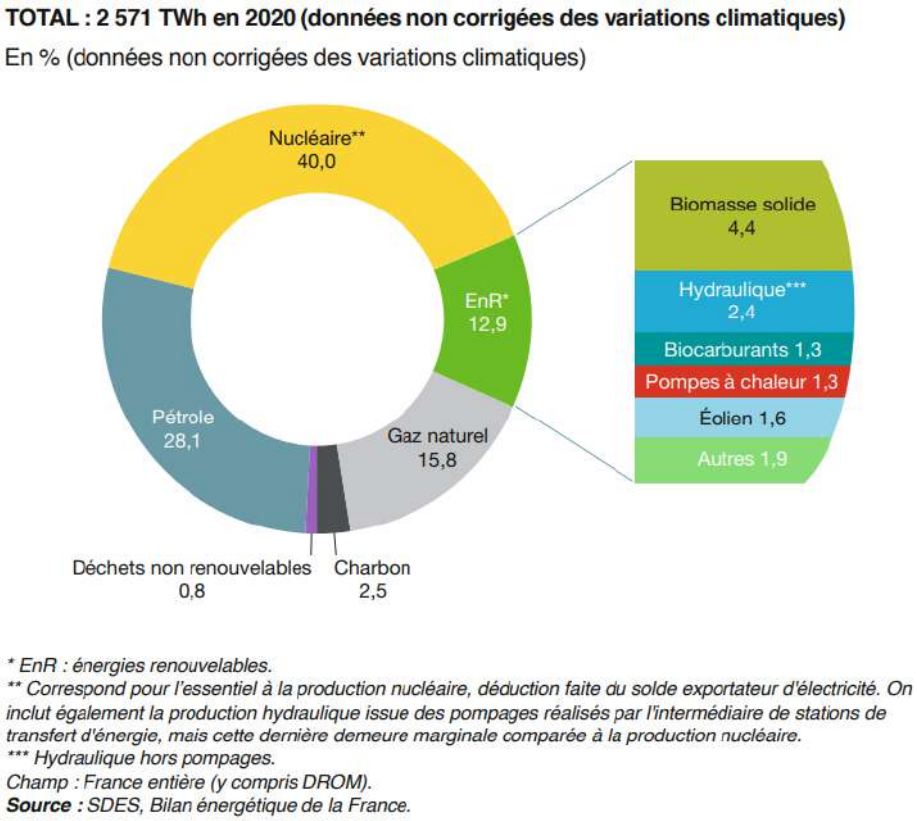


Figure 12 : Répartition de la consommation en énergie primaire en France

La France, de concert avec ses partenaires de l'Union Européenne, vise à réduire ses impacts. Au regard de son engagement lors de la COP21, elle mène des actions pour parvenir à la « neutralité carbone » d'ici 2050 (Objectif zéro émission nette de CO_2). Celle-ci est entendue comme « l'atteinte de l'équilibre entre leS émissions de gaz à effet de serre et le puits carbone ». Elle se concrétise au travers de la « Stratégie nationale bas-carbone » et la « Programmation pluriannuelle de l'énergie » entrée en vigueur par l'adoption de la (LOI n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat (1), 2019). La réduction de 40% de la consommation en énergie fossile d'ici 2030, la fin de la production d'électricité à partir du charbon en France métropolitaine en 2022, la facilitation du développement des énergies

renouvelables et la limitation à 50% d'énergie nucléaire reporté à 2035 sont autant de déclinaisons concrètes de cet engagement.

2.1.2.2 Le résidentiel et le transport

Les impacts du résidentiel ainsi que ceux relatifs à la circulation de véhicules particuliers sont approfondie à cette section. En effet, ils sont intimement liés à l'évaluation du potentiel des micro-maisons menée à la suite.

Les données d'entrée et l'analyse

Le secteur du bâtiment représente environ 45% de la consommation en énergie finale (*Figure 13*) et 23% des émissions de gaz à effet de serre en 2021 (Ministères Écologie Énergie Territoires, 2022a). La consommation énergétique du « résidentiel » représente environ 65% de ce secteur (Commissariat général au développement durable, 2020b). Les secteurs du transport et de l'industrie représentent la plus grande part des consommations énergétiques restantes. Le transport représente à lui seul environ 27% de la consommation en énergie et 30% des émissions de gaz à effet de serre en 2022 (Commissariat général au développement durable, 2022d). Au regard de ces ratios, l'intensité carbone du secteur des transports est plus importante que celle du « bâtiment » ce qui en fait le plus impactant en France.

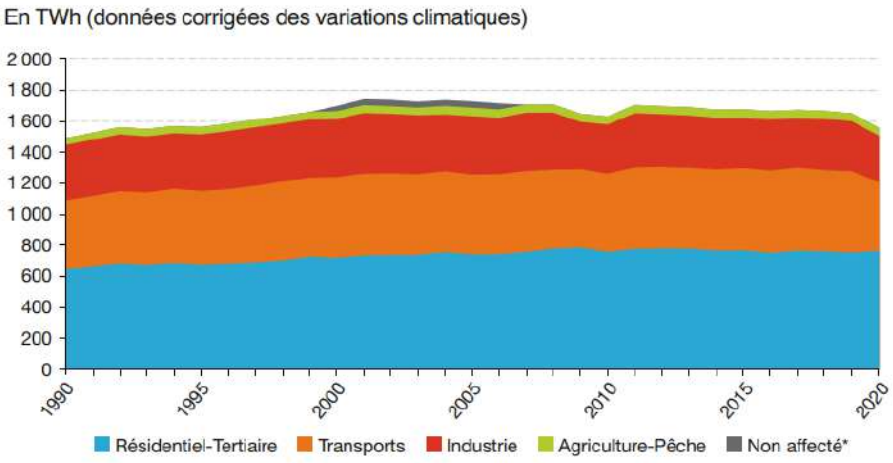


Figure 13 : Consommation en énergie finale par secteur en France

La part énergétique attribuée au secteur du bâtiment par pays est très influencée par la variable climatique en raison de la forte part dédiée au chauffage. Notons aussi que les

externalités ne sont pas incluses dans ces calculs ce qui tend à augmenter la proportion inhérente à ce secteur en France, au détriment du secteur de l'industrie. Un grand nombre de produits manufacturés sont importés de l'étranger et les industries lourdes telles que les sidérurgies, métallurgies et sites de transformations chimiques ont largement déserté le territoire national au cours de ces 50 dernières années (Lamard & Stoskopf, 2007).

Au regard de la proportion de gaz à effet de serre émis par le secteur du bâtiment en France, on constate aussi que son intensité carbone se montre un peu moins importante que pour l'ensemble des autres secteurs. Cela peut s'expliquer par la présence d'un mix électrique composé à plus de 85% d'énergie décarbonée (nucléaire et renouvelable) (Commissariat général au développement durable, 2020b). Or, parmi les quelques 466 TWh d'électricité produites en 2021 (RTE, 2022), environ 85% irait à destination du « bâtiment » (Statistiques gouvernement, 2023). 36% des 466 TWh irait plus spécifiquement à destination du résidentiel, moins consommateur que le secteur du tertiaire en éclairage et équipements électroniques (Statistiques gouvernement, 2023). A l'issue de cette analyse « macro » et très générale, il est d'ailleurs possible de déduire que le tertiaire est bien moins contributeur du dérèglement climatique que le résidentiel (moins consommateur en énergie et en grande partie alimenté en électricité, moins impactante).

La production de chaleur pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire à destination du résidentiel est le plus grand poste d'impacts. En 2022, environ 83% de la consommation liée à l'occupation du résidentiel est représentée par le besoin en chaleur (Commissariat général au développement durable, 2022a), ou environ 80% en considérant l'ensemble du cycle de vie du bâtiment. De plus, ces besoins sont encore largement assurés par les énergies fossiles. En 2021, le gaz naturel fournit 33% du besoin total en chaleur pour le résidentiel, le fioul 10% et 20% pour les énergies renouvelables thermiques (essentiellement le bois) (Commissariat général au développement durable, 2022a). Le restant est assuré par la fourniture électricité (RTE, 2022). Ainsi, environ la moitié de l'énergie électrique à destination du résidentiel est consommée pour la fourniture de chaleur, le reste sert à alimenter les divers équipements électriques et à assurer l'éclairage. Pour des raisons historiques, le chauffage électrique, dispose d'une place encore relativement importante au sein du parc Français (investissements massifs pour le développement des centrales nucléaires à partir des années 50). Si une production de chaleur

électrique en direct ne fait que peu de sens au regard du coût de ce vecteur énergétique, les pompes à chaleur commencent timidement à s'y substituer (~8% de l'électricité consommée pour le résidentiel (Statistiques gouvernement, 2023)).

Les émissions relatives aux matériaux de construction des bâtiments sont principalement inhérentes à la production de ciment. 17,5 millions de tonnes (Mt) de ciment ont été produits en 2021 dont environ 50% pour le résidentiel (France ciment, 2022) et la production d'une tonne de ciment générerait environ 600 kg de CO2 (Guiraud, 2020). Ainsi, la production de ciment à destination des bâtiments résidentiels avoisine les 5 Mt de CO_2 soit environ 2,5% des émissions totales en France. Notons que la production de métaux pour le secteur n'est pas anodine non plus (~ 1%). A titre d'exemple, environ 35% de l'impact relatif à la production de béton armé peut lui être attribué (Maitenaz et al., 2021). Toutefois ce poste n'est pas considéré dans cette étude et est généralement imputé au secteur industriel dans les statistiques officielles.

Concernant le secteur des transports, son intensité carbone élevée (comparativement au secteur du bâtiment) s'explique par un parc automobile encore très largement composé de véhicules thermiques alimentés aux carburants pétro-sourcés. Environ 47% de la consommation énergétique et 53% de l'impact carbone (~62 Mt_{CO2eq} en 2022) des transports est à attribuer à la circulation routière des véhicules particuliers. Le restant est principalement à attribuer aux poids lourds et véhicules utilitaires (Commissariat général au développement durable, 2022d).

Finalement, les données récoltées et leur analyse permet de dresser un bilan énergétique des secteurs du résidentiel et des véhicules particuliers associés. Celui-ci est résumé dans le *Tableau 2* ci-dessous. Les émissions de gaz à effet de serres résultantes sont cohérentes (légèrement surévaluées) avec l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre de 2021 publié par le gouvernement (Statistiques gouvernement, 2022b). L'impact carbone est finalement réduit par habitant considérant la population française en 2023 (INSEE, 2023c).

Tableau 2 : Bilan des consommations énergétiques et émissions de gaz à effet de serre du résidentiel et des véhicules particuliers

Poste	Consommation énergie finale	Intensité carbone	Emissions gaz à effet de serre	Emissions gaz à effet de serre par habitant
Chaleur électrique[1]	90 TWh.an^{-1}	147 g_{CO2eq}.kWh^{-1}	13 Mt_{CO2eq}.an^{-1}	0,19 t_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}
Chaleur gaz naturel[2]	156 TWh.an^{-1}	227 g_{CO2eq}.kWh^{-1}	35 Mt_{CO2eq}.an^{-1}	0,52 t_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}
Chaleur fioul[3]	48 TWh.an^{-1}	324 g_{CO2eq}.kWh^{-1}	15 Mt_{CO2eq}.an^{-1}	0,22 t_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}
Chaleur au bois[4]	93 TWh.an^{-1}	30 g_{CO2eq}.kWh^{-1}	3 Mt_{CO2eq}.an^{-1}	0,04 t_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}
Total chaleur - résidentiel	**387 TWh.an^{-1}**	**170 g_{CO2eq}.kWh^{-1}**	**66 Mt_{CO2eq}.an^{-1}**	**0,975 t_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}**
Electricité équipements et éclairage	77 TWh.an^{-1}	20 g_{CO2eq}.kWh^{-1}	1,5 Mt_{CO2eq}.an^{-1}	0,02 t_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}
Total exploitation - bâtiment résidentiel	**464 TWh.an^{-1}**	**144 g_{CO2eq}. kWh^{-1}**	**67 Mt_{CO2eq}.an^{-1}**	**1,00 t_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}**
Production de ciment	9 Mt.an^{-1} (dont 15 TWh)	600 g_{CO2eq}.kg^{-1}	5,5 Mt_{CO2eq}.an^{-1}	0,08 t_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}
Total - résidentiel[5]	**479 TWh.an^{-1}**	**152 g_{CO2eq}. kWh^{-1}**	**73 Mt_{CO2eq}.an^{-1}**	**1,08 t_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}**
Véhicules particuliers	**203 TWh.an^{-1}**	**307 g_{CO2eq}.kWh^{-1}**	**62 Mt_{CO2eq}.an^{-1}**	**0,91 t_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}**
Totaux	**682 TWh.an^{-1}**	**197 g_{CO2eq}.kWh^{-1}**	**135 Mt_{CO2eq}.an^{-1}**	**2,00 t_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}**

Intensité carbone du ciment selon (France ciment, 2022)
Intensité carbone des autres postes selon (ADEME, 2018)
[1] : Inclut la consommation des pompes à chaleur
[2] : Inclut 20% de la chaleur produite par les réseaux de chaleur
[3] : Inclut le gaz de pétrole liquéfié
[4] : Inclut 80% de la chaleur produite par les réseaux de chaleur (un peu surestimé), la part du solaire thermique est négligeable
[5] : l'ensemble des émissions de la production de ciment est inclus dans l'intensité carbone ramenée au kwh consommé.
L'intensité carbone du chauffage électrique considère le pic de consommation que son utilisation engendre en hiver (sollicitation de centrales à énergie fossile).

Les interprétations et l'engagement

Les secteurs concernés par notre étude émettent environ 135 Mt_{CO2eq}/an ce qui représente donc environ 2 t_{CO2}/an par Français en moyenne (INSEE, 2023c). L'impact relatif à l'habitat est légèrement supérieur à celui lié à la circulation en voiture (respectivement 55% et 45%). Précisons que le bilan relatif à la production de la voiture est supposé négligeable dans cette étude. Une estimation rapide laisse toutefois apparaître que le transport en véhicule particulier pourrait se rapprocher de l'impact relatif à l'habitat en intégrant cette dimension. Retenons donc que chacun de ces deux postes émettent environ 1 t_{CO2eq}/an par Français. Le passage aux énergies « décarbonées » pour la production de chaleur dans le logement permettrait de diminuer cette empreinte d'au moins 40%. Enfin, la substitution du béton conventionnel par l'utilisation de matériaux biosourcés permettrait d'une part d'éviter les 5% d'émissions dont il est responsable et de stocker du carbone afin d'apporter une contribution positive au bilan carbone.

Les déclinaisons concrètes de l'engagement de la France à réduire ses impacts relatifs aux secteurs concernés sont nombreuses. La construction de bâtiment à haute performance énergétique, la rénovation énergétique des bâtiments existants et l'intégration de systèmes de production d'énergie renouvelable sont les principales cibles. A titre d'illustration citons l'actualisation de la règlementation thermique et environnementale avec la « RE2020 » exigeant la mise en œuvre d'enveloppes thermiques plus performantes et de matériaux biosourcés pour les nouvelles constructions. Mentionnons également l'interdiction d'installer de nouvelles chaudières fioul (ou charbon) depuis juillet 2022.

Du côté des systèmes de production d'électricité renouvelable et décentralisée, notons qu'ils prennent de plus en plus de place dans le paysage énergétique national. Précisons qu'au même titre que pour la production d'une voiture, leur besoin en énergie pour leur production est largement compensé par leur capacité à en produire au cours de leur exploitation. Le temps de retour énergétique du solaire photovoltaïque (sans batterie) est le plus long parmi les différents systèmes industrialisés et il serait actuellement inférieur à 3 ans (IEA, 2021a). Le solaire photovoltaïque est aussi très adapté à une production décentralisée et intégrée au bâtiment (valorisation des surfaces de toiture). Ainsi, des mécanismes d'encouragement sont mis en œuvre en ce sens avec une prime à l'autoconsommation, une réduction de la taxe sur la valeur ajoutée (TVA) et un tarif préférentiel de rachat de l'électricité (Ministère de l'économie et des finances, 2023). Le bilan de la production de batterie de stockage est toutefois moins évidant. Elles sont pourtant essentielles pour accompagner le développement des systèmes solaires photovoltaïques et éoliens en raison de l'intermittence de leur production. Leur temps de retour énergétique pourrait être supérieur à 10 ans (Treiner, 2016) et serait très variable selon leur sollicitation et la façon dont elles sont produites.

De nombreuses initiatives visent également à réduire l'impact carbone du transport routier en France. Des normes européennes strictes sur les émissions gaz à effets de serres (CO2eq) sont appliquées pour les véhicules neufs. La fin des voitures neuves à moteurs thermiques est prévue dès 2035 (Vie publique, 2022). Des investissements se font à l'échelle européenne dans les infrastructures de recharge pour les véhicules électriques et dans la R&D à destination de technologie de transport propre et de carburants alternatifs. Des mécanismes incitatifs

favorisent aussi la transition vers la mobilité douce (primes à l'achat, avantages fiscaux, exemptions de péages, zones de stationnement prioritaires, électrification des flottes de véhicules publiques, facilitation du co-voiturage). Les transports en commun et les infrastructures cyclables se multiplient. Enfin des mécanismes contraignants émergent de plus en plus à destination directe des consommateurs (restriction de circulation dans certaines grandes villes pour les véhicules les plus polluants, taxe « carbone » sur les carburants fossiles).

2.1.3 Le potentiel des micro-maisons

Un déploiement plus massif des micro-maisons pourrait participer à réduire ces émissions de gaz à effet de serre au regard des impacts du secteur du bâtiment et des transports. Le potentiel relatif au secteur des transports est toutefois plus difficile à évaluer compte tenu des contraintes d'implantation et de mobilité évoquées à la partie précédente. Par conséquent la quantification de cette dimension n'est pas conservée dans le champ de cette étude.

Concernant l'habitat, il est possible de comparer son impact moyen pour un Français, estimé à la section précédente (1 t_{CO2eq}/an/pers), à celui d'une personne vivant en micro-maison. Il est supposé que ce type d'habitat est occupé par deux personnes. En effet, la partie précédente a montré que le profil du foyer moyen est composé de deux personnes vivant en couple (cf. 1.4). Les caractéristiques utiles de la micro-maison de référence sont également extraites de la partie précédente (cf. 1.7). La variation des températures extérieures, utilisée pour l'évaluation du besoin en chauffage correspond à une moyenne en France (COSTIC, 2023). Le *Tableau 3* ci-dessous résume les données d'entrées et les résultats à la base du bilan.

Tableau 3 : Données d'entrées et évaluation des besoins pour le bilan carbone de la micro-maison de référence

Poste	Valeur
Durée de vie	20 ans
Bois de construction	2 000 kg
Conductance thermique	50 $W.K^{-1}$
Degrés Jours Unifiés*	2 500 °C.jr
Besoin en chauffage	3 000 $kWh.an^{-1}$
Consommation eau chaude (à 55°C)	50 $l.jr^{-1}.foyer^{-1}$
Consommation énergie pour eau chaude sanitaire	1 000 $kWh.an^{-1}$
Autres consommations électriques (y c. cuisinière)	1 200 $kWh.an^{-1}$

* : selon le climat moyen en France (COSTIC, 2023)

Le *Tableau 4* ci-dessous présente la synthèse des bilans carbone suivant les mix énergétiques. Un rendement (η) est appliqué suivant les cas pour considérer les pertes relatives à la transformation, la distribution et la diffusion, puisque nous partons des besoins (énergie utile) présentés au *Tableau 3*. Précisons également que l'intensité carbone du chauffage électrique (utilisée également à la section précédente) est plus élevée que l'intensité carbone de l'électricité à destination des équipements divers. En effet, elle considère sa participation au pic de consommation hivernale (sollicitation de centrales à énergies fossiles quand la puissance appelée est trop importante). Enfin, tel qu'évoquée à la partie précédente (cf. 1.7), une alimentation énergétique 100% électricité, issue du réseau, est actuellement la configuration la plus demandée. Le résultat relatif à celui-ci sera donc à considérer en premier lieu.

Tableau 4 : Synthèse des bilans carbone suivant le mix énergétique de la micro-maison de référence

100% ELECTRICITE

Poste	Source d'énergie	Consommation	Intensité carbone	Emission de GES	Emission GES par occupant
Bois de construction*	-	2 200 kg	- 1 100 $g_{CO2eq}.kg^{-1}$	- 120 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	- 60 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Remorque acier galvanisé*	-	750 kg	3 500 $g_{CO2eq}.kg^{-1}$	130 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	65 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Consommation énergie de chauffage	Réseau électrique	3 050 $kWh.an^{-1}$ (η=98%)	147 $g_{CO2eq}.kWh^{-1}$	448 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	224 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Consommation énergie eau chaude sanitaire	Réseau électrique	1 000 $kWh.an^{-1}$	20 $g_{CO2eq}.kWh^{-1}$	20 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	10 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Autres consommations électrique (y c. cuisinière)	Réseau électrique	1 200 $kWh.an^{-1}$	20 $g_{CO2eq}.kWh^{-1}$	24 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	12 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
TOTAL				**500 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$**	**250 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$**

GAZ / ELECTRICITE

Poste	Source d'énergie	Consommation	Intensité carbone	Emission de GES	Emission GES par occupant
Bois de construction*	-	2 200 kg	- 1 100 $g_{CO2eq}.kg^{-1}$	- 120 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	- 60 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Remorque acier galvanisé*	-	750 kg	3 500 $g_{CO2eq}.kg^{-1}$	130 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	65 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Consommation énergie de chauffage	Propane/ butane	3 500 $kWh.an^{-1}$ (η=85%)	270 $g_{CO2eq}.kWh^{-1}$	950 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	475 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Consommation énergie eau chaude sanitaire	Propane/ butane	1 100 $kWh.an^{-1}$ (η=91%)	270 $g_{CO2eq}.kWh^{-1}$	300 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	150 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Autres consommations électrique (y c. cuisinière)	Réseau électrique	1 200 $kWh.an^{-1}$	20 $g_{CO2eq}.kWh^{-1}$	24 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	12 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
TOTAL				**1 285 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$**	**640 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$**

BOIS / ELECTRICITE

Poste	Source d'énergie	Consommation	Intensité carbone	Emission de GES	Emission GES par occupant
Bois de construction*	-	2 200 kg	- 1 100 $g_{CO2eq}.kg^{-1}$	- 120 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	- 60 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Remorque acier galvanisé*	-	750 kg	3 500 $g_{CO2eq}.kg^{-1}$	130 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	65 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Consommation énergie de chauffage	Bois	3 750 $kWh.an^{-1}$ (η=80%)	30 $g_{CO2eq}.kWh^{-1}$	112 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	56 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Consommation énergie eau chaude sanitaire	Réseau électrique	1 000 $kWh.an^{-1}$	20 $g_{CO2eq}.kWh^{-1}$	20 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	10 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Autres consommations électrique (y c. cuisinière)	Réseau électrique	1 200 $kWh.an^{-1}$	20 $g_{CO2eq}.kWh^{-1}$	24 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	12 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
TOTAL				**170 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$**	**85 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$**

GES : gaz à effet de serre
Intenté carbone des vecteurs énergétiques selon (ADEME, 2018)
* : intensité carbone selon fiches FDES – l'ensemble de l'impact est attribué à l'habitat et lissé sur sa durée de vie

Le bilan carbone inclut uniquement les flux majeurs du bilan (excluant couverture, équipements techniques et aménagement) mais permet de déduire qu'**une micro-maison mobile** (sur remorque) en structure bois pourrait émettre **environ 500 kg_{CO2eq}/an** avec une alimentation 100% électrique issue du mix Français. L'utilisation de bouteilles de butane ou propane pour la production de chaleur ferait grimper ces émissions annuelles à plus d'1 tonne quand l'utilisation du bois pour le chauffage permettrait de les réduire à moins de 200 kg. Mentionnons également que le bois comme matériau de base de la micro-maison permettrait de compenser en grande partie les émissions relatives à la production de la remorque en acier galvanisé. Précisons que son bilan carbone positif est à mettre au crédit d'une exploitation forestière durable en France. De plus, le traitement en fin de vie de ce matériau n'a pas été considéré en raison des grandes incertitudes et variations inhérentes à cette phase. Ce partis pris consiste donc à supposer que le bois sera remployé aussi longtemps que la situation climatique reste préoccupante (rémission du carbone stocké lorsque le bois se décomposera ou lorsqu'il sera valorisé comme combustible).

Les 500 kg_{CO2eq} émis par l'habitat de référence (100% électricité) annuellement peuvent être répartis à part égale par occupant **ce qui revient à 250 kg_{CO2eq}/an d'émission par personne** selon l'hypothèse d'une occupation en couple. En comparaison, la section précédente *(Tableau 2)* a montré qu'en moyenne un Français émet 1 t_{CO2eq}/an concernant ce poste (habitation).

Ainsi, en comparaison à un habitat conventionnel (hors transport), la micro-maison (100% électricité) permettrait de **diviser par 4 les émissions** de chacun des occupants avec une réduction de 750 kg_{CO2eq} par personne. Toujours en considérant cette hypothèse d'une occupation en couple, la réduction des émissions annuelles serait donc de 1,5 t_{CO2eq} par micro-maison implantée. Précisons qu'une comparaison du bilan carbone avec celui relatif à un bâtiment neuf serait plus pertinent et diminuerait cet écart au regard de l'actualisation réglementaire (RE2020). La grande variété des bilans relatifs à ces nouvelles constructions a motivé le choix de ne pas orienter l'étude en ce sens.

Enfin, **l'utilisation du bois** pour assouvir les besoins en chauffage permettrait de réduire significativement le bilan carbone de la micro-maison. Si bien qu'une micro-maison dénuée de

remorque en acier (donc non mobile) **permettrait d'approcher le zéro émission net** (hors éventuelle fondations légères métalliques).

Il reste que le transport est un autre grand contributeur avec encore une fois presque 1 t_{CO2e}q/an en moyenne par habitant. Un rapprochement de son lieu de travail, l'utilisation des moyens de mobilité bas carbone ou encore la diminution de la consommation en produits manufacturés sont des leviers également important pour diminuer l'impact de ce poste.

2.2 L’enjeu Biodiversité

La perte de biodiversité et ses conséquences figurent également parmi les principales préoccupations de ces prochaines décennies au regard de la démographie mondiale. Cette dimension englobe un grand nombre d’impacts sous-jacents (ou intermédiaires). De plus, elle est abstraite pour beaucoup d’entre nous. Il s’agit pourtant d’un pilier majeur de développement durable et fortement influencé par l’habitat et les transports. Ces derniers sont en prise direct avec l’identification du potentiel des micro-maisons. Ainsi, quelques précisions sont apportées en prélude.

Selon la définition de la Convention sur la Diversité Biologique (United Nations, 1992), la biodiversité fait référence à la variété et à la diversité de la vie sur Terre, à tous les niveaux d'organisation biologique, du gène à l'écosystème. Cette notion englobe la diversité des espèces de plantes, d'animaux, de champignons et de micro-organismes, ainsi que la diversité génétique au sein de chaque espèce, la diversité des écosystèmes et la diversité des interactions entre les organismes vivants et leur environnement. Elle reflète donc la santé du vivant, dont nous faisons partis et nous dépendons, sur notre planète.

2.2.1 La situation à l’échelle mondiale

2.2.1.1 L’enjeu

Comme souvent concernant la planète sur laquelle nous vivons, il s’agit d’équilibre et d’interdépendance. Si la perte de biodiversité peut être considérée en complément de la problématique du dérèglement climatique, un lien fort existe entre ces deux grands phénomènes (IPBES-IPCC, 2021). La perte de biodiversité perturbe la régulation du climat et favorise l’émergence de catastrophes climatiques. Inversement, le dérèglement climatique aggrave la perte de cette biodiversité en perturbant l’équilibre des écosystèmes dont elle dépend. Le danger ultime serait donc d’en arriver à un point où l’équilibre de quelques écosystèmes clés serait rompu, entrainant une réaction en chaîne par interdépendances et accélérant encore davantage le dérèglement climatique. En plus de son influence sur le climat, la perte de services écosystémiques essentiels à la vie humaine tel que la purification de l’air et de l’eau, la productivité agricole (pollinisation, fertilité des terres, régulation des ravageurs), la fourniture de médicaments ou encore de matériaux biologiques en sont les conséquences concrètes. De

plus, elles tendent à se renforcer mutuellement et rendent les écosystèmes plus vulnérables à des perturbations liées au climat, aux maladies ou aux espèces invasives par exemples.

A l'échelle globale, le constat est sévère. La perte de biodiversité s'accélère et les écosystèmes subissent des pressions croissantes. De nombreuses espèces sont en danger d'extinction, et certaines ont déjà disparu. Le taux d'extinction actuel des espèces serait jusqu'à mille fois supérieur au taux d'extinction naturel qui prévalait avant l'influence humaine (IPBES, 2019). Plus d'un million d'espèces sont actuellement menacées d'extinction, dont certaines pourraient disparaître dans les prochaines décennies si des mesures appropriées ne sont pas prises pour les protéger et préserver leurs habitats (IPBES, 2019).

2.2.1.2 Les causes

Vue d'ensemble

Les causes de la perte de biodiversité sont multiples et loin d'être uniquement liées au dérèglement climatique. Beaucoup de phénomènes locaux, inter-corrélés et complexes peuvent être mis en cause. Par conséquent, différentes méthodologies d'évaluation et d'exploitation de données existent pour les évaluer. Selon la méthode IMPACT 2002+ (Jolliet et al., 2003) utilisée par les scientifiques et experts en Analyse de Cycle de Vie, les sources de dommages sur la biodiversité peuvent être évaluées par les biais d'impacts intermédiaires orientés « problèmes ». Ceux-ci sont obtenus en associant des facteurs de caractérisation aux divers flux « élémentaires » émis dans la biosphère par chacun des processus considérés dans l'Inventaire du Cycle de Vie. Les impacts directs sur la santé humaine sont exclus de cette étude (émissions cancérigènes, radioactives ou provoquant des problèmes respiratoires). A titre informatif, le seul type d'émission qui pourrait être préoccupant à cet égard, dans le champ de cette étude, est l'émission de particules fines causée notamment par la combustion du charbon et du bois.

Ainsi, les pollutions émises dans l'air, l'eau et les sols ainsi que l'occupation des sols par les infrastructures et les terres agricoles sont autant de flux à caractériser. Les impacts intermédiaires concernés sont « l'appauvrissement de la couche d'ozone », «l'écotoxicité aquatique », « l'écotoxicité terrestre », « l'acidification des sols », « l'acidification des eaux », « l'eutrophisation des eaux » et enfin « l'occupation des sols ». Ces impacts peuvent ensuite être pondérés pour fournir un indicateur global sur la qualité des écosystèmes (impact orienté

« dommage »). Cet indicateur global permet finalement d'estimer l'impact sur la perte en biodiversité. Cette étude s'inspire de cette méthode tout en considérant les dernières avancées en matière de caractérisation des impacts. La *Figure 14* schématise la méthode d'évaluation utilisée.

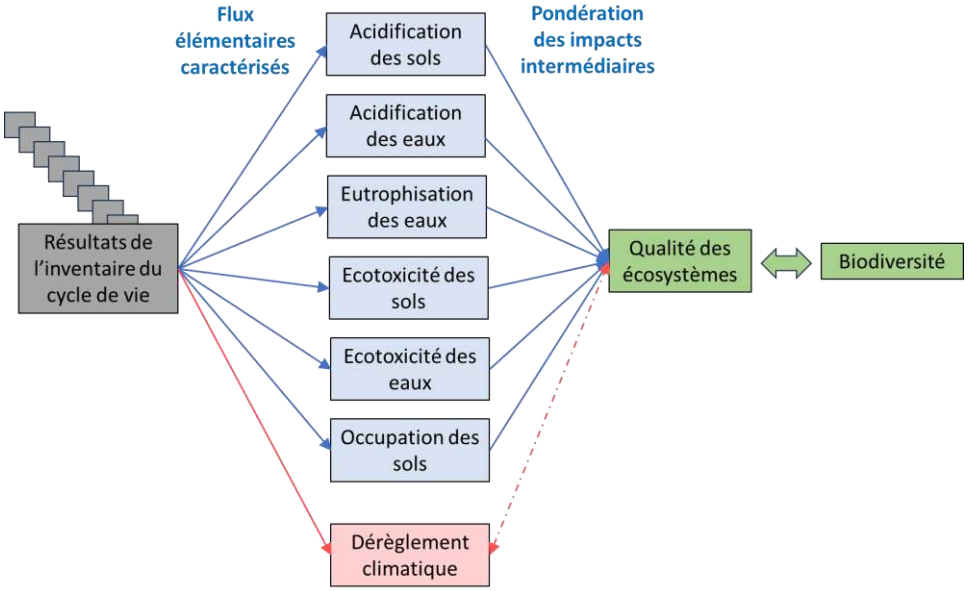


Figure 14 : Schéma simplifié de la méthode IMPACT 2002+ utilisée en vue d'évaluer les impacts sur la biodiversité

Notons que le problème de l'appauvrissement de la couche d'ozone est aujourd'hui quasiment résolu au regard des mesures prises (interdiction des hydrocarbures halogénés) à la suite du protocole de Montréal de 1987 (UNEP, 2021). A l'image des impacts sur le dérèglement climatique, il s'agissait d'impacts globaux (et non locaux). Une entente à l'échelle internationale a permis de résoudre une grande partie de ce problème. Cette réussite est souvent citée comme exemple positif lorsqu'il s'agit de se mettre en ordre de bataille pour régler le problème du dérèglement climatique. Ce dernier est toutefois bien plus imbriqué dans l'économie mondiale en raison de son lien étroit avec les besoins énergétiques des activités humaines.

De manière générale, la perte de biodiversité résulte principalement de la destruction et de la fragmentation des habitats naturels dus à l'urbanisation, la déforestation et l'expansion agricole, ainsi que de l'exploitation excessive des ressources naturelles et l'émission de polluants, par la combustion du charbon, du pétrole et du bois notamment. Les espèces envahissantes et les

changements climatiques, évoqués précédemment sont des facteurs aggravants (IPBES-IPCC, 2021).

Les secteurs du bâtiment et des transports

Près de la moitié de la déforestation dans le monde est due à **l'expansion urbaine**, à la construction des bâtiments et aux infrastructures dédiées au transport (OECD, 2020). Environ 43 000 km² de terres sont artificialisées chaque année à l'échelle mondiale (WWF, 2020). Plus globalement, ces constructions détruisent les habitats naturels et fragmentent les écosystèmes. L'impact est d'autant plus sévère que le phénomène n'est pas directement réversible. Le processus d'un retour à l'état naturel est long. Par ailleurs, les revêtements urbains favorisent le ruissellement des eaux, posent des problèmes d'érosion des sols et gênent le rechargement des nappes phréatiques. De plus, les constructions en zones inondables ralentissent la propagation de l'onde de crue et augmentent le niveau de la ligne d'eau. Cela provoque une aggravation des épisodes de crues, notamment les crues cévenoles, et augmente les dégâts matériels et humains (CEREMA, 2016). A noter également que l'occupation des sols impacte directement les sociétés ce qui n'est pas évalué ici. Les catastrophes naturelles évoquées ci-dessus, la perturbation du cycle de l'eau, la réduction de la productivité agricole et la dépendance accrue aux réseaux et infrastructures en sont les facteurs principaux. Le dérèglement climatique développé à la section précédente (cf. 2.1) se voit aussi impacté par la diminution du potentiel de stockage en carbone.

A l'occupation des sols s'ajoute la pollution générée par la combustion du charbon, du pétrole et du bois. Elle est la principale source d'émissions en **composés soufrés et azotés** (oxydes d'azote NOx et oxydes de soufre SOx). Ces composés émis dans l'air sont de puissants gaz à effet de serre ce qui explique l'impact plus important du charbon et du pétrole sur le dérèglement climatique par rapport au gaz naturel (*Tableau 2*). De plus, ils se transforment en substances acidifiantes en réagissant avec l'eau présente dans l'atmosphère (acide sulfuriques et nitrique). Elles font partie des grandes causes de l'acidification des sols et des eaux en raison des quantités émises et de leurs nocivités.

La combustion du charbon et de biomasse solide disposent du plus grand pouvoir émissif suivit par le pétrole et les biocarburants. Ces derniers sont, en moyenne, 10 fois moins émetteurs en composés soufrés (variable selon les dérivés du pétrole utilisés). Le secteur du bâtiment consomme environ 35% des 45 000 TWh de charbon et 7% des 52 000 TWh de pétrole (IEA,

2021b, 2022c). Le bois consommé par les ménages représente environ 6 600 TWh soit 12% de l'énergie primaire consommée par le secteur (IEA, 2022c). Quant au secteur du transport, plus de 90% de sa consommation provient du pétrole ce qui correspond à plus de 55% de la consommation totale en pétrole (IEA, 2022d). Les quantités de polluants émises présentent de grandes disparités selon les régions du Monde (OECD, 2022) et l'impact final sur la biodiversité nécessite d'acquérir une approche spatiale.

En 2020, 80 millions de tonnes de composés soufrés (SOx) et 30 millions de tonnes de composés azotés (NOx) auraient été émis (OECD, 2022). Les secteurs du bâtiment et des transports représenteraient plus de la moitié des NOx émis et un peu moins de la moitié des SOx (IEA, 2021b, 2022c, 2022d).

Notons aussi qu'au-delà d'impacter la biodiversité, l'acidification en question dégrade les bâtiments.

D'autres sources de pollution sont en cause concernant ces catégories d'impact intermédiaires (acidification des eaux et des sols). Citons la production d'ammoniaque (NH_3) émis par le secteur agricole (engrais) et l'industrie, fortement nocif et émis à hauteur d'environ 65 millions de tonnes en 2020 (OECD, 2020). Les impacts relatifs à la déforestation ainsi que les drainages acides des activités minières traitant des minéraux sulfurés sont aussi mis en cause.

Il reste que les émissions de composés azotés et soufrés des secteurs du bâtiment et des transports, issues de la combustion des énergies fossiles et du bois, représenteraient plus de 30% des impacts sur l'acidification des eaux et des sols. Cette estimation est obtenue en considérant les facteurs de caractérisation des substances les plus impactantes, incluant celles relatives à la production d'ammoniaque (P.-O. Roy et al., 2014).

Ainsi, **les secteurs du bâtiment et des transports contribuent grandement à la perte en biodiversité à travers l'occupation des sols et l'acidification des milieux.** Retenons aussi que ces impacts intermédiaires (acidification des milieux) ne sont pas les seuls mis en cause au regard de l'ensemble des activités humaines. L'émissions de produits chimiques, de métaux lourds et d'effluents (d'élevage ou en eaux usées) ou encore l'érosion des sols en général sont sources d'impacts sur l'écotoxicité des eaux et des sols et sur l'eutrophisation des eaux (*Figure 14*), eux-mêmes contributeurs non négligeables à la dégradation de cette biodiversité.

2.2.1.3 L'engagement

Face à cette situation critique, de nombreuses initiatives internationales, régionales et nationales sont menées pour protéger la biodiversité et préserver les écosystèmes. Des efforts de conservation, de restauration des habitats et de gestion durable des ressources naturelles sont fournis. Des dispositifs contraignants sur les activités les plus polluantes sont également mis en œuvre.

La conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement ou « sommet de la Terre de Rio de Janeiro » tenue en 1992 s'est penchée sérieusement sur la question de la perte en biodiversité. Elle a abouti à trois conventions, toutes liées à cette dimension : « la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques » (CCNUCC), la « convention sur la biodiversité biologique » (CDB) et la « convention sur la lutte contre la désertification » (CLD). Notons que la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques se concentrait principalement sur le lien entre biodiversité et climat. La convention sur la diversité biologique est l'accord international le plus complet en matière de biodiversité. Elle a établi des objectifs et des engagements pour la conservation de la biodiversité, l'utilisation durable des ressources biologiques et le partage équitable des avantages découlant de l'utilisation de la biodiversité. Elle visait notamment à protéger les forêts tropicales, les zones humides et les récifs coralliens. La convention des Nations unies sur la lutte de la désertification (CNULCD) vise à lutter contre la désertification, la dégradation des terres et la sécheresse. Ces conventions ont fait l'objet d'un large consensus (197 parties prenantes pour les CCNUCC et CLD et 196 pour la CDB) et sont à la base de nombreuses initiatives.

Une plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) a été créée 2012 pour évaluer l'état de la biodiversité, les services écosystémiques et les interactions entre eux. Elle fournit des informations scientifiques essentielles pour orienter les politiques en matière de biodiversité.

D'autres organisations œuvrent pour la biodiversité comme le Fonds Mondial pour la Nature (WWF), l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, GreenPeace ou encore BirdLife. Ces organisations jouent un rôle crucial dans la sensibilisation aux enjeux relatifs à la perte de

biodiversité et la promotion de mesures de conservation et de préservation pour la protéger. Les efforts doivent cependant s'accentuer et des actions concertées doivent être menées à l'échelle mondiale pour inverser la tendance et préserver la diversité biologique de notre planète.

2.2.2 La situation en France

2.2.2.1 Vue d'ensemble

L'artificialisation des sols

L'artificialisation sur le territoire métropolitain est évaluée à environ 50 000 km^2 soit 9% de la surface totale, ce qui représente environ 770 m^2/habitant (Teruti-Lucas, 2019). Le taux d'artificialisation était d'environ 650 km^2/an au regard de la dynamique de ces 30 dernières années (Teruti-Lucas, 2019). Un ralentissement serait toutefois visible ces dernières années avec quelque 250 km^2/an d'artificialisation en moyenne ces dix dernières années selon certaines sources (CEREMA, 2022; Commissariat général au développement durable, 2017; IGN, 2018). La surface totale artificialisée au cours de l'année 2021 est estimée à 213 km² (CEREMA, 2022). Au regard de la perte de surface agricole indiquée par les mêmes sources, il semble que la quasi-totalité de l'artificialisation soit faite à son détriment. En fait, les surfaces agricoles occupent actuellement environ 50% de la surface du territoire métropolitain (Commissariat général au développement durable, 2017). Les 41% restantes sont occupées par les zones dites « naturelles », principalement forestières (Commissariat général au développement durable, 2017). Les surfaces restantes sont dites artificialisées. Les superficies occupées pour les fonctions de l'habitat et des transports sont les deux plus grands postes relatifs à ce type de surface (IGN, 2018; Teruti-Lucas, 2019).

Ainsi, la loi (LOI n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant sur la lutte contre le dérèglement climatique et le renforcement de la résilience face à ses effets (1), 2021) a fixé l'objectif de Zéro Artificialisation Nette en 2050, avec un objectif intermédiaire de réduction de l'artificialisation de 50 % en 2030, par rapport à la période 2011-2021. La loi (LOI n° 2023-630 du 20 juillet 2023 visant à faciliter la mise en œuvre des objectifs de lutte contre l'artificialisation des sols et à renforcer l'accompagnement des élus locaux (1), 2023) accompagne le dispositif en place. Il doit permettre une déclinaison progressive de l'objectif « ZAN » dans la planification et les documents d'urbanismes. Les « Schémas régionaux

d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires » SRADDET (et équivalents) et « Schéma de cohérence territoriale » SCoT doivent fixer le cadre à l'échelle régionale au regard des particularités inhérentes au territoire. Les « Plan local d'urbanisme » PLU et « Plan local d'urbanisme intercommunale » PLUi doivent se conformer à ce cadre à l'échelle locale. La poursuite de cet objectif pourrait se heurter à la tendance du desserrement des ménages, d'augmentation des surfaces de logement et d'augmentation de la population dans certains territoires (Teruti-Lucas, 2019).

Les polluants atmosphériques

Tel qu'évoqué précédemment, parmi les grandes sources de pollutions atmosphériques impactants la biodiversité se trouvent les émissions de composés azotés et soufrés. La stratégie énergétique Française des années 1950 a vu le nucléaire se substituer au charbon pour la production d'électricité. Il est d'ailleurs maintenant totalement évincé du mix en France métropolitaine au profit des énergies renouvelables conformément à la (LOI n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat (1), 2019). Par conséquent, les émissions de composés azotés et soufrés sont essentiellement liées à la combustion du pétrole et de ses dérivés ainsi qu'à la combustion du bois de chauffage. Il en résulte une inversion des proportions entre les émissions de composés soufrés (SOx) et azotés (NOx) par rapport à la tendance mondiale. 750 000 tonnes d'oxydes d'azotes (NOx) et 89 000 tonnes d'oxydes de soufres (SOx) sont émis en 2021 par la France (OECD, 2022). Le transport est le secteur le plus concerné puisqu'il représente environ 62% des quelques 722 TWh de pétrole consommé annuellement (Commissariat général au développement durable, 2020b).

L'engagement de la France pour réduire ces émissions est lié à celui de réduire ses émissions de gaz à effet de serre. Il se fait donc au travers de la loi de programmation sur l'énergie et le climat en 2019 (cf. 2.1.2.1). La réduction de 40% de la consommation en énergie fossile d'ici 2030, la fin de la production d'électricité à partir du charbon en France métropolitaine en 2022, la facilitation du développement des énergies renouvelables et la limitation à 50% d'énergie nucléaire reportée à 2035 sont les principaux leviers d'actions.

Plus concrètement, depuis janvier 2022, le décret interdisant l'installation de nouvelles chaudières fioul ou charbon découle d'un plafond d'émission fixé à 300 g_{CO2eq}/KWh d'énergie primaire que ne peut tenir ces systèmes au regard de leurs émissions en composés soufrés et azotés (Ministères Écologie Énergie Territoires, 2022b).

2.2.2.2 Le résidentiel et le transport

Cette section approfondie l'évaluation concernant le résidentiel et le transport associé (en véhicules particuliers). Il s'agit d'une première approche qui nécessite confirmation au regard de la complexité et de l'incertitude de ce type d'étude. Celle-ci permettra malgré tout une évaluation du potentiel des micro-maisons au regard des objectifs nationaux évoqués. Profitons-en ici pour souligner la forte imbrication entre « infrastructures du transport » et « résidentiel » au regard de leur inter-dépendance. Evaluer l'un sans l'autre fait donc peu de sens. La méthode d'évaluation (*Figure 15*) permet de considérer les flux majeurs des secteurs visés en termes d'impact sur la biodiversité.

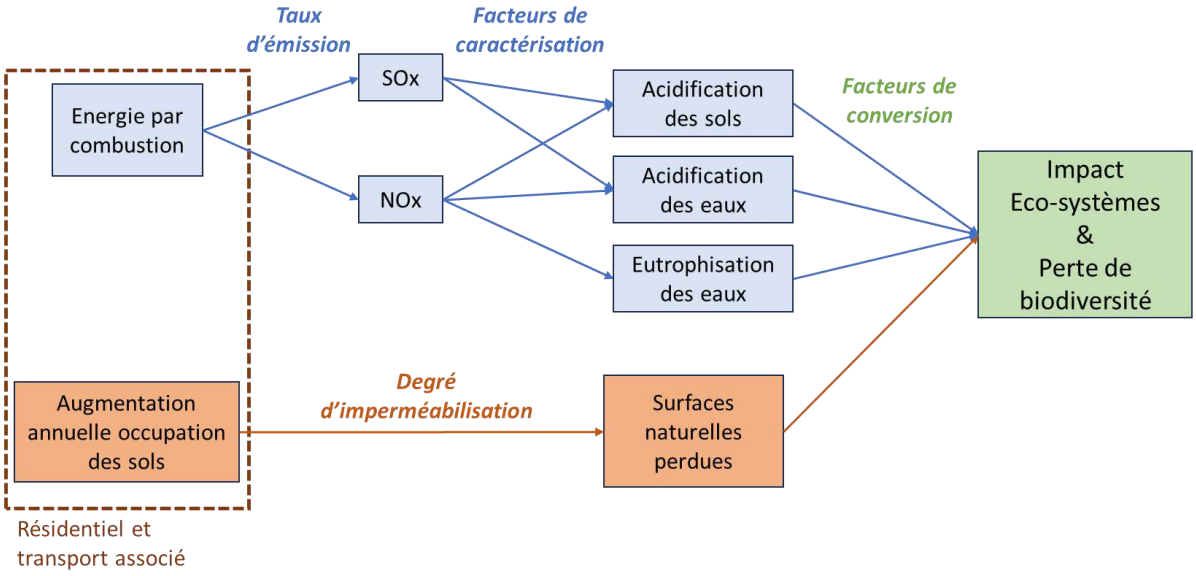


Figure 15 : Schémas de la méthode appliquée à l'évaluation des impacts du résidentiel et des transports en véhicules particuliers sur la biodiversité

Les données d'entrée pour l'artificialisation

Sur les 50 000 km^2 d'artificialisations totales estimées sur le territoire national et les quelques 210 km^2 d'accroissement chaque année, un peu plus de 40% serait à imputer à l'habitat et un peu moins de 30% aux infrastructures routières (Teruti-Lucas, 2019; CEREMA, 2022). Ces surfaces artificialisées se caractérisent par plusieurs degrés d'imperméabilisation. Les surfaces dédiées aux infrastructures routières disposeraient d'un taux moyen d'imperméabilisation de l'ordre de 0,65 « terre arable.m^2.an/m^2 » quand celles dédiées à l'habitat bénéficieraient d'un taux de l'ordre de 0,35 « terre arable.m^2.an/m^2 » (OFS, 2018; Teruti-Lucas, 2019). Le faible

taux d'imperméabilisation des surfaces artificialisées à destination de l'habitat s'explique par l'inclusion de l'ensemble des aménagements connexes autour de son implantation. Précisons que ces facteurs sont déterminés au regard d'une substitution quasi-exclusive aux terres agricoles. La « santé » de ces sols, c'est-à-dire leur niveau de biodiversité, est déjà réduit en comparaison aux surfaces naturelles.

Le *Tableau 5* présente le bilan des impacts du résidentiel et du transport associé (infrastructures et utilisation des véhicules particuliers) sur la biodiversité. Le degré de perte en biodiversité est exprimé en « Fraction Potentiellement Disparue » (PDF) associé à une grandeur surfacique. C'est le taux d'accroissement de l'artificialisation qui est comparé aux pollutions atmosphériques (NOx, SOx) dans l'évaluation des impacts annuels sur la biodiversité et non l'artificialisation total des sols. En effet, ce dernier impact considérablement la biodiversité (9% du territoire national recouvert) mais ne peut être éliminé au regard des services rendus par l'urbanisation dont il est la conséquence. Toutefois, la dernière ligne du tableau présente cet impact global relatif à l'artificialisation totale des sols (l'ensemble des aménagements en France). Elle permet de se faire une idée de son impact sur la biodiversité et servira pour la section suivante visant à évaluer l'impact de la micro-maison de référence au regard du parc résidentiel existant. Enfin précisons que la caractérisation de ces émissions sur l'eutrophisation des eaux (via la nitrification par les NOx) peut être sous-évaluée au regard des différents travaux universitaires, quelques fois contradictoires.

Les données d'entrée pour les émissions de composés azotés et soufrés

Afin d'évaluer l'impact des émissions de composés azotés et soufrés (NOx et SOx) des secteurs concernés, il a d'abord fallu faire le bilan des principales sources d'émission concernées, générées par la circulation des véhicules particuliers et la production de chaleur dans les chaudières à destination du résidentiel.

Le bilan énergétique effectué pour la partie relative à l'enjeu « Climat » est repris pour la partie « résidentielle » (cf. 2.1.2). Leur taux moyen d'émission est estimé au regard des normes appliquées aux chaudières ces dernières années.

Concernant la consommation en bois de chauffage, quelque approfondissement est nécessaire. Sur les quelques 93 TWh de consommation annuel d'énergies renouvelables thermiques (cf. 2.1.2), 13,5 TWh proviennent de chaufferies bois des réseaux de chaleur et 1 TWh du solaire thermique (Statistiques gouvernement, 2023). Il reste environ 78,5 TWh directement consommés dans les chaudière et foyers ouvert au bois, à l'intérieur des bâtiments résidentiels.

Les taux d'émission des chaudières individuelles et foyers ouverts ainsi que des chaufferies des réseaux de chaleur (moins émetteur au regard de la réglementation en vigueur en terme de filtration) sont déterminés suivant un travail d'Analyse ce Cycle de Vie concernant sur cette source d'énergie primaire (ADEME, 2022).

Pour le bilan sur les transports, quelques approfondissements sont également nécessaires. Ainsi, environ 32% des 722 TWh/an de consommation en pétrole en 2021 était à destination du transport en véhicule particulier (Commissariat général au développement durable, 2022b; INSEE, 2021b). Un peu moins de 60% du parc de véhicule particuliers utilise le gazole comme carburant (INSEE, 2021b). Le reste est quasi-exclusivement représenté par des véhicules alimentés à l'essence. Les taux d'émissions moyen en composés azotés et soufrés par type de motorisation sont estimés à partir d'un rapport de l'IPEN (IFPEN, 2020) et de paramètres additionnels propre à chacune de ses deux catégories (consommation moyenne par motorisation (Statista, 2023c), masses volumiques et pouvoirs calorifiques inférieurs des carburants). Précisons que le gazole est bien plus polluant que l'essence en termes d'émissions de composés azotés (NOx). Par ailleurs, l'un comme l'autre dispose d'une faible teneur en soufre (SOx) par rapport aux carburants moins raffinés comme ceux utilisés par le transport maritime.

Finalement, les résultats obtenus sur les quantités de polluants émis par poste sont proches de ceux estimés dans l'inventaire des polluants issu des statistiques gouvernementales (Statistiques gouvernement, 2022b). Cette méthode a permis de consolider les taux d'émission par poste pour être repris à la section suivante, visant à évaluer les mix-énergétiques de la micro-maison de référence.

Ainsi, sur les 750 000 tonnes de composés azotés (OECD, 2022), environ 30% seraient causés par la circulation des véhicules particuliers et environ 6% par le résidentiel (essentiellement en raison du bois de chauffage). Pour ce qui est des 89 000 tonnes de composés soufrés (OECD, 2022) émis dans l'atmosphère en France chaque année, un peu plus de 10% proviendraient de l'utilisation des véhicules de particuliers et moins de 1% du résidentiel.

Les résultats de l'analyse

Le *Tableau 5* présente l'évaluation de l'impact sur la biodiversité de ces émissions et terres occupées à partir de facteurs de caractérisation et de pondération issus de travaux de recherche appliqués au territoire national (P.-O. Roy et al., 2014).

Tableau 5 : Synthèse des impacts sur la biodiversité du résidentiel et des véhicules particuliers

TRANSPORT VEHICULES PARTICULIERS

Poste	Emission	Quantité	Facteur de caractérisation	Quantité caractérisée	Facteur de pondération	Impact biodiversité
Acidification des sols	SOx	10 $kt.an^{-1}$	1 $kg_{SO2eq}.kg^{-1}$	10 $kt_{SO2eq}.an^{-1}$	0,28 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	3 $PDF{\cdot}km^2$
	NOx	210 $kt.an^{-1}$	0,8 $kg_{SO2eq}.kg^{-1}$	168 $kt_{SO2eq}.an^{-1}$	0,28 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	47 $PDF{\cdot}km^2$
Acidification des eaux	SOx	10 $kt.an^{-1}$	1 $kg_{SO2eq}.kg^{-1}$	10 $kt_{SO2eq}.an^{-1}$	0,25 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	2,5 $PDF{\cdot}km^2$
	NOx	210 $kt.an^{-1}$	0,7 $kg_{SO2eq}.kg^{-1}$	147 $kt_{SO2eq}.an^{-1}$	0,25 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	37 $PDF{\cdot}km^2$
Eutrophisation des eaux	NOx	210 $kt.an^{-1}$	0,1 $kg_{Neq}.kg^{-1}$	21,0 $kt_{Neq}.an^{-1}$	0,1 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	2 $PDF{\cdot}km^2$
Total émissions polluantes	-	-	-	-	-	**91 $PDF{\cdot}km^2$**
Augm. annuelle de l'occupation des sols	-	60,0 $km^2.an^{-1}$	0,65 m^2 terre arable.m^{-2}	21,0 $km^2.an^{-1}$	1,09 PDF·an	23 $PDF{\cdot}km^2$
Total	-	-	-	-	-	**114 $PDF{\cdot}km^2$**
Occupation total des sols	NOx	14 000 km^2	0,65 m^2 terre arable.m^{-2}	9 100 $km^2.an^{-1}$	1,09 PDF·an	**10 000 $PDF{\cdot}km^2.an$**

RESIDENTIEL

Poste	Emission	Quantité	Facteur de caractérisation	Quantité caractérisée	Facteur de pondération	Impact biodiversité
Acidification des sols	SOx	0,6 $kt.an^{-1}$	1 $kg_{SO2eq}.kg^{-1}$	0,6 $kt_{SO2eq}.an^{-1}$	0,28 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	0,2 $PDF{\cdot}km^2$
	NOx	44 $kt.an^{-1}$	0,8 $kg_{SO2eq}.kg^{-1}$	35 $kt_{SO2eq}.an^{-1}$	0,28 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	10 $PDF{\cdot}km^2$
Acidification des eaux	SOx	0,6 $kt.an^{-1}$	1 $kg_{SO2eq}.kg^{-1}$	0,6 $kt_{SO2eq}.an^{-1}$	0,25 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	0,2 $PDF{\cdot}km^2$
	NOx	44 $kt.an^{-1}$	0,7 $kg_{SO2eq}.kg^{-1}$	31 $kt_{SO2eq}.an^{-1}$	0,25 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	8 $PDF{\cdot}km^2$
Eutrophisation des eaux	NOx	44 $kt.an^{-1}$	0,1 $kg_{Neq}.kg^{-1}$	15,0 $kt_{Neq}.an^{-1}$	0,1 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	1,5 $PDF{\cdot}km^2$
Total émissions polluantes	-	-	-	-	-	**18 $PDF{\cdot}km^2$**
Augm. annuelle de l'occupation des sols	-	89,5 $km^2.an^{-1}$	0,35 m^2 terre arable.m^{-2}	31,3 km^2	1,09 PDF·an	34 $PDF{\cdot}km^2$
Total	-	-	-	-	-	**52 $PDF{\cdot}km^2$**
Occupation total des sols	-	21 000 km^2	0,35 m^2 terre arable.m^{-2}	7 350 km^2	1,09 PDF·an	**8 000 $PDF{\cdot}km^2.an$**

Les interprétations et l'engagement

Cette analyse montre qu'environ 80% de l'impact relatif au transport des véhicules particuliers serait lié aux pollutions atmosphériques qu'ils génèrent. Ce ratio augmente à plus de 85% en incluant les consommations du transport routier de marchandises. La fin des véhicules thermiques neuf d'ici à 2035 réduira progressivement cette proportion.

Du côté du résidentiel, la tendance est inverse puisqu'environ 65% de l'impact sur la perte de biodiversité serait causé par la dynamique annuelle d'artificialisation pour l'habitation. Notons qu'en incluant les bâtiments tertiaires, la tendance serait encore accentuée (moins de chaudières individuelles et foyers ouverts au bois et moins de pétrole consommés). L'utilisation d'un mix électrique « propre » et de la fin progressive des chaudières fioul tend globalement à réduire l'importance des pollutions atmosphériques générées par l'occupation des bâtiments.

Finalement, sur les 166 PDF.km² d'impact annuel évalué sur la perte en biodiversité, environ 35% de serait dû l'accroissement de l'artificialisation généré par le résidentiel et le transport associé. Ainsi, il apparait que l'expansion urbaine est loin d'être anodin sur le plan de la perte en biodiversité.

De plus, l'occupation totale des sols relatifs aux infrastructures routières et au résidentiel représente18 000 PDF.km² dont environ 8 000 PDF.km² directement causé par le résidentiel (*Tableau 5*). Ces valeurs peuvent même être considérées comme sous-évaluées puisque la différence de biodiversité, pourtant importante, entre une zone urbaine perméable ou une zone agricole et une zone forestière (naturelle) n'est pas considérée. Néanmoins retenons qu'en considérant la population en France métropolitaine (INSEE, 2023c), l'artificialisation totale relative à l'habitat et aux infrastructures routières serait à la source d'environ 278 PDF.m² par Français en moyenne dont 123 PDF.m² directement inhérent au résidentiel. Ce dernier poste peut sembler élevé au regard de la surface moyenne des logements en France (environ 90 m² pour 2,2 personnes selon l'INSEE) mais il considère les impacts indirects de l'occupation des sols (pondération de 1,09 PDF.an) ainsi que les infrastructures autour des résidences. En incluant les émissions polluantes (NOx et SOx), ces impacts globaux peuvent donc être estimés à 280 PDF.m² par Français dont 124 PDF.m² pour le résidentiel.

Au regard de ces résultats et de l'urbanisation importante de la France (et de l'Europe en général), **l'objectif de « zéro artificialisation net » d'ici à 2050 se justifie pleinement**. Il permet de réduire l'impact non négligeable sur la biodiversité évalué à cette section et ainsi donner un peu « d'air » à cette dimension environnementale. S'agit-il encore de le mettre en perspective avec les disparités territoriales en France. Ajoutons que l'artificialisation en question doit aussi s'évaluer au regard des impacts directs sur nos sociétés (productivité agricole, catastrophes naturelles, stockage carbone et résilience aux dérèglements climatiques) ce qui tend à augmenter encore son importance. Ces notions sont abordées à la partie relative aux enjeux économiques et sociaux (cf. 2.3).

2.2.3 Le potentiel des micro-maisons

Les développements précédents montrent que le potentiel des micro-maisons doit s'évaluer également au regard de l'enjeu visant à limiter la perte en biodiversité. Encore une fois, le potentiel relatif au secteur des transports est difficile à évaluer. Par conséquent la quantification relative à cette dimension n'est pas conservée dans le champ de cette étude.

Les données d'entrées

Concernant l'habitat, il est possible de comparer son impact moyen par Français, estimé à la section précédente (123 PDF.m²/pers.), à celui d'une personne vivant en micro-maison. Il est supposé que ce type d'habitat est occupé par deux personnes (cf. 1.4). Les caractéristiques utiles de la micro-maison de référence sont extraites de la partie 1 (cf.1.7).

Les émissions de composés soufrés des micro-maisons « 100% électricité » peuvent être négligées au regard du mix électrique national évoqué précédemment. Bien que plus « propre » que les combustibles à base de pétrole ou le bois, le propane (ou le butane) génère des émissions polluantes qui pourraient être à considérer. Dans cette étude, nous nous contenterons d'une évaluation des émissions concernant la micro-maison alimentée au bois de chauffage. Cette configuration est de loin la plus émettrice de ces polluants.

Les taux d'émissions du bois en combustion sont évalués selon les données issues d'une Analyse de Cycle de Vie dédiée à l'évaluation de ce type de combustible (ADEME, 2022). Comme pour la partie dédiée à l'enjeu relatif au climat (cf. 2.1.3), la variation des températures extérieures utilisées pour l'évaluation du besoin en chauffage correspond à une moyenne en France (COSTIC, 2023). Le *Tableau 6* ci-dessous résume les données d'entrées et les résultats à la base du bilan concernant une micro-maison alimentée au bois de chauffage.

Tableau 6 : Données d'entrée et évaluation des besoins pour l'évaluation des impacts sur la biodiversité de la micro-maison de référence (alimentée au bois de chauffage)

Poste	Valeur
Durée de vie	20 ans
Surface emprise au sol	17 m²
Conductance thermique	50 $W.K^{-1}$
Degrés Jours Unifiés*	2 500 °C.jr
Besoin en chauffage	3 000 $kWh.an^{-1}$
Besoin en bois (énergie primaire)	3 750 $kWh.an^{-1}$ (η=80%)
Taux d'émissions NOx	0,6 $g.kWh^{-1}$
Taux émissions SOx	0,05 $g.kWh^{-1}$

* : selon le climat moyen en France (COSTIC, 2023)

Les résultats de l'analyse

Le *Tableau 7* ci-dessous présente la synthèse du bilan de la micro-maison de référence au regard de ces impacts sur la perte en biodiversité. Les facteurs de caractérisation et de pondération des émissions polluantes sont identiques à ceux utilisés à la section précédente (cf. 2.1.2.2). Le facteur de caractérisation relatif à l'occupation des sols (degré d'artificialisation) est estimé à 0,5 m² terre arable.m^{-2} en considérant uniquement l'emprise au sol de la micro-maison. Cela suppose qu'aucun aménagement imperméable ne soit mis en œuvre aux alentours et que le sol en-dessous de l'habitat léger ne soit que partiellement perturbé (du moins en comparaison à une surface agricole).

Tableau 7 : Synthèse de l'évaluation des impacts sur la biodiversité de la micro-maison de référence alimentée au bois de chauffage

Poste	Emission	Quantité	Facteur de caractérisation	Quantité caractérisée	Facteur de pondération	Impact biodiversité
Acidification des sols	SOx	0,3 $kg.an^{-1}$	1 $kg_{SO2eq}.kg^{-1}$	0,3 $kg_{SO2eq}.an^{-1}$	0,28 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	0,08 $PDF{\cdot}m^2$
	NOx	3,5 $kg.an^{-1}$	0,8 $kg_{SO2eq}.kg^{-1}$	2,8 $kg_{SO2eq}.an^{-1}$	0,28 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	0,8 $PDF{\cdot}m^2$
Acidification des eaux	SOx	0,3 $kg.an^{-1}$	1 $kg_{SO2eq}.kg^{-1}$	0,3 $kg_{SO2eq}.an^{-1}$	0,25 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	0,07 $PDF{\cdot}m^2$
	NOx	3,5 $kg.an^{-1}$	0,7 $kg_{SO2eq}.kg^{-1}$	3,9 $kg_{SO2eq}.an^{-1}$	0,25 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	1,0 $PDF{\cdot}m^2$
Eutrophisation des eaux	NOx	3,5 $kg.an^{-1}$	0,1 $kg_{Neq}.kg^{-1}$	0,35 $kg_{Neq}.an^{-1}$	0,1 $PDF{\cdot}m^2.kg^{-1}{\cdot}an$	0,03 $PDF{\cdot}m^2$
Total émissions polluantes	-	-	-	-	-	**2 $PDF{\cdot}m^2$**
Occupation des sols	-	17 m^2an^{-1}	0,5 m^2 terre arable.m^{-2}	8,5 m^2an^{-1}	1,09 PDF·an	9,5 $PDF{\cdot}m^2$
Total	-	-	-	-	-	**11,5 $PDF{\cdot}m^2$**

Les interprétations

Les résultats de cette analyse montrent qu'une micro-maison aurait un impact d'environ 11,5 PDF.m² sur une année d'utilisation lorsqu'elle est alimentée en bois de chauffage. Son impact serait réduit d'environ 20% lorsqu'elle est alimentée en « tout » électrique (mix français) ou au gaz (propane ou butane). Cet impact annuel peut être réparti à part égale pour chacun des occupants ce qui revient à environ 6 PDF.m² par personne. En moyenne un Français aurait un impact 20 fois supérieur concernant ce champs d'évaluation au regard des 124 PDF.m² résultant de l'analyse précédente.

Ainsi, bien que plus impactant que les autres sources d'énergie concernés par la micro-maison de référence, **l'impact du bois de chauffage est à relativiser** au regard du faible volume à chauffer. Nuançons néanmoins notre propos. D'une part, la caractérisation des émissions de polluants devrait être propre à chaque situation géographique (utilisation d'un facteur de caractérisation moyen à l'échelle nationale pour cette étude). En effet, l'émission de polluants en zone naturelle est plus impactante sur la biodiversité quand les émissions en zones urbaines impactent davantage la santé humaine (non évaluée dans cette étude). D'autre part, l'influence des émissions sur l'eutrophisation des eaux n'est pas très claire au regard de la variation des

méthodes utilisées pour les caractériser. Enfin, l'impact des émissions de particules fines sur l'écotoxicité des milieux (et la santé humaine) n'a pas été évalué.,

Plus globalement, vivre dans une micro-maison permettrait malgré tout **de réduire son impact d'environ 95%** principalement en raison d'un faible taux d'imperméabilisation des sols. Précisons que ce résultat ne peut être considéré que si aucun aménagement artificialisant n'est dédié à l'habitat aux alentours. De plus, **le transport routier**, notamment relatif à ses infrastructures, pourrait facilement éclipser les bénéfices de l'habitat au regard de son impact moyen à l'échelle national (~156 PDF.m² en moyenne nationale). L'implantation de la micro-maison reste donc un enjeu majeur. Précisons qu'un couplage de ce type d'habitation avec des modes de mobilités moins dépendants des infrastructures routières pourrait significativement réduire ce poste (en plus de réduire l'impact carbone).

Finalement, les difficultés rencontrées selon certains témoignages, en matière d'acquisition de terrains, mettent en cause l'incapacité du cadre règlementaire et des politiques à considérer les spécificités de la micro-maison. Il semble que cela soit en parti avéré notamment en raison de la jeunesse de ce mouvement. Toutefois, cette partie tant à nuancer ce propos. Le **potentiel est clairement démontré** mais une vision globale, incluant les infrastructures adjacentes (notamment routières) montre aussi que **la problématique du lieu d'implantation revêt une dimension stratégique** au regard de la perte en biodiversité. De plus, bien que limitée, la proximité de l'habitat des zones naturelles tend à augmenter l'impact des pollutions émises sur la biodiversité.

2.3 Les enjeux économique et social

Les dimensions économiques et sociales complètent cette approche visant à évaluer le potentiel des micro-maisons au regard des enjeux de développement durable en France. Bien que toutes les dimensions s'influencent mutuellement, la (très) forte imbrication entre les dimensions économique et social lorsqu'il s'agit de logement, a influencé le choix de les traiter ensemble.

2.3.1 La situation à l'échelle mondiale

Les grands enjeux économiques et sociaux à l'échelle mondiale semblent tous être liés, de près ou de loin, à l'augmentation démographique fulgurante. En effet, en plus d'accentuer grandement l'intensité de la contrainte appliquée sur la biosphère (évoquée aux sections précédentes), elle est mise en cause dans les enjeux majeurs suivants :

- Lutte contre l'accentuation des inégalités et gestion décente des flux migratoires (au regard des facteurs économiques, sociales et climatiques) ;
- Gestion des conflits territoriaux ;
- Gestion des tensions sur l'approvisionnement en ressources non renouvelables (énergies et matières) ;
- Amélioration de la résilience aux changements climatiques et aux pandémies.

Cette croissance démographique fut possible par l'industrialisation progressive du Monde (incluant la production agricole de masse). Si l'Europe de l'Ouest en a été le point de départ, elle impacte aujourd'hui toutes les zones du globe, appuyée par une accentuation de la mondialisation des échanges. Les quelques 1,4 Milliards d'habitants sur la planète en 1850 sont passés à 2,6 Milliards en 1950 (United Nations, 2022). Aujourd'hui, la population avoisine les 8 Milliards et les Nations Unies tablent sur une augmentation de 2 Milliards d'ici à 2050 (United Nations, 2022). La croissance s'est donc accélérée ces dernières décennies et devrait perdurer ces prochaines années (tout en connaissant un certain ralentissement). Les pays en voie de développement sont les plus concernés. L'Europe semble avoir passé cette étape avec une déclin de population qui pourrait avoisiner les 10% d'ici à 2050 (United Nations, 2022). Le vieillissement de la population dans certains de ces pays devient d'ailleurs une grande source de préoccupation. D'autres pays comme la Chine ont pris des mesures pour limiter l'ampleur de cet accroissement de population (politique de l'enfant unique de 1979 à 2015). Finalement

la croissance démographique de la population sera portée en grande partie par certains pays de l'Afrique sub-saharienne ces prochaines années, longtemps à la marge de l'industrialisation évoquée et des échanges qu'elle génère. L'Inde, le Pakistan, l'Indonésie et l'Egypte complètent la liste des zones géographiques où la croissance démographique attendue est particulièrement importante ces prochaines années (United Nations, 2022).

Il semble donc qu'un **modèle économique basé** en grande partie **sur la croissance** en général et la croissance démographique en particulier soit **révolue** au regard des limitations maintenant apparentes de ce que la planète est capable de supporter. Fort de ce constat, des initiatives émergent progressivement à travers le Monde visant à progressivement faire évoluer les modèles qui régissent nos sociétés.

2.3.2 La situation en France

2.3.2.1 Le vieillissement de la population

Comme pour d'autres pays européens, la démographie de la France est relativement stable. La natalité est inférieure à 2 enfants par femme (1,8 en 2022), compensée en partie par l'immigration (INSEE, 2022c). Un vieillissement de la population est constaté, accentué par l'allongement de la durée de vie et un grand nombre de naissances après la Seconde Guerre mondiale (INSEE, 2022b). En 2022, l'âge moyen est de 42 ans (INSEE, 2022e) et la durée de vie moyenne est établie à 86 ans pour les femmes et 80 ans pour les hommes cette même année (INSEE, 2022d). Le vieillissement de la population se présente comme un des grands enjeux sociaux-économiques en France notamment au regard de la proportion de français dit « inactifs ». D'autres pays européens se trouvent dans une situation plus sévère à cet égard, à l'image de l'Allemagne. Il reste que la mise en œuvre des réformes nécessaires pour s'y adapter tarde à se mettre en œuvre en raison des grandes tensions sociales qu'elle peut susciter.

2.3.2.2 Les inégalités sociales

De plus, la France n'échappe pas à la problématique de l'enjeu relatif aux inégalités sociales qui ne peuvent qu'aggraver cette « fracture ». La troisième révolution industrielle, du « numérique », relative au développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication est à l'initiative du contexte économique actuel. Or, celle-ci continue de détruire massivement des emplois non qualifiés (comme sa devancière) tout en ayant des

difficultés à les substituer par des emplois qualifiés (Carassus & Naert, 2021). Ces inégalités économiques et sociales se caractériseraient par des inégalités relatives aux compétences (Carassus & Naert, 2021). L'éducation et la formation sont donc des leviers majeurs pour lutter contre cet enjeu. La France tente de réagir en ce sens, encore timidement, en adaptant son modèle de formation au travers de la voie de la formation professionnelle et de la formation continue. La mise au profit de l'Intelligence Artificielle est également identifiée comme un levier intéressant en matière de formation, notamment pour en réduire le coût. L'objectif de ces initiatives est de donner davantage de flexibilités au marché du travail, répondre à son besoin en personnels qualifiés et stimuler l'économie pour disposer d'un effet de ruissellement. Notons que l'enjeu relatif aux inégalités sociales n'est pas aussi préoccupant en France que dans d'autres régions du Monde selon l'évolution de l'indice de Gini du niveau de vie (INSEE, 2020a). Cela est probablement à mettre au crédit de son système social, bien qu'il puisse être quelques fois décrié au regard d'un « risque de nivellement par le bas ».

2.3.2.3 La crise énergétique

La crise énergétique actuelle ne facilitera pas la tâche des politiques visant à réduire ses inégalités évoquées ci-dessus. Au contraire, elle ne pourra qu'accentuer les précarités des foyers les plus modestes. En effet, selon l'Agence Internationale de l'Energie (IEA), l'année 2022 a été le pic d'une crise énergétique sans précédent (IEA, 2022a). Plusieurs facteurs ont contribué à créer des tensions sur les approvisionnements (dont la fin de la crise du « COVID-19 ») mais c'est bien la guerre menée par la Russie à l'Ukraine, initiée en 2022, qui en était la première cause (IEA, 2022a). En 2021, un quart de toute l'énergie consommée en Union Européenne provenait encore de Russie (IEA, 2022a). La chute drastique des importations européennes en gaz et pétrole russes entraîne un phénomène en chaîne qui impact l'ensemble des prix de l'énergie et les activités économiques en général. L'évolution de cette crise est incertaine et l'épuisement progressif des ressources en énergies fossiles ne pourra qu'alimenter les tensions liées à leur acquisition. En effet, les énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) auront été un moteur puissant au développement industriel et démographique mais sont condamnées à laisser leur place à des solutions durables (au sens propre du terme). Le gaz se positionnait encore récemment comme une source d'énergie susceptible d'assurer efficacement la transition des énergies fossiles les plus polluantes vers des énergies propres et décarbonées. Il semble que cette période soit révolue, à tel point que certains pays ont réactivé leurs centrales au charbon.

La France est en passe quant à elle de réinvestir massivement dans le nucléaire en complément de ceux dédiés aux énergies renouvelables (Ministères Écologie Énergie Territoires, 2023).

2.3.2.4 Les ressources en matières

La gestion des approvisionnements de certains minéraux est aussi un enjeu important en France comme à l'international. L'acquisition de certains métaux (et autres minéraux) revêt un caractère stratégique au regard de leur consommation par les industries de l'électronique et par celles qui en dépendent (automobile notamment). Or, les réserves ne sont là encore pas inépuisables. La grande quantité de sables (matière à base de silicium) consommée pour la construction de bâtiments (production de bétons et de verres) est également une source de préoccupation en France. Cette problématique tend à accélérer la transition vers une économie circulaire et l'utilisation de matériaux biosourcés. En effet, la faible valeur économique rapportée à sa masse fait du sable destiné au bâtiment, un minéral qui doit se produire relativement proche du lieu de son utilisation finale. Par conséquent des tensions peuvent apparaître à l'échelle régionale. Enfin, précisons que les ressources en matières renouvelables, comme le bois, demandent également d'ajuster les approvisionnements de sorte à ne pas prélever la matière plus vite qu'elle ne se renouvelle.

2.3.2.5 La résilience aux crises sanitaires

Un autre enjeu mondial est celui visant une meilleure résilience aux crises sanitaires. Il est apparu aux yeux de tous au travers de la propagation du virus SARS-CoV-2 et de la maladie à coronavirus (COVID-19) qu'il provoque sur l'Homme. Ce type de crise se caractérise par une perturbation importante et difficile à anticiper. Elle peut être issue de la propagation de virus, de bactéries pathogènes ou de substances toxiques mais aussi de catastrophes, naturelles ou initiées par l'Homme. Le système de santé tendait jusqu'alors à suivre une logique propre au Monde libéral et à ses marchés. Il visait donc une efficacité maximale pour un investissement minimal aboutissant à un dimensionnement au plus près du besoin courant. Ce type de fonctionnement n'est pas adapté pour absorber une perturbation aussi rapide, imprévisible et intense (au regard des équipements médicaux sollicités) que celle du COVID-19. Si les conséquences d'une perturbation de ce type peuvent être acceptables pour diverses activités industrielles, elles le sont bien moins lorsqu'il s'agit de vies humaines. La sévérité de la crise sanitaire de 2019 a permis d'en prendre conscience. Ses conséquences sont d'ailleurs encore ressenties aujourd'hui au regard des tensions sur certains approvisionnements, encore à la peine

face à une demande en recrudescence. Des initiatives étatiques et européennes (UE) ont été prises. Le temps nous dira si les mécanismes de marché auront eu raison d'elles.

2.3.2.6 La gestion des flux migratoires

L'intégration des immigrés ainsi que la gestion des flux migratoires sont également des enjeux sociaux et économiques importants et complexes, avec des implications sur la cohésion sociale. Environ 8% de la population française est étrangère et environ 120 000 personnes acquissent la nationalité française tous les ans (INSEE, 2023b, 2023a). Par ailleurs, 137 000 dossiers d'asile sont déposés en France en 2022, en augmentation de plus de 30% par rapport à l'année précédente et la tendance semble se poursuivre (Ministère de l'intérieur, 2023).

A l'échelle mondiale, le nombre de réfugiés aurait doublé en 20 ans représentant 89 millions de personnes en 2021 (UNHCR, 2022). Les guerres, violences et persécutions sont largement mis en cause mais le dérèglement climatique est un facteur aggravant. Celui-ci pourrait déraciner plus de 200 millions de personnes d'ici 2050 afin d'échapper aux mauvaises récoltes, au manque d'eau douce et à la montée du niveau des océans (World Bank, 2021). Le continent africain serait concerné par plus de la moitié des émigrations (World Bank, 2021). Le continent asiatique devrait également être une grande victime de ce dérèglement climatique.

Le débat publique, relayé par les politiques, est intense concernant ces sujets. Des questions restent ouvertes concernant la régulation des flux migratoires et la capacité de la France à intégrer ses immigrés. Concernant la politique d'intégration, elle s'articule principalement autour de la politique de l'accueil des nouveaux arrivants depuis les années 2000. L'actualisation du dispositif juridique en 2016 se traduit par le contrat d'intégration républicaine (CIR) engageant l'étranger dans un parcours d'intégration républicaine. Selon le député Aurélien Taché au travers d'un rapport publié en 2018, ce dispositif n'est pas suffisant et il serait temps de disposer d'une « approche globale de tous les leviers de l'intégration ».

2.3.2.7 La transition écologique

Mentionnons aussi l'enjeu relatif à la transition écologique, développé en partie aux sections précédentes et en prise évidente avec les dimensions économiques et sociales. En effet, il revient à l'Etat d'opérer les arbitrages visants à réduire les impacts environnementaux de la France tout en évitant de creuser les inégalités sociales et pénaliser les dynamiques économiques du moment. Un engagement de la France pour la transition écologique et l'innovation dans les technologies capables de la supporter sont des leviers identifiés pour éviter cet écueil.

2.3.2.8 L'équilibre des territoires

Enfin, l'enjeu de l'équilibre des territoires peut également être évoqué. Celui-ci est imbriqué dans l'ensemble des enjeux évoqués précédemment (*Figure 16*).

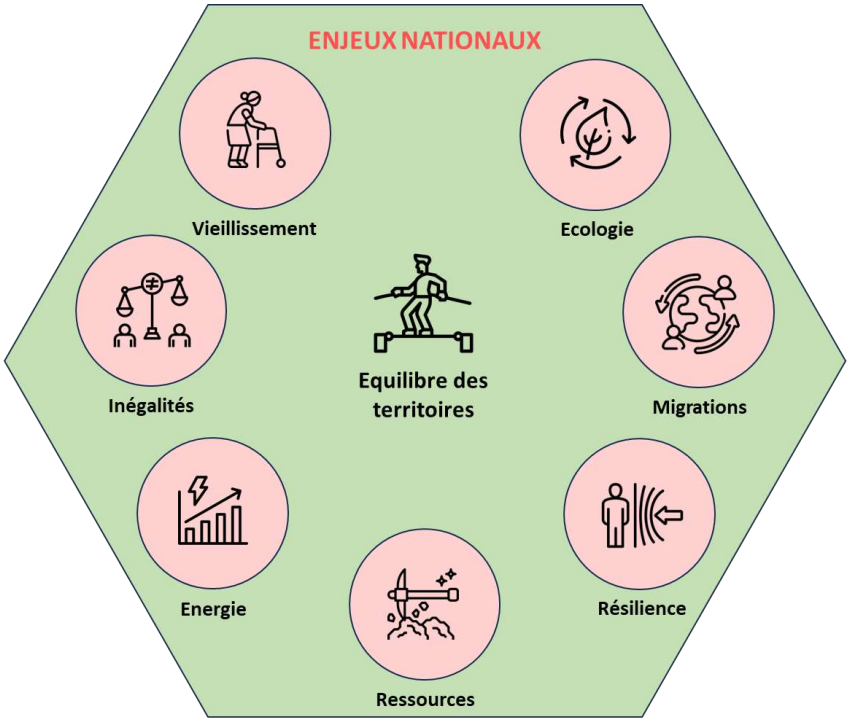


Figure 16 : Les principaux enjeux nationaux estimés au regard des dimensions économiques et sociales

Les petites agglomérations excentrées se vident toujours plus de leur population quand les moyennes et grandes agglomérations tendent à s'étaler et se densifier. Mécaniquement, les zones reculées sont les plus touchées par le vieillissement de la population. De plus, elles attirent un certain nombre de retraités en quête de nature et de tranquillité, non contraint par la localisation de leur lieu de travail. Les possibilités de travail à distance offertes dans certains cas par les technologies du numérique, peinent à inverser cette tendance. Comme pour les conséquences de la pandémie de COVID 19, elles tendent à créer un mouvement non négligeable des grandes agglomérations vers des agglomérations plus réduites mais contribuent peu à renflouer les villages les plus reculés (Milet et al., 2022). La crise énergétique touche davantage les territoires les moins denses qui dépendent davantage du transport routier. Le dérèglement climatique provoque des surchauffes estivales plus fortes et plus difficiles à vivre dans les zones les plus denses et les plus artificialisées. L'accueil des réfugiés et l'intégration

des immigrés est largement dévolu aux zones les plus urbanisées au regard des services disponibles notamment en matière de mobilité. Enfin, l'attractivité des zones les plus urbanisées et les services qu'elles apportent aux plus précaires alimentent la crise du logement quand les territoires les plus reculés peinent à maintenir leur patrimoine. La limitation de l'étalement et l'objectif de « zéro artificialisation » des sols développés précédemment (cf. 2.2.2) tendent à accentuer ces tensions sur le logement dans les zones en question puisqu'ils concernent en premier lieu les agglomérations moyennes et les périphéries des grandes agglomérations. Il apparait donc évident que selon les territoires, les enjeux les plus importants ne sont pas les mêmes et peuvent même être antagonistes.

2.3.3 Le résidentiel et le transport

Cette section est dédiée à un approfondissement des dimensions économiques et sociales pour les secteurs qui nous intéressent dans cette étude : le résidentiel et le transport associé. Cette démarche vise à faciliter l'évaluation du potentiel des micro-maisons.

2.3.3.1 L'analyse globale

Le sujet est vaste et seules les caractéristiques qui peuvent servir à l'évaluation sont conservées dans cet approfondissement. La *Figure 17* présente les interconnexions majeures entre les différentes dimensions évaluées et laisse apparaître la grande variété des sujets à évoquer. Notons que certaines données précisées dans ces paragraphes se justifient par leur utilité pour la section suivante (analyse quantitative).

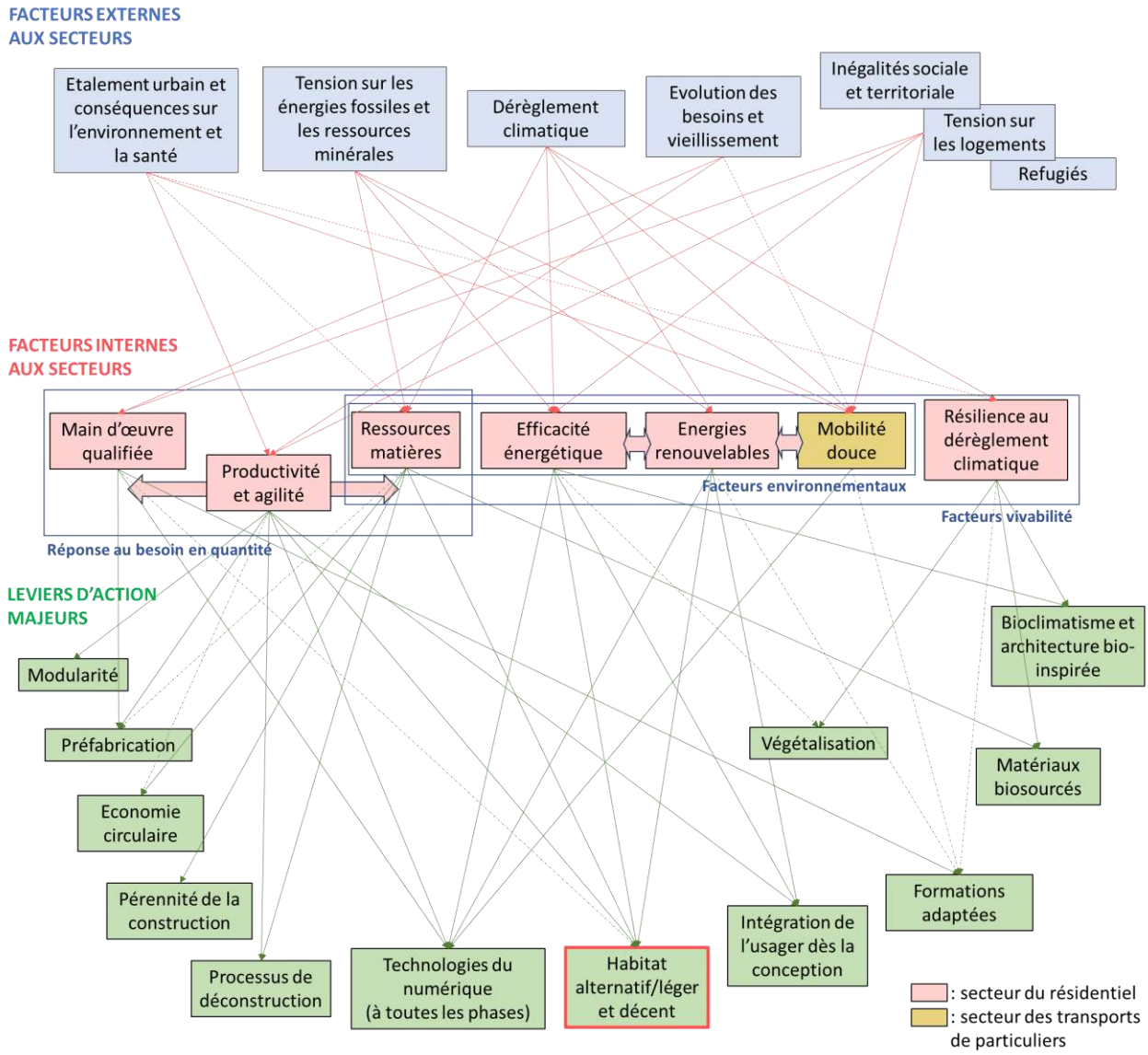


Figure 17 : Synthèse des enjeux économiques et sociaux du résidentiel et du transport associé

Les secteurs du bâtiment et de l'industrie automobile

Le marché de l'automobile est très mondialisé, concurrentiel et concentré. Les industriels sont globalement de gros acteurs mais disposent d'une agilité qui leur aura été utile pour survivre. Leurs grandes dépenses en R&D leur permettent de tirer le meilleur parti des avancées technologiques et rester concurrentiels. Toutefois, ils subissent de plein fouet l'importante pénurie actuelle sur les semi-conducteurs. Une certaine stagnation des ventes est également constatée en Europe et en France depuis plusieurs années, tendant à pénaliser les grands acteurs historiques sur ce marché (IFPEN, 2022). Cela s'explique par une croissance économique relativement faible mais aussi par le développement de modes de transports alternatifs à la voiture. A cela s'ajoute la fin programmée des véhicules thermiques d'ici 2035 qui s'annonce comme un défi majeur pour le secteur. La maitrise des approvisionnements en batterie de stockage électrique au lithium figure parmi les facteurs clés de succès dans le contexte de cette mutation. Il reste que le parc national est composé de 38,7 millions de véhicules de particuliers en 2022 dont 95% de véhicules thermiques, et leurs nombres restent en léger progrès (Statistiques gouvernement, 2022d). Notons que le coût global annuel d'un véhicule particulier, hors carburant, est d'environ 2 770 € et que le ratio de possession est de 0,56 véhicule par habitant en 2022 (cartegrise.com, 2022; Statistiques gouvernement, 2022a).

Le secteur du résidentiel et du bâtiment en général s'adapte également, tant bien que mal, à l'évolution de son environnement. Celui-ci est réputé lent au regard de la durée de vie des bâtiments et des modes de construction. En face, les besoins et la dynamique de la demande évoluent plutôt rapidement. Les fortes chaleurs en été, le prix de l'énergie et des matériaux en hausse, les tensions variables sur le marché du logement suivant les zones géographiques, le vieillissement de la population, l'évolution des fonctionnalités et des modes de vie (et de travail) sont autant de facteurs à la source de ce besoin d'évolution. Quelques développements sont présentés ci-dessous compte tenu de l'importance de cette analyse relative au secteur du résidentiel.

La difficulté à satisfaire aux besoins en logement

La productivité du secteur du bâtiment à l'échelle mondiale n'aurait progressé que de 1% en 20 ans quand celle du secteur manufacturier était de 3,6% au cours de la même période (McKinsey, 2017) ce qui se répercute sur les coûts d'acquisition. La France ne fait pas

exception à cette tendance. Cette caractéristique ainsi que le cycle de vie long des bâtiments tendent à exacerber les tensions sur le marché du logement dans les zones sensibles. Aujourd'hui, un logement moyen, d'une surface d'environ 90 m² pour un foyer moyen de 2,2 personnes, pourrait s'acquérir en moyenne aux alentours de 300 000 € (INSEE, 2022e; meilleurs agents, 2023; SeLoger, 2023). Ce montant est évidemment très variable selon les zones géographiques.

Par ailleurs, le logement est et restera toujours une grande source de dépenses. Il s'agirait même du plus grand poste de dépenses en absorbant environ 22% des revenus des ménages en moyenne en 2021 (incluant les charges liées à l'occupation pour un peu moins de la moitié) (INSEE, 2021c). Notons que le revenu total par français est évalué à 22 000 € (incluant la population inactive) et que la taille du foyer moyen est évalué à 2,2 personnes en 2020 (INSEE, 2020b). Il s'agit d'une situation d'autant plus préoccupante que disposer d'un logement décent figure parmi les services de première nécessité (Constitution, 1946). Plusieurs textes internationaux, dont la France est partie prenante, abondent en ce sens (United Nations, 1948, 1976; Union Européenne, 2012). Le droit au logement, quelquefois en prise avec le droit de l'urbanisme (relatif au terrain), s'est renforcé progressivement en France (République française, 2007). Mentionnons la loi sur le droit au logement opposable (Loi n° 2007-290 du 5 mars 2007 instituant le droit au logement opposable et portant diverses mesures en faveur de la cohésion sociale (1)., 2007) qui modifie le cadre de sa mise en œuvre en passant d'une obligation de moyen à une obligation de résultats. La loi (LOI n° 2014-366 du 24 mars 2014 pour l'accès au logement et un urbanisme rénové (1), 2014) a d'ailleurs participé au renforcement de ce dispositif. Dans les faits, ce cadre juridique abouti au développement de logements sociaux et aux objectifs de mixité dans les territoires et bâtiments. Il reste que l'Etat, collectivités et bailleurs sociaux peinent à répondre à la demande dans certaines zones. L'accueil croissant de migrants et réfugiés à loger ne peut qu'accentuer cette problématique. Le nombre de logements est estimé à un peu moins de 38 millions en 2022 (INSEE, 2022a) ce qui est donc supérieur au besoin mais sa répartition n'est pas toujours idéale au regard de la problématique de l'équilibre territoriale évoqué précédemment. Les personnes les plus précaires et sans activité peuvent difficilement se passer des services rendus par les zones urbaines pour profiter de la disponibilité en logement dans les zones les plus reculées (cf. 2.3.2.8).

L'enjeu au regard de ce contexte, est de ne pas manquer le wagon de la 3ième révolution industrielle mais au contraire puiser en elle pour redonner la vitalité dont le secteur a besoin. Le modèle BIM (Building Information Modeling), la construction par imprimante 3D ou encore la généralisation de la domotique visent tous à améliorer la productivité du secteur et à mieux répondre aux besoins des occupants. L'objectif est de tirer profit des technologies du numérique à toutes les phases du cycle de vie du bâtiment. Des travaux importants sur la modularité des bâtiments et l'intégration de l'usager le plus en amont possible des projets, sont aussi menés. Ceux-ci visent à gagner en flexibilité et mieux répondre aux besoins et à ses évolutions au cours du (long) cycle de vie du bâtiment. Enfin, la préfabrication (ou construction « hors site ») fait partie des pistes explorées afin de se rapprocher de la productivité, qualité, sécurité et ergonomie au travail dont dispose le secteur manufacturier. Ce mode de construction est toutefois difficile à généraliser puisqu'une production « hors site » est souvent synonyme de construction légère, sollicitant des matériaux à faible inertie thermique (problème du coût d'approvisionnement des matériaux lourds à faible valeur économique et difficulté à livrer un bâtiment lourd sur place).

L'Etat soutient cette démarche en supportant l'innovation dans le secteur (ADEME, 2023; bpifrance, 2023). De plus, des actions sont menées progressivement pour opérer une déconcentration sur le territoire national. Ces initiatives participent également, dans une certaine mesure, à limiter les tensions sur le logement dans les zones les plus sensibles. Citons à cet égard la (LOI n° 2022-217 du 21 février 2022 relative à la différenciation, la décentralisation, la déconcentration et portant diverses mesures de simplification de l'action publique locale (1), 2022).

Notons également que la mutation recherchée du secteur se heurte à une pénurie en main-d'œuvre qualifiée pourtant stratégique au regard de l'argumentaire précèdent et de certains travaux universitaires (Naert, 2015). Les engagements de l'Etat en matière de formation professionnelle et continue (valorisation des filières professionnelles, aides aux financements de la formation continue etc.) évoqués à la section précédente permettent d'entrevoir des améliorations. Elles visent globalement à apporter plus d'agilité au marché du travail et soutenir la mutation nécessaire du secteur (Ministère du travail & DGT_Marc.T, 2023).

La mutation du secteur face aux enjeux environnementaux

Les enjeux environnementaux évoqués aux sections précédentes ne facilitent évidemment pas non plus la tâche du secteur mais amplifie les forces qui le poussent à se réinventer. Il doit s'adapter aux contraintes environnementales et aux exigences fixées par un cadre réglementaire toujours plus exigeant (cf.2.1.2.2). L'intégration plus massive des énergies renouvelables, l'amélioration de la performance énergétique de l'enveloppe et l'utilisation de matériaux à faible impact ou biosourcés en sont les principaux leviers (RE 2020).

Le changement à opérer en matière de matériaux de construction vise directement l'industrie de la construction. 20% des déchets (en masse) seraient liées au secteur en France (Ministères Écologie Énergie Territoires, 2020). Environ 40% des ressources minérales consommées dans le Monde étaient encore destinées au secteur il y a peu (United Nations, 2016). Bien qu'il s'agisse essentiellement de sables et de métaux non critiques en terme de disponibilité, des tensions sur certains approvisionnements ne sont pas à exclure. La réglementation relative à l'ouverture de nouvelles carrières sur le territoire national tend à se durcir au regard du contexte environnemental (CPEPESC, 2023). De plus, le bilan carbone du ciment (et donc du béton) et des métaux utilisés dans le bâtiment sont loin d'être négligeables comme cela a été évoqué précédemment (cf.2.1.2.2).

La résilience aux catastrophes naturelles et aux épisodes caniculaires, qui tendent à se multiplier et s'amplifier, figure aussi parmi les contraintes majeures que le bâtiment doit considérer.

A cela peut être ajoutée sa grande consommation en eau nécessitant une attention particulière afin de ne pas perturber l'équilibre des cycles naturels.

En réaction, l'économie linéaire laisse progressivement place à une économie circulaire, source de contraintes pour les uns et d'innovation pour les autres. Cette mutation est accompagnée et encouragée par l'Etat (Ministères Écologie Énergie Territoires, 2020). Une « Feuille de route économie circulaire » produite en 2018 permet de fixer le cap (Gouvernement, 2018). Environ la moitié des déchets produits par le secteur en 2020 étaient valorisés par la voie du réemploi, de la réutilisation des composants ou du recyclage (Ministères Écologie Énergie Territoires, 2020). Notons que l'objectif avait été fixé à 70% à cette même date (LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (1), 2015). Précisons que la plus grande partie du gisement de « déchets » (ou matières à valoriser) du secteur provient

des matériaux de construction (~75% de déchets inertes) (Ministères Écologie Énergie Territoires, 2020).

Le biomimétisme et un retour à l'architecture vernaculaire sont des pistes également largement explorées (Cruz et al., 2022; Pavillon de l'Arsenal, 2023). Il s'agit là d'un levier à fort potentiel au regard du contexte évoqué. Il pourrait permettre au bâtiment de gagner en résilience, s'adapter à son environnement et en tirer profit à moindre coût (en matière et en énergie).

Plus généralement, la mutation du secteur passera par une généralisation des principes de l'éco-conception. Résumons-les aux travers des 10 points suivantes, visant à inclure l'ensemble du cycle de vie du bâtiment ainsi que ses usagers dès sa conception :

1. Utilisation de matériaux biosourcés et de matériaux/composants inorganiques issues des cycles de l'économie circulaire ;
2. Conception d'une structure et enveloppe résiliente et bioclimatique (végétalisation comprise) ;
3. Utilisation de modes de construction respectueux de l'environnement ;
4. Durée de vie maximale ;
5. Construction adaptée aux besoins évolutifs ;
6. Efficacité énergétique de l'enveloppe et confort intérieur;
7. Sollicitation des énergies renouvelables et intégration de technologies capables de supporter et piloter la performance visée du bâtiment en phase d'occupation ;
8. Fiabilité du bâtiment et de ses équipements ;
9. Facilité de maintenance, facilité d'exploitation, intégration de l'usager ;
10. Facilité de déconstruction/désassemblage en vue d'une réinsertion au sein des cycles de l'économique circulaire pour les uns (matières inorganiques ou ligneuses/bois et valorisables) et un retour aux cycles naturels du carbone pour les autres (matières organiques).

La crise énergétique, un facteur aggravant

Enfin, finissons avec la crise énergétique qui impacte le pouvoir d'achat, tendant à augmenter les inégalités, le taux de précarité et donc la difficulté d'accession au logement pour les plus défavorisés (concentré dans les zones urbaines les plus tendues). Selon une étude de l'INSEE datant de 2010, les inégalités d'effort énergétique s'étaient déjà accentuées au cours des 25 ans passés, entre « ménages modestes et ménages riches, ville et campagne, types d'habitat et entre ménages âgés et ménages jeunes » (INSEE, 2010). Entre 2011 et 2020, le montant des dépenses

énergétiques annuelles par foyer était relativement stable, évalué à environ 3 200 euros, ce qui représentait environ 9% de leur budget (Commissariat général au développement durable, 2022c). Depuis lors, le prix du gaz a augmenté de 25% entre 2021 et 2022 (Statistiques gouvernement, 2022e) et celui de l'électricité de 7% (Statistiques gouvernement, 2022d). Cette dynamique semble se poursuivre en 2023 au regard des prix actuels affichés par les fournisseurs. Le prix du carburant a quant à lui augmenté de 40% entre janvier 2021 et janvier 2023 (Statista, 2023b).

Le prix de l'électricité est aujourd'hui évalué en moyenne à 250 €/MWh pour une configuration sans chauffage électrique. Le prix du gaz est estimé à 140 €/MWh, celui du fioul domestique à environ 140 €/MWh (prixfioul.fr, 2023) et le bois « bûche » à 60 €/MWh (bois-de-chauffage.net, 2023). Le prix du butane en bouteille de 13 kg est évalué 230 €/MWh (Selectra, 2019). Les carburants pour les véhicules sont considérés selon les cours en début d'année 2023 (~1,8 €/l) (Statista, 2023b). Les prix incluent l'ensemble des taxes. Concernant l'électricité et le gaz, les prix rapportés à l'unité d'énergie consommée incluent la part fixe (abonnement) sur la base des prix fournisseurs (tarif régulé de base, EDF, 2023). Il est estimé en considérant les consommations totales dédiées au résidentiel et le nombre de logement en France (INSEE, 2022a).

Ainsi, il semble que les efforts en matière de performances énergétiques des logements et véhicules ne semblent pas suffisants pour compenser la hausse des prix de l'énergie. Si la fin des voitures neuves à moteurs thermiques d'ici 2035 (Vie publique, 2022) permettra probablement de ralentir progressivement cette dynamique de hausse du coût énergétique, il sera nécessaire de la mettre en perspective avec le prix d'acquisition des véhicules s'y substituant (électrique ou à hydrogène).

2.3.3.2 L'analyse sur les dépenses de logement

L'analyse

Une analyse quantitative est proposée à cette section, dans le même esprit que pour les parties précédentes (2.1 et 2.2). Elle est basée sur le coût du logement, à la fois très lié aux enjeux économiques et aux enjeux sociaux évoqués précédemment. Elle inclut le coût énergétique lié à l'occupation de l'habitat et le transport associé. Cette démarche permet de disposer d'un indicateur final de la situation actuelle compte tenu de ces enjeux.

Cet indicateur exclut les dimensions environnementales, quelques fois imbriquées mais traitées aux parties précédentes.
La démarche ne permet pas non plus de traiter des impacts du logement (et transport associé) sur la santé ni du degré de satisfaction et du confort. Ces sujets pourraient faire l'objet d'une autre étude, en complément de l'approche globale développée précédemment. Il reste que le coût relatif à l'habitat serait un facteur clé dans la prise de décision de vivre en micro-maison au regard de l'analyse sur les motivations développées à la première partie de cette étude (cf. 1.5). De plus, les autres facteurs de motivations qui ont été analysés dans cette première partie permettent d'apprécier indirectement les éventuels besoins d'amélioration du résidentiel et de la mobilité concernant ces sujets complémentaires (confort, santé, degré de satisfaction). On pourrait mentionner à cet égard, une certaine volonté de proximité accrue du résidentiel avec la nature.

Le *Tableau 8* ci-dessous présente les résultats de l'analyse. Les consommations en énergies du résidentiel sont reprises de la partie portant sur l'enjeu climatique (cf. 2.1.2.2). Pour le reste, les principales données d'entrée sont mentionnées aux paragraphes précédents (prix) ou précisées en bas du tableau. Pour des raisons de commodité de lecture du tableau, les résultats présentés à la colonne de droite sont directement exprimés en dépenses par français, considérant donc la démographie actuelle de 67,75 millions d'habitants (INSEE, 2022c).

Tableau 8 : Données d'entrée pour l'évaluation du coût moyen du logement

Poste	Quantité	Facteur de conversion	Coût annuel par habitant
Chaleur électrique[1]	90 TWh.an^{-1}	200 €.MWh^{-1}	265 €.hab^{-1}.an^{-1}
Chaleur gaz naturel[2]	156 TWh.an^{-1}	140 €.MWh^{-1}	320 €.hab^{-1}.an^{-1}
Chaleur fioul[3]	48 TWh.an^{-1}	140 €.MWh^{-1}	100 €.hab^{-1}.an^{-1}
Chaleur au bois[4]	93 TWh.an^{-1}	60 €.MWh^{-1}	80 €.hab^{-1}.an^{-1}
Total chaleur résidentiel	**387 TWh.an^{-1}**	**145 €.MWh^{-1}**	**765 €.hab^{-1}.an^{-1}**
Electricité équipements et éclairage	77 TWh.an^{-1}	250 €.MWh^{-1}	285 €.hab^{-1}.an^{-1}
Total occupation résidentiel	**464 TWh.an^{-1}**	**-**	**1 050 €.hab^{-1}.an^{-1}**
Cout du logement hors énergie	22 000 €.hab^{-1}.an^{-1} (revenus totaux)	18%	4 000 €.hab^{-1}.an^{-1}
Total résidentiel	**-**	-	**5 050 €.hab^{-1}.an^{-1}**
Véhicules particuliers - carburant[5]	23 000 000 m^3.an^{-1}	0,0018 €.m^{-3}	611 €.hab^{-1}.an^{-1}
Véhicules particuliers - cout global hors carburant[6]	2 770 €.an^{-1}	0,56 voiture.pers^{-1}	1 550 €.hab^{-1}.an^{-1}
Total transport	**-**	-	**2 160 €.hab^{-1}.an^{-1}**
Totaux	**-**	**-**	**7 200 €.hab^{-1}.an^{-1}**

[1] : Inclut la consommation des pompes à chaleur – tarif électricité évalué avec offre plus adaptée à ce type de consommation (option « heures creuses ») – incluant toujours l'abonnement
[2] : Inclut 20% de la chaleur produite par les réseaux de chaleur
[3] : Inclut le gaz de pétrole liquéfié
[4] : Inclut 80% de la chaleur produite par les réseaux de chaleur (un peu surestimé), la part du solaire thermique est négligeable – tarif au MWh déduit avec tarif au volume, masse volumique de 600 kg.m^{-3}, PCI de 4 kWh.kg^{-1} à 20% d'humidité
[5] : Volume total obtenu à partir du volume consommé en essence (100% voitures particulières) (Statista, 2023c), déduction du volume gazole par la proportion « essence – gazole » → selon consommation moyenne par carburant et proportion du parc automobile par carburant (Statista, 2023a; Statistiques gouvernement, 2022a) – tarif selon données par carburant et la proportion « essence-gazole » (Statista, 2023b)
[6] : Cout global hors carburant incluant décote, assurances, entretien et réparations, stationnement payant et péages

Les interprétations

Les résultats de cette analyse montrent que le coût du logement hors énergie est le plus grand poste de dépenses avec environ 4 000 €/an de dépense moyenne par personne soit 55% des dépenses totales évaluées. Cette proportion monte à environ 70% en considérant le coût énergétique du résidentiel avec une dépense de 5 050 €/an en moyenne par personne.

Les 30% restants sont liés au transport (2 160 €/an), dont environ 30% relatif à la consommation en carburant. Notons que le coût des infrastructures routières est inclut en grande partie dans le coût du carburant (taxes sur le carburant) ainsi que dans le coût global du véhicule hors carburant. La partie financée par l'impôt est exclue de cette étude. Bien qu'inférieur au coût de l'habitat, le montant « transport » reste toutefois important au regard du coût de certaines alternatives, plus ou moins accessibles selon les territoires. Les inégalités de territoires évoqués précédemment sont d'autant plus préoccupantes que les prix des carburants tendent à monter en flèche. De plus, l'incapacité à se déplacer dans certaines zones reculées, pour les plus précaires, ne peut qu'accentuer la tension déjà importante sur les logements dans les zones les plus denses.

2.3.4 Le potentiel des micro-maisons

2.3.4.1 L'analyse

L'analyse présentée ici permet de comparer les coûts moyens du logement en micro-maison, hors transport, par rapport à la moyenne des dépenses évaluée à la section précédente.

Le *Tableau 9* présente les dépenses énergétiques selon les sources d'énergies sollicitées. Comme pour la partie 2.1.3, cette analyse se base sur la micro-maison de référence établie au regard des déductions de la première partie (cf. 1.7.3). Les consommations énergétiques sont identiques à celles calculées à la partie 2.1.3. Le climat considéré pour le calcul du besoin de chauffage correspond donc une moyenne française (COSTIC, 2023). Le bâtiment a une durée de vie estimée à 20 ans (cf. 1.7.3) et il est occupé par deux personnes puisqu'il s'agirait du cas général (cf. 1.4). Les prix de l'énergie considérés (avec abonnement) sont les mêmes que ceux utilisés pour l'analyse à l'échelle nationale de la section précédente. Enfin, rappelons que la configuration 100% électricité est actuellement la plus répandue (cf. 1.7.3).

Tableau 9 : Synthèse des dépenses énergétiques pour l'occupation de la micro-maison de référence

100% ELECTRICITE

Poste	Source d'énergie	Consommation	Prix de l'énergie	Dépenses du foyer	Dépenses par occupant (2)
Consommation énergie de chauffage	Réseau électrique	3 050 kWh.an^{-1} (η=98%)	250€.MWh^{-1}	760 €.an^{-1}	380 €.hab^{-1}.an^{-1}
Consommation énergie eau chaude sanitaire	Réseau électrique	1 000 kWh.an^{-1}	250€.MWh^{-1}	250 €.an^{-1}	125 €.hab^{-1}.an^{-1}
Autres consommations électrique (y c. cuisinière)	Réseau électrique	1 200 kWh.an^{-1}	250€.MWh^{-1}	300 €.an^{-1}	150 €.hab^{-1}.an^{-1}
TOTAL				**1 310 €.an^{-1}**	**650 €.hab^{-1}.an^{-1}**

GAZ / ELECTRICITE

Poste	Source d'énergie	Consommation	Prix de l'énergie	Dépenses du foyer	Dépenses par occupant (2)
Consommation énergie de chauffage	Butane	3 500 kWh.an^{-1} (η=85%)	230 €.MWh^{-1}	800 €.an^{-1}	400 €.hab^{-1}.an^{-1}
Consommation énergie eau chaude sanitaire	Butane	1 100 kWh.an^{-1} (η=91%)	230 €.MWh^{-1}	250 €.an^{-1}	125 €.hab^{-1}.an^{-1}
Autres consommations électrique (y c. cuisinière)	Réseau électrique	1 200 kWh.an^{-1}	330 €.MWh^{-1}	400 €.an^{-1}	200 €.hab^{-1}.an^{-1}
TOTAL				**1 450 €.an^{-1}**	**725 €.hab^{-1}.an^{-1}**

BOIS / ELECTRICITE

Poste	Source d'énergie	Consommation	Prix de l'énergie	Dépenses du foyer	Dépenses par occupant (2)
Consommation énergie de chauffage	Bois	3 750 kWh.an^{-1} (η=80%)	60 €.MWh^{-1}	225 €.an^{-1}	112 €.hab^{-1}.an^{-1}
Consommation énergie eau chaude sanitaire	Réseau électrique	1 000 kWh.an^{-1}	280 €.MWh^{-1}	280 €.an^{-1}	140 €.hab^{-1}.an^{-1}
Autres consommations électrique (y c. cuisinière)	Réseau électrique	1 200 kWh.an^{-1}	280 €.MWh^{-1}	335 €.an^{-1}	170 €.hab^{-1}.an^{-1}
TOTAL				**840 €.an^{-1}**	**420 €.hab^{-1}.an^{-1}**

Le prix de l'électricité est actualisé en fonction des consommations estimées pour inclure la part fixe (abonnement) dans le prix au kwh consommé – tarif régulé de base chez EDF 2023

Rappelons que le coût d'acquisition est estimé en moyenne de 60 000 € (cf. 1.7) pour une micro-maison 100% électricité ou au gaz (prix achat clé en main).

Tel que cela a pu apparaître aux parties précédentes (cf. 1.6 et 2.2.3), les questions d'acquisition du terrain restent ouvertes et son coût peut être très variable. Par ailleurs les tendances seront

sans doute à la hausse au regard de l'objectif de « zéro artificialisation net » d'ici 2050. Considérons la moyenne nationale de 90 €/m² pour l'acquisition d'un terrain en vue d'une construction de maison individuelle (Statistiques gouvernement, 2021). Ainsi, le coût d'un terrain constructible de 5 ares (cf. 1.8) représenterait un montant de 45 000 €.

Considérant la durée de vie de 20 ans du bâtiment et un lissage du coût du terrain sur 50 ans, il est possible d'estimer le coût de l'acquisition global à 4 000 € soit 2 000 € par occupant.

Le *Tableau 10* résume les dépenses lissées à l'année pour les occupants en micro-maison (mix 100% électricité).

Tableau 10 : Synthèse des dépenses lissées à l'année pour une vie en micro-maison (100% électricité)

Poste	Dépenses par implantation	Dépenses par occupant
Energie	1 300 €.an^{-1}	650 €.an^{-1}
Acquisition micro-maison (durée de vie de 20 ans)	3 000 €.an^{-1}	1 500 €.an^{-1}
Terrain (lissé sur 50 ans	900 €.an^{-1}	450 €.an^{-1}
Total	**5 200 €.an^{-1}**	**2 600 €.an^{-1}**

2.3.4.2 Les interprétations

Pour rappel, la dépense annuelle énergétique dans l'habitat est estimée à 1 050 € par personne en France (*Tableau 8*). **Une dépense énergétique annuelle de 650 € par occupant** en micro-maison, en configuration « 100% électricité » (*Tableau 8* et *Tableau 9*), équivaut donc à un **gain annuel d'environ 400 € par occupant**. La sollicitation du **gaz en bouteille (butane) réduirait ce gain à 325 €** par personne et par an quand **l'utilisation du bois de chauffage permettrait de l'augmenter** à 630 €. Si on considère le surcoût lié à l'installation du poêle au bois (avec cuisinière) et sa durée de vie de 20 ans, le gain énergétique annuel de ce dernier passerait de 630 € **à 550 € par occupant**, soit toujours supérieur à la configuration « 100% électricité ».

Ainsi, **chaque implantation** de micro-maison « 100% électricité » occupée par un couple permet un **gain énergétique** permettant d'économiser environ **800 €/an** par rapport à la moyenne nationale (2 x ~400 €). L'utilisation du bois de chauffage pourrait faire grimper ce

gain à environ 1 100 €/an. En plus de son impact sur le dérèglement climatique (cf. 2.1.2) et l'instabilité de son prix, le gaz réduirait quant à lui ce gain à environ 650 €.

Ces montants sont à mettre en perspective avec le coût global du logement en considérant le coût d'acquisition de l'habitat (le poste le plus important) et le transport associé.

Le coût lié à l'acquisition de la micro-maison est estimé à 2 000 €/an par occupant en incluant l'acquisition du terrain. C'est 2 000 € de moins que la moyenne nationale (4 000 €/an, cf. *Tableau 8*). Ce gain n'est cependant pas à considérer tel quel. En effet, le coût moyen du logement hors énergie, estimé à l'échelle nationale (*Tableau 8*), comprend toutes les charges (hors énergie) inhérentes à l'occupation du logement. Or, aucune charge (hors énergie) n'est associée à la micro-maison dans cette étude.
Si on considère le coût moyen d'acquisition de 300 000 € (cf. 2.3.3.2), pour un logement moyen de 90 m², d'une durée de vie de 50 ans, occupé par 2,2 personnes, cela revient à un coût annuel par personne de 2 730 €.
Si on considère le loyer moyen d'un appartement en location, hors charges, estimé à 900 €/mois (INSEE, 2020c, 2021c), occupé par 2,2 personnes, cela revient à un coût annuel par personne d'environ 5 000 €.
En considérant que 40% des ménages vivent en location (INSEE, 2020c), il est finalement possible d'établir une moyenne nationale du coût d'acquisition recherché (hors charges). Il serait d'environ 3 600 € par personne. Le **gain relatif à l'acquisition d'une micro-maison serait alors d'environ 1 600 €/an par occupant en micro-maison soit 3 200 €/an par implantation.** Ce gain relatif pourrait même augmenter au regard de la flambé des prix constatée ces derniers temps sur les approvisionnement en matériaux.

Finalement**, l'économie relative à ce mode de vie pourrait avoisiner 4 000 €/an par foyer soit 2 000 €/an par occupant** (baisse de ~ 45% par rapport à la moyenne nationale). Le *Tableau 1* présente une synthèse pour une comparaison avec les moyennes nationales par habitant.

Tableau 11 : Synthèse des dépenses relatives à la micro-maison en comparaison aux moyennes nationales

Poste	Dépenses par implantation	Dépenses par occupant	Moyennes nationales par habitant
Energie	1 300 €.an^{-1}	650 €.an^{-1}	1 050 €.an^{-1}
Acquisition de l'habitat	3 000 €.an^{-1}	1 500 €.an^{-1}	3 600 €.an^{-1} (4 000 €.an^{-1} coût global hors énergie)
Terrain (lissé sur 50 ans)	900 €.an^{-1}	450 €.an^{-1}	
Total	**5 200 €.an^{-1}**	**2 600 €.an^{-1}**	**4 650 €.an^{-1} (5 050 €.an^{-1} coût global)**

Au-delà de l'approche purement économique, ces gains sont à mettre également au bénéfice d'une **accession facilitée au logement** et donc à une dimension sociale figurant parmi les enjeux nationaux les plus importants. Il reste que **la somme à investir initialement n'est pas à la portée de tous** et peut nécessiter un soutien des pouvoirs publics ou associatifs. Par exemple, le coût du terrain a été lissé sur 50 ans en raison d'une dévaluation supposée quasi nulle (et aux possibilités de revente dans ce laps de temps). Il reste que pour en devenir propriétaire, l'investissement à y dédier peut facilement doubler les coûts d'acquisition (incluant la micro-maison), du moins dans les zones où l'enjeu de la densification et de la « zéro artificialisation net » est le plus fort (périphérie des grandes et moyennes agglomérations).

Concernant le transport associé à l'habitat (en voiture), selon l'analyse précédente, son coût global est d'environ 2 160 € par personne en France (*Tableau 8*). Il est donc inférieur d'environ 20% au coût de la micro-maison et de son occupation (*Tableau 10*). En plus de son impact sur le climat et la biodiversité, le transport en voiture est donc aussi une cause de dépenses non négligeables. La problématique de l'implantation des micro-maisons, déjà évoquée concernant les impacts sur la biodiversité (cf. partie Biodiversité 2.2.3), est donc importante, si un des grands objectifs est bien de diminuer ses dépenses (cf. 1.5). Il est cependant possible de nuancer ce propos au regard des solutions de substitution à la voiture qui tendent à se généraliser sur l'ensemble de territoire national. Par ailleurs, l'accès à un logement décent reste au cœur de la problématique compte tenu du caractère essentiel qu'il revêt et de son coût moyen d'accession élevé. La micro-maison se présente alors comme une alternative des plus séduisantes, en accord avec l'évaluation du mouvement effectuée à la première partie.

2.3.5 Conclusion intermédiaire

Au regard des développements précédents, résumés en *Figure 17* et complétés par l'approche quantitative de la section précédente, il apparait évidant que ce type d'habitat peut jouer un rôle intéressant concernant les enjeux économiques et sociaux (case verte « Habitat Léger » entourée de rouge de la *Figure 17*).

Sa taille réduite, sa mobilité ou « démontabilité », ses matériaux de construction et le minimalisme associé sont à la source du potentiel dégagé, se traduisant par :

- Une **préfabrication** quasi généralisée, participant ainsi à la mutation du secteur pour améliorer sa **productivité** et sa capacité à **répondre aux besoins évolutifs en matière de logement** ;
- Une **réduction du coût d'acquisition et d'opération** facilitant l'accession au logement ;
- Des gains énergétiques capables de **palier aux conséquences d'une augmentation importante des coûts d'approvisionnement** ;
- Une capacité à **participer à la transition écologique** au regard de son faible bilan carbone (cf. 2.1), son impact réduit sur la biodiversité (cf. 2.2) et une économie en ressources non renouvelables ;
- Un mode de vie qui séduit les plus âgés (cf. 1.4), entre autres pour les opportunités de rapprochement avec la nature qu'il offre (cf.1.5), apportant une **réponse originale à l'évolution des besoins en logement relatif au vieillissement de la population** ;
- Une **solution très flexible pour densifier** progressivement des zones pavillonnaires, là où la déclinaison des objectifs de « zéro artificialisation net » sera justement la plus rude.
- Une solution intéressante pour **loger décemment les personnes les plus précaires** et les réfugiés, à conditions qu'un soutient publique ou associatif entre dans la partie ;
- Une solution rapide et efficace pour fournir des **logements décents en situations d'urgence**, suite aux catastrophes naturels par exemple, sans impact significatif sur l'environnement ;
- Un potentiel de déploiement au sein des territoires apportant des solutions en matière de **mixité sociale** ;
- Un potentiel intéressant pour **redynamiser les zones rurales** reculées et participer au rééquilibrage des territoires tout en limitant l'expansion urbaine.

2.4 Ce qu'il faut retenir

L'évaluation du potentiel des micro-maisons au regard des grands enjeux de développement durable en France a permis l'extraction de quelques tendances intéressantes.

La *Figure 18* présente la synthèse des analyses quantitatives effectuées au sein de cette partie. Les colonnes foncées de gauches présentent les moyennes par Français relatives au résidentiel (la plus foncée) et au transport en voiture (un peu plus claire) qui lui est associé. La première sert de référence et de comparaison, la seconde peut être associée au bilan des micro-maisons afin d'y joindre la dimension de transport qui doit aussi être considérée. Les colonnes les plus claires représentent les résultats relatifs à la micro-maison suivant le mix énergétique concerné (100% électricité, gaz + électricité, bois + électricité).

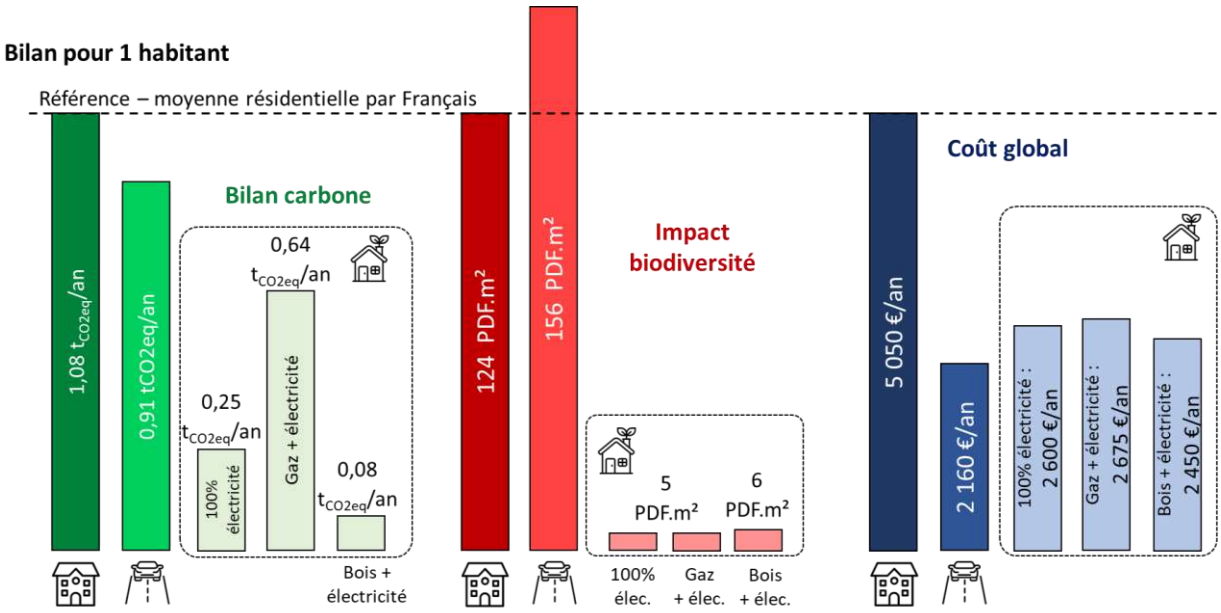


Figure 18 : Synthèse de l'évaluation quantitative sur le potentiel des micro-maisons relatifs aux enjeux de développement durable en France

D'abord un développement plus massif des **micro-maisons permettrait clairement de lutter contre le dérèglement climatique** compte tenu de son bilan carbone réduit, **notamment en combinant bois de chauffage et électricité**. Cette dernière configuration permettrait même d'approcher la neutralité carbone (hors transport) si la micro-maison n'était pas équipée d'une remorque en acier galvanisé. La tendance du mouvement et l'enjeu Climat se marient donc très

bien. Il reste que **le bilan carbone relatif au transport est aussi à considérer au regard de son impact loin d'être négligeable**.

Cette analyse a également montré dans quelle mesure cet habitat peut être une **source d'économie et une opportunité d'accéder à la propriété** à un coût raisonnable. Ce constat a d'autant plus de valeur qu'il s'agit d'une préoccupation majeur au sein du mouvement de ceux qui choisissent de vivre en micro-maison. Ce potentiel pourrait être davantage exploité pour fournir des logements décents aux populations les plus précaires.

Ces micro-maisons peuvent se présenter également comme **un levier puissant pour réduire l'impact sur la biodiversité en raison d'une imperméabilisation des sols très faible.** L'aménagement autour de l'habitat doit cependant être réduit au minimum pour ne pas en altérer les effets. De plus, **le lieu d'implantation ne doit pas participer à l'expansion des infrastructures routières, très impactantes à cet égard**. Ce constat tend d'ailleurs à souligner l'**importance de la planification urbaine** et de la réglementation en matière d'octroi de terrains, frein important du mouvement, évoqué à la première partie (cf. 1.6). Si une certaine adaptation de cette dernière serait la bienvenue, il semble donc qu'elle continuera tout de même à jouer le rôle de régulateur vis-à-vis de leur implantations ce qui tend encore une fois à remettre en cause l'intérêt de la micromaison mobile (remorquable sur la voie publique).

Il est également apparu clairement que l'objectif de «zéro artificialisation net » d'ici à 2050 permettra de réduire l'impact du résidentiel et des transports sur la biodiversité et sur les services écosystémiques qu'elle fournit, indispensables à la durabilité de nos sociétés. Le développement des micro-maisons couplées à des règles d'urbanisme adaptées pourrait présenter une **alternative intéressante et flexible pour une densification dans les zones pavillonnaires en périphérie des grandes agglomérations** (les plus touchés par l'expansion urbaine). Il pourrait également **participer au rééquilibrage des territoires** par un déploiement raisonné dans les zones rurales.

3 Une conception innovante en réponse aux besoins

Cette dernière partie vise à proposer des clés de conceptions concrètes au regard des enseignements récoltés au cours des travaux présentés aux parties précédentes. Elles considèrent donc les attentes relatives au mouvement et les enjeux de développement durable développés dans chacune des deux premières parties. L'habitat résultant de cette démarche est nommé Hausmade (acronyme de Habitat Autonome, Ultra-léger, Sain, Modulaire, Abordable, Démontable et Ecologique). Les résultats relatifs à cette conception sont présentés suivit par une évaluation de leur impacts sur les dimensions évaluées à la partie précédente. L'objectif est finalement de permettre une comparaison par rapport à une micro-maison plus conventionnelle (cf. 1.7).

3.1 Les axes de conception

Considérant l'ensemble des travaux présentées aux parties précédentes, l'objectif de ces axes de conceptions sont les suivants :

- Conserver ce qui fait la force de ce type d'habitat (taille réduite, coût, faible impact environnemental, faible imperméabilisation des sols, déplaçable…);
- Apporter une autonomie et faire sauter le verrou de l'autonomie énergétique via une solution 100% renouvelable, pour maximiser la flexibilité d'implantation et réduire la dépense des occupants aux fluctuations du prix des énergies fossiles ;
- Améliorer le confort et apporter notamment un déphasage thermique au bâtiment afin d'améliorer le confort thermique d'été, sa résilience au réchauffement climatique et faciliter l'autonomie énergétique visée ;
- Proposer une alternative à l'utilisation du bois de construction comme matériau de base au regard de la tension actuelle sur ce matériau ;
- Proposer le meilleur compromis possible entre le coût d'acquisition et le confort.

3.1.1 Le concept

Finalement, le choix s'est porté vers une micro-maison sur fondations légères. Il se justifie d'une part par la faible valeur ajoutée de la mobilité des micro-maisons sur « châssis remorque » compte tenu des règles d'urbanisme et de circulation (cf. 1.6.2.1 et 1.6.2.2). D'autre part, cela permet de s'affranchir de la contrainte forte relative à sa masse et à sa largeur (cf. 1.6.2.2). Ce

premier rend veine toute tentative d'apport en inertie thermique. S'affranchir de la contrainte en largeur permet une meilleure optimisation de l'espace. De surcroît, selon les calculs énergétiques réalisés pour cette étude (présentés aux prochaines sections), cette configuration (sur fondations légères) permet d'atteindre l'autonomie énergétique dans toutes les régions de France grâce notamment au débord de la toiture solaire. Une micro-maison mobile ne permettrait pas un tel calepinage et ne pourrait supporter le poids des équipements énergétiques dédiés. Finalement, l'absence de remorque en acier permettrait d'améliorer encore le bilan carbone inerrant à l'habitat (cf. 2.1.3).

3.1.1.1 La structure et l'enveloppe

L'ensemble correspond à une emprise au sol d'environ 20 m² (*Figure 19*). Cette surface permet de rester dans le cadre d'une déclaration préalable pour son implantation. La structure proposée est basée sur la capacité du bâtiment à tirer profit des apports naturels et sur l'utilisation du béton de chanvre-chaux comme source d'isolation et de déphasage thermique. Elle intègre également pleinement la praticité de l'habitat et son adaptation à toutes les générations (au regard de la variété des profils concernés et de l'engouement des plus âgés, cf. 1.4). L'ensemble est posé sur des micro-pieux métalliques (type « vis sans fin ») .

Figure 19 : Vues de la structure Hausmade – Source : Gianvito Corazza

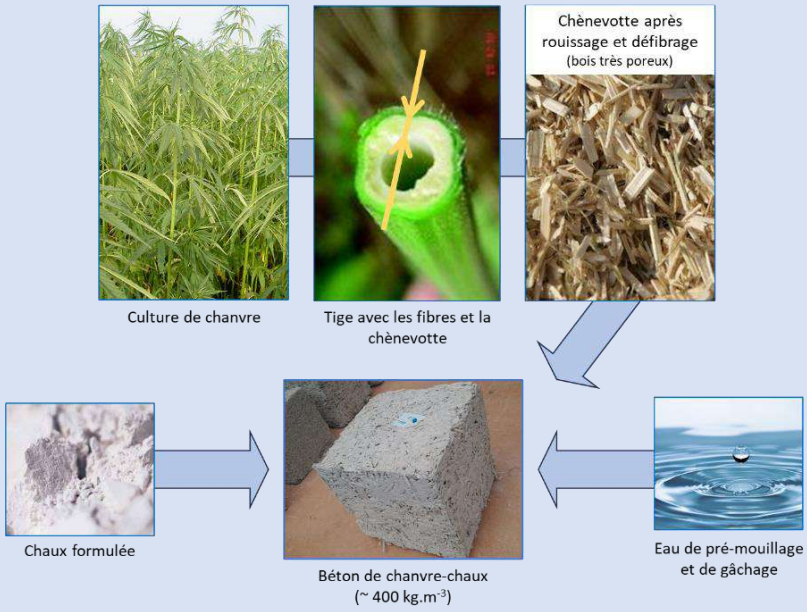
L'utilisation du chanvre-chaux pour les parois verticales et horizontales permet de disposer d'un matériau biosourcé aux propriétés hydrothermiques remarquables, apportant un **gain significatif en déphasage thermique et en régulation hydrique passive tout en conservant une masse très contenue.** En effet, c'est la perméabilité à la vapeur (et ses changements de phases par chaleur latente) qui apporte ces propriétés et non la masse du matériau. Rappelons également que la porosité ouverte du matériau permet aussi de disposer d'un excellent isolant phonique. L'utilisation de ce matériau réponds donc à des préoccupations importantes relatives à la vie en micro-maison (cf. 1.6.2.5). Le **coût est également réduit** puisque la légèreté du matériau permet de favoriser la construction hors site et les particules végétales sont bien moins couteuses que le bois d'œuvre. Enfin, son impact environnemental est très faible et peut se positionner comme une alternative intéressante au bois de construction qui connait des tensions actuellement sur son approvisionnement (*Figure 21*). D'ailleurs la productivité carbone et l'apport en biodiversité de la culture du chanvre sont comparables à celles d'une surface forestière tout en permettant une rotation des cultures et un ré-enrichissement des terres sur une seule saison.

Figure 20 : Immersion 3D de Hausmade – Source : Gianvito Corazza (www.hausmade.fr)

Pourquoi le choix du chanvre-chaux pour un béton végétal?

Le béton végétal dispose de propriétés hydrothermiques et mécaniques très intéressantes pour le bâtiment. Mais pourquoi choisir spécifiquement le chanvre et la chaux?

D'abord la perméabilité à l'air d'un liant à la chaux permet d'éviter le pourrissement du végétal avec le temps et maximise les propriétés hygrothermiques du béton par rapport au ciment (Cerezo, 2005). Il permet également d'atteindre des résistances mécaniques intéressantes et durables comparativement à d'autres liants usuels, en-dehors du ciment (Cerezo, 2005; Bevan & Woolley, 2008). Enfin, son bilan carbone est également plus faible que celui du ciment. La production de chaux aérienne (ou pure) par calcination nécessite une température d'environ 900 °C quand la production de chaux hydraulique nécessite une température de 1200 °C et le ciment de Portland, de 1450 °C.



Et alors pourquoi le chanvre et pas une autre particule végétale?

La chènevotte issue de la tige de chanvre, est utilisée pour la production de béton en raison de ses propriétés physico-chimiques et de son faible impact environnemental. De surcroît, la France est un producteur historique de cette plante issue de cultures dédiées (Hustache & Arnaud, 2008).

En effet, la chènevotte est une particule de bois disposant d'un taux de lignine lui conférant une rigidité intéressante pour la production d'un tel matériau. Elle est également très poreuse ce qui tend à améliorer les propriétés thermiques visées pour une application dans le bâtiment (Cerezo, 2005).

Enfin son bilan environnemental est excellent puisque sa culture se caractérise par :

- Une excellente productivité carbone (eq. à une surface forestière et 7 fois supérieure au maïs)
- Une absence de produits phytosanitaires et peu d'irrigation (pousse sur terres pauvres)
- Une capacité à améliorer les sols et allonger la rotation des cultures (système racinaire étendu, plante étouffante contre les adventices, puit à nitrate..)
- Un apport en biodiversité, insectes et arthropodes « forestiers », rares et écologiquement fragiles et régulateurs de ravageurs.

Figure 21 : Zoom sur les matières premières du béton de chanvre-chaux

La structure est conçue de telle sorte que les parois du bâtiment, encadrées par des montants en bois, peuvent être préfabriquées, assemblées facilement sur place (à l'aide d'une manutention dédiée) et démontées pour un redéploiement par camion.

Une baie vitrée permet une ouverture complète au Sud apportant une grande luminosité intérieure et maximisant les apports thermiques par rayonnement en période hivernale (*Figure 19*). L'ouverture en papillon permet aussi d'ouvrir largement l'habitat vers l'extérieur pendant les périodes plus douces. Elle favorise donc potentiellement le contact avec la nature ce qui est un argument non négligeable selon certains témoignages récoltés au cours de cette étude (cf.1.5).

Une entrée d'air au Nord, sur une hauteur de 40 cm sur toute la largeur du bâtiment, entre la toiture et les panneaux de chanvre-chaux du plafond, permet de profiter d'un effet Venturi (*Figure 19*). Ce système permet d'accélérer l'air par la réduction progressive de la section jusqu'à sa sortie au Sud entre le haut de la baie vitrée et la toiture (15 cm). Le rayonnement solaire au Sud crée une différence de température avec l'air au Nord, à l'initiative de la circulation de l'air sous la toiture, évacuant ainsi la surchauffe en période estivale. Le brise-soleil au Sud, utile pendant ces moments ou l'enjeu est de limiter la surchauffe du bâtiment, peut se rabattre et occulter la sortie d'air pendant les périodes plus fraiches. Un volet rabattable au Nord permet de fermer complètement le dispositif ajoutant ainsi une isolation supplémentaire en toiture en période de chauffe par immobilisation de l'air entre le plafond isolant et la toiture solaire (aux gains thermiques non considérés dans cette étude).

Finalement une ouverture en bas au Nord et une autre au-dessus de la baie vitrée au Sud sont dimensionnées pour fournir une ventilation naturelle au sein du bâtiment.

3.1.1.2 Le concept multi-fluides et les équipements techniques

Le concept retenu permet à la fois une autonomie énergétique complète dans toutes les régions de France et la fourniture d'une énergie 100% renouvelable (*Figure 22*).

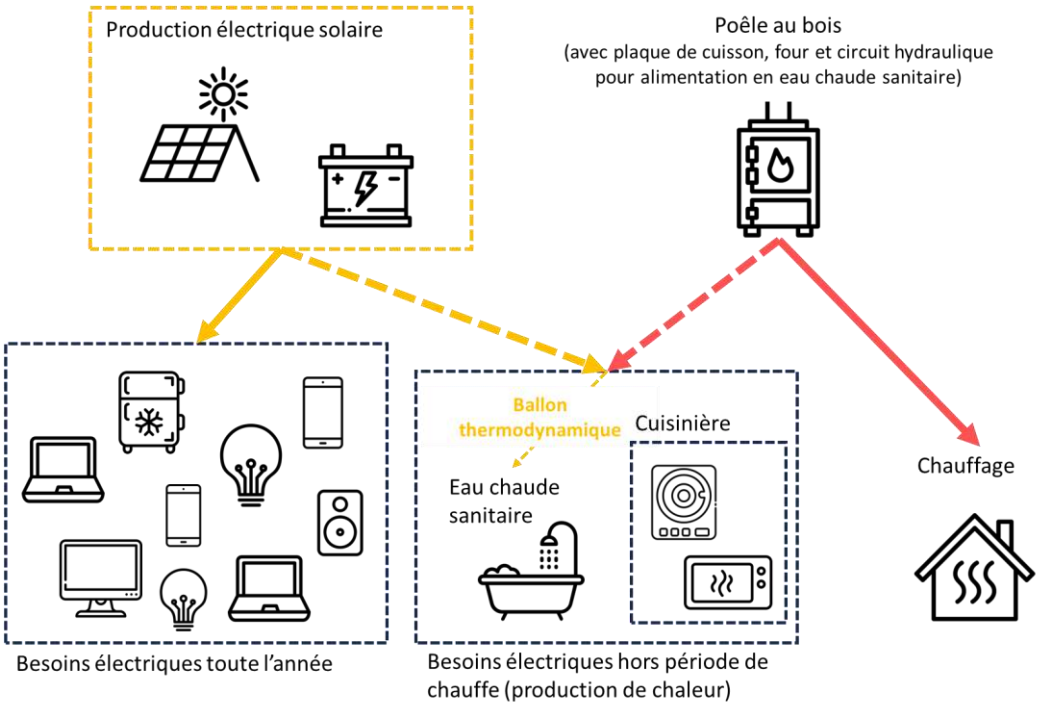


Figure 22 : Concept énergétique de Hausmade

La surface disponible en toiture permet à l'installation solaire photovoltaïque, couplée à une batterie de stockage, de fournir l'ensemble des besoins en électricité. Précisons que la reconnaissance de l'habitat léger depuis la loi ALUR de 2014 permet de disposer de la prime à l'autoconsommation relative à l'installation solaire projetée. Hors période de chauffe, le besoin en électricité inclut les équipements de la cuisine ainsi que la production d'eau chaude par un ballon thermodynamique. La machine thermodynamique (petite pompe à chaleur intégrée au ballon) permet de réduire la consommation d'électricité avec un coefficient de performance (COP), estimé à 3. Son installation à l'intérieur du bâtiment permet en plus de rafraîchir légèrement l'air intérieur en été..

En période de chauffe, le poêle au bois assure la fourniture de l'ensemble des besoins en chaleur. Par conséquent, en plus du chauffage, il prend le relai du solaire pour les équipements de cuisson et la production d'eau chaude sanitaire (via une commutation entre la pompe à

chaleur intégrée et un échangeur dans le ballon raccordé au poêle). Le ballon thermodynamique ne péjore donc pas le chauffage en hiver par son installation en intérieur et inversement la saison froide ne péjore pas sa performance. Pour cause, la pompe à chaleur intégrée est tout bonnement remplacée au cours de cette période par une alimentation directe par le poêle au bois. Mais ce concept est surtout essentiel pour permettre d'atteindre l'autonomie énergétique puisqu'il permet, en saison de chauffe, lorsque l'ensoleillement est réduit, de réduire le besoin en électricité au maximum. Il est alors divisé par 3,5 par rapport à une base déjà optimisée. Notons que pour que ce concept soit valable, il faut que les équipements de cuisson soient dupliqués : d'un côté un four micro-onde électrique et une plaque à induction, de l'autre, une plaque à conduction et un four intégré au poêle au bois.

Un système de récupération et de traitement de l'eau de pluie, associé à un stockage en eau propre disposé dans le plancher, est également prévu mais se confronte actuellement à la règlementation en la matière (Arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, 2008). Celle-ci interdit l'usage de l'eau récupérée si elle doit être en contact avec le corps ou les aliments à l'intérieur du bâti (incluant le lavage de la vaisselle). Le traitement des eaux usées est aussi proposé via un bassin de phytoépuration. Contrairement aux systèmes intégrés tels que les micro-stations d'épuration biologiques individuelles, ce dispositif de filtration par les plantes à l'avantage de disposer d'un système à la fois éprouvé, efficace et non consommateur en énergie.

Un module central multi-fluide préfabriqué est également prévu pour une intégration facilitée des équipements techniques dans le bâtiment. Il regroupe la distribution électrique en courant continue depuis l'installation solaire en toiture, les équipements de l'installation solaire (régulateur MPPT, onduleur, protections), le stockage d'énergie électrique, les protections, départs et prises pour la distribution en courant faible continue (12 V_{CC}) et courant fort alternatif (~230V_{AC}), le système de contrôle commande multi-fluide, les équipements de plomberie (raccords réseaux d'eau potable et assainissement, pompes, vannes et commutation eaux réseaux publiques – réservoirs internes), le ballon d'eau chaude thermodynamique et enfin la pompe et les vannes pour une alimentation du ballon d'eau chaude par le poêle au bois en période de chauffe.

3.1.2 Les dimensionnements

3.1.2.1 La structure et l'enveloppe

La surface intérieure du bâtiment est de 4x4 m² et la hauteur du bâtiment est de 3,6 m (micropieux inclus). La hauteur sous plafond est de 2,7 m. Les panneaux verticaux ainsi que celui du plafond, remplis de chanvre-chaux, disposent d'une épaisseur de 20 cm. Le panneaux du sol intègre un réservoir de 2 m^3 d'eau propre (environ 2 semaines d'autonomie) et dispose d'une épaisseur de 10 cm d'isolant en laine de chanvre sur sa face extérieure. La structure bois sert également d'encadrement des panneaux, réalisés en atelier pour finalement fournir des parois à assembler sur site.

La masse volumique et la conductivité thermique des parois verticales sont surévaluées dans cette étude **en prévision de travaux de recherche qui pourraient aboutir à la fourniture de parois en chanvre-chaux sans structure/encadrement connexes en bois**. Ces recherches sont menées à la chaire de biotechnologie de CentraleSupélec (Centre Européen de Biotechnologie et de Bioéconomie). Elles se concentrent sur l'optimisation des paramètres de fabrications (ratio liant/particules, compactage des mélanges, tailles des particules) pour fournir le meilleur compromis possible en termes de résistance mécanique et thermique, à une direction de sollicitation et une masse volumique données. Pour cela, une attention particulière est portée à l'influence de la microstructure sur les propriétés du matériau. Les résultats obtenus montrent qu'une configuration, en rupture avec les travaux antérieurs au regard de l'Etat de l'Art actuel, donnent d'excellents résultats. La masse volumique correspondante est actuellement pressentie à 400 kg/m^3 et correspondrait à une conductivité thermique de l'ordre de 0,08 W/m/K. Notons également que la configuration qui ressort de ces travaux permet également de disposer d'un bilan carbone encore plus favorable en raison d'un ratio liant/particules végétales très faible.

La paroi du plafond, en chanvre-chaux également, dispose d'une masse volumique de seulement 250 kg/m^3 afin de ne pas surcharger la structure et améliorer la résistance thermique de cette paroi plus sensible aux déperditions thermiques (quitte à réduire légèrement la capacité de l'enveloppe à apporter un déphasage thermique). De plus, aucune contrainte mécanique n'est

appliquée au matériau dans cette configuration horizontale (posé sur la paroi inférieure au panneau).

La paroi au sol est remplie d'un isolant en laine de chanvre sur une épaisseur de 10 cm afin de permettre l'intégration du réservoir en eau propre d'une capacité de 2 m^3. L'idée ici a été de mettre un œuvre un isolant plutôt que du béton végétal afin de bénéficier de sa faible conductivité thermique au regard d'une épaisseur d'application réduite. La laine de chanvre est un isolant biosourcé, d'environ 40 kg/m^3 et 0,04 W/m/K, qui se caractérise aussi par sa capacité à apporter une isolation phonique (et une inertie thermique pas tout à fait négligeable).

Le bilan thermique de l'enveloppe, considérant ces paramètres, est présenté par la *Figure 23*.

Figure 23 : Bilan thermique de l'enveloppe de Hausmade – plan de base : Gianvito Corraza

Hausmade permettrait de bénéficier d'un déphasage thermique de plus de 12 heures grâce à l'utilisation du béton de chanvre-chaux. La conductance thermique totale résultante de cette modélisation (incluant les coefficients de convection notés « h ») est d'environ 48 W/K soit à peine plus faible que celle de la micro-maison moyenne actuelle (cf.1.7.3), utilisée comme référence à la partie précédente. La résistance thermique de l'enveloppe est donc légèrement améliorée pour cet habitat (R=1/C).

3.1.2.2 La chaleur

Le poêle au bois

Le dimensionnement du poêle considère la puissance appelée maximale au cours de l'année pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire. Les besoins de la cuisson sont négligés pour le dimensionnement du poêle au regard de leur apport en chauffage par effet déperditif. La puissance appelée s'exprime en fonction de la résistance thermique de l'enveloppe présentée à la section précédente (*Figure 23*) et d'un écart maximal de température entre l'intérieur et l'extérieur. La température minimale extérieure peut correspondre à une moyenne journalière compte tenue de l'inertie du bâtiment. Celle-ci est considérée à -12°C pour une micro-maison capable de s'adapter à toutes les régions de France. La température maintenue à l'intérieur est considérée à 19°C au cours de ce pic de froid. La puissance pour la production d'eau chaude sanitaire est calculée pour permettre de recharger le ballon d'eau chaude (de 100 litres) à 60°C en 6 heures. La puissance thermique résultante est estimée à 2,5 kW (*Tableau 12*).

Tableau 12 : Dimensionnement de la production de chaleur pour Hausmade

Dimensionnements production chaleur		
Température extérieure de référence	-12 °C	Méthode propre à cette étude
Puissance chauffage	1,5 kW	
Volume ballon d'eau chaude	100 l	
Durée de recharge complète du ballon	6 h	Eau à 12°C, chauffée à 6O°C
Puissance eau chaude sanitaire	1 kW	
Puissance totale	2,5 kW	

Le stockage du bois

Pour connaitre le volume annuel maximal qui doit être stocké pour la micro-maison, la résistance thermique de l'enveloppe doit cette fois être associée à la dynamique des écarts de températures intérieures - extérieures au cours de l'année, pour le besoin en chauffage. Cette

grandeur s'exprime en degrés jours unifiés (DJU). Une des zones climatiques les plus froides de France, dans le Jura, considérée à 3 500 °C.jr, est choisie pour évaluer quel est le nombre de stères de bois maximal à stocker dans un cas défavorable.

La température intérieure moyenne est supposée à 20°C au cours de la période de chauffe. Cette période est rallongée au maximum, sur la base d'une température extérieure de 19°C. Ce mode de fonctionnement consiste à minimiser la sollicitation du solaire en intersaison (quand l'ensoleillement est encore aléatoire) en réduisant la période où il doit assurer la production de l'eau chaude et la cuisson (*Figure 22Figure 22*).

Le besoin pour l'eau chaude sanitaire est calculé sur la base d'une eau froide à 15°C (stockée dans le panneau du sol isolé sur l'extérieur) et une consommation en eau chaude de 50 litres par jour à 60°C.

La consommation additionnelle pour la cuisson, intégrée au poêle, est supposée négligeable, inclut dans le rendement du poêle, au regard de son apport au volume intérieur par effet déperditif.

Finalement cette configuration se rapproche de la situation la plus consommatrice en bois de chauffage (*Figure 24*).

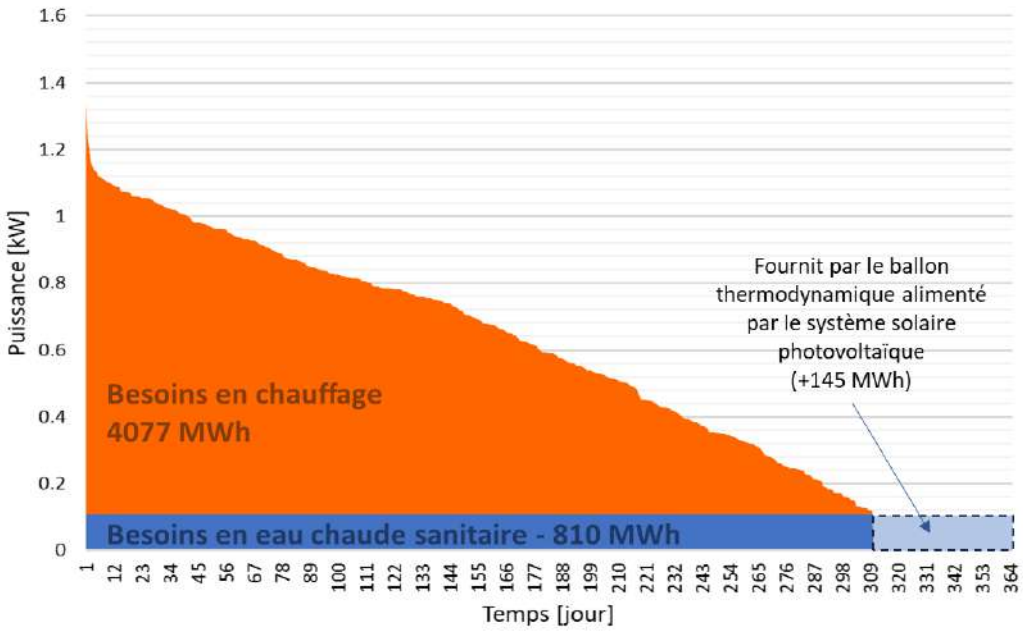


Figure 24 : Monotone de chauffage en configuration défavorable de Hausmade (localisation dans le Jura et allongement de la période de chauffe sur la base d'une température extérieure de 19°C)

Malgré la considération d'une année type dans le Jura et ses 3500 °C.jr, le jour le plus froid, visible au jour 1 de la monotone de chauffage (*Figure 24*), montre un appel de puissance en-dessous des 1,5 kW considéré pour le dimensionnement (*Tableau 14*). En effet la température moyenne journalière la plus froide recensée était de -9,5 °C contre -12°C pris en référence pour le dimensionnement. Par ailleurs, le besoin en eau chaude est lissé, ne faisant donc pas apparaître l'appel de puissance maximale, estimée à 1 kW (*Tableau 14*) pour un rechargement complet en 6h. De plus, cet appel en puissance est calculé sur la base des 100 litres du ballon quand la consommation moyenne en eau chaude est estimée à seulement 50l/jour.

Il reste que le besoin maximal en bois bûche dans cette zone climatique doit permettre la production d'environ 4 900 MWh/an auquel il est nécessaire d'associer le rendement du poêle, estimé à 80%. Le pouvoir calorifique inférieur considéré pour cette étude permet d'évaluer finalement un volume de bois maximal à stocker. Il est considéré à seulement 3,3 kWh/kg anticipant ainsi une combustion de bûches partiellement sèches (30% d'humidité). Une partie non négligeable de l'énergie issue de la combustion sera donc consommée pour sécher le bois dans le foyer.

Tableau 13 : Besoins annuels en bois pour le cas le plus défavorable

Besoin maximal en bois bûche en zone climatique défavorable		
Conductance thermique de l'enveloppe de Hausmade	48 $W.K^{-1}$	
Degrés Jours Unifiés	3 500 °C.jr	
Besoin en énergie utile	4 900 $kWh.an^{-1}$	
Rendement global du système	80 %	Incluant distribution vers la production d'eau chaude sanitaire
Besoin en énergie primaire	6 100 $kWh.an^{-1}$	
Pouvoir Calorifique Inférieur bois	3,3 $kWh.kg^{-1}$	30% d'humidité (dégradé)
Masse de bois à stocker	1 850 $kg.an^{-1}$	
Volume de bois à stocker	~ 4,5 $steres.an^{-1}$	~ 400 $kg.stere^{-1}$

Finalement, il est estimé que dans cette situation extrême, une fourniture annuelle et un stockage d'environ 4,5 stères de bois (soit 4,5 m^3 d'encombrement) doivent être assurés (*Tableau 13*).

3.1.2.3 L'électricité

Le dimensionnement de l'installation solaire et de la batterie de stockage doit se faire au regard de la consommation des équipements électriques et du chauffe-eau thermodynamique. Il est nécessaire de connaitre leur sollicitation au cours de la journée et en fonction des saisons pour un dimensionnement optimal du système. Cette démarche est d'autant plus importante qu'au-delà du coût de la batterie, son impact carbone n'est pas négligeable (cf. 2.1.2.2). Un bilan des puissances et consommations électriques au cours du temps a donc été dressé (*Tableau 14*).

Tableau 14 : Bilan des puissances et consommations électriques de Hausmade

	Puissance - W	Durée d'utilisation $h.an^{-1}$	Conso. - $kWh.an^{-1}$	Plage d'utilisation	Commentaire
Mini-réfrigérateur	50	2200	110	En continu, sollicité 25% du temps à l'équivalent de la puissance nominale	Mini-réfrigérateur, configuration avec alim. Gaz possible, environ 80l et zone de congélation
Eclairage LED	90	1640 à 50%	74	De 18h à 24h d'octobre à avril De 21h à 24h d'avril à octobre	300 lm/m^2 pour zones cuisine et salle de bain, 100 lm/m^2 pour les autres zones 20% de majoration
Deux PC portables	130	1095	142	2x3 cycles de recharges de 1h/jr, lissés entre 7h et 24h	Utilisations intensives (> 6h/PC/jr)
Ecran LCD LED	125	910	114	1h40/jr d'avril à oct. , 3h20/jr d'oct. à avril, lissées entre 7h et 24h	
Deux smartphones	50	275	14	2x1 cycles de recharges de 45min/jr lissés sur la journée	Chargeurs rapides – 1h (2x25W)
Equipements électroniques divers	40	730	29	2h/jr lissées entre 7h à 24h	Petites enceintes, lecteur disques vinyles …
Mini plaque à induction	1000	365	365	2h/jr d'oct. à avril, lissées entre 8h et 11h, 12h00 et 15h et entre 19h et 21h	Utilisée hors période de chauffe (avril à oct.) en substitution à la plaque de cuisson par conduction intégrée au poêle
Four micro-onde	1000	45	45	15min/jr d'avril à oct., lissées entre 8h et 11h, 12h00 et 15h et entre 19h et 21h	Utilisé hors période de chauffe (avril à oct.)
Chauffe-eau thermodynamique	260	730	190	Recharge 4h/jr d'avril à oct. (1.05kWh/jr), lissé sur la journée	Alimentation électrique de la PAC du ballon hors période de chauffe (avril à oct.) en substitution au chauffage de l'eau par le poêle Base calculs: 75l/jr à 55°C ; COP de 3
Majoration	100	1500	150	20% de majoration hors cuisinière et chauffe-eau, lissée sur la journée	Pertes et marges de sécurité (pics de puissances appelées vs lissages, surconsommations…)
Total période « chaude »	2 845*	-	897.5	Avril à octobre	*: pic pour utilisations simultanées
Total période de chauffe	585*	-	335.5	Octobre à avril	*: pic pour utilisations simultanées
Total année	-	-	1233		

En face de ces consommations fluctuantes, la production d'électricité est quant à elle tributaire de l'intermittence du gisement solaire. Deux situations critiques sont identifiées et prises comme référence pour le dimensionnement :

- Le mois d'octobre lorsque l'ensoleillement est en baisse et que le poêle au bois n'est pas encore sollicitée pour prendre en charge la production d'eau chaude et les équipements de cuisson ;
- Le mois de décembre lorsque l'ensoleillement est le plus faible.

Pour cette étude, le gisement utilisé est celui de la région Alsace en raison de son faible ensoleillement en automne et en hiver. Les données sont prélevées d'une installation réelle en exploitation afin de disposer de données au quart d'heure. A ce parti pris est combinée une période de chauffe retardée à la fin du mois d'octobre tel que cela peut être le cas dans le Nord-Ouest de la France où le climat est plus doux. Or, tel qu'évoqué précédemment, cette période de chauffe correspond à la période ou le poêle au bois soulage significativement le système solaire en terme de besoins énergétiques. Cette configuration permet donc d'évaluer efficacement la capacité de la conception proposée à fournir une autonomie électrique, quel que soit la région d'implantation du bâtiment en France.

Pour parvenir à l'autonomie, toute la surface disponible en toiture est exploitée. L'inclinaison de la toiture est toutefois limitée à 15° dans cette approche en raison de la partie pris architecturale. Le dimensionnement résultant de cette démarche (*Tableau 15*), abouti à une puissance de 6,5 kWc.

Tableau 15 : Dimensionnement du système solaire photovoltaïque pour Hausmade

Poste	Valeur	Commentaire
Surface panneaux	34 m^2	Débord de toiture (~70 cm, est-ouest et nord-sud selon dimension panneaux et calepinage)
Rendement panneaux	19%	Rendement moyen approximé considérant l'engagement constructeur en terme de perte maximale de performance sur 25 ans
Puissance crête	6.5 kWc	Puissance à 1000W/m^2 et 25°C (conditions STC)
Gisement solaire sur le plan des panneaux	~ 1050 kWh.m^{-2}.an^{-1} ($h_{eq.1000W/m2}$.an^{-1})	Nord-Est de la France (Alsace), plein Sud, inclinaison 15°
Rendement système	88%	D'après mesure sur installation en exploitation
Production totale	6006 kWh.an^{-1}	

Pour évaluer la capacité du système solaire à fournir une autonomie électrique et pour dimensionner la batterie en conséquence, il est nécessaire d'en analyser la dynamique au cours des périodes critiques mentionnées plus haut (octobre et fin décembre).

Les gisements journaliers considérés en référence au cours des périodes visées (octobre et décembre) correspondent à une année type (probabilité ~50%) au cours de laquelle, la probabilité que ces gisements soit inférieurs aux autres gisements journaliers au cours du mois en question, est d'environ 75%.

Les deux gisements journaliers retenus permettent d'en déduire une production répartie au pas de temps du quart d'heure. Ils sont obtenus en considérant une perte de rendement des panneaux de 5% et un rendement du système global de 88% (*Tableau 15*).

A cette dynamique de production est finalement associée la courbe de charge déduite du bilan précédent (*Tableau 14*). Cette dynamique des consommations est variable selon la période (consommation d'électricité beaucoup plus faible en période de chauffe grâce à la sollicitation du poêle au bois pour la production d'eau chaude et la cuisson). Les allures obtenues sont présentées à la *Figure 25Figure 25*.

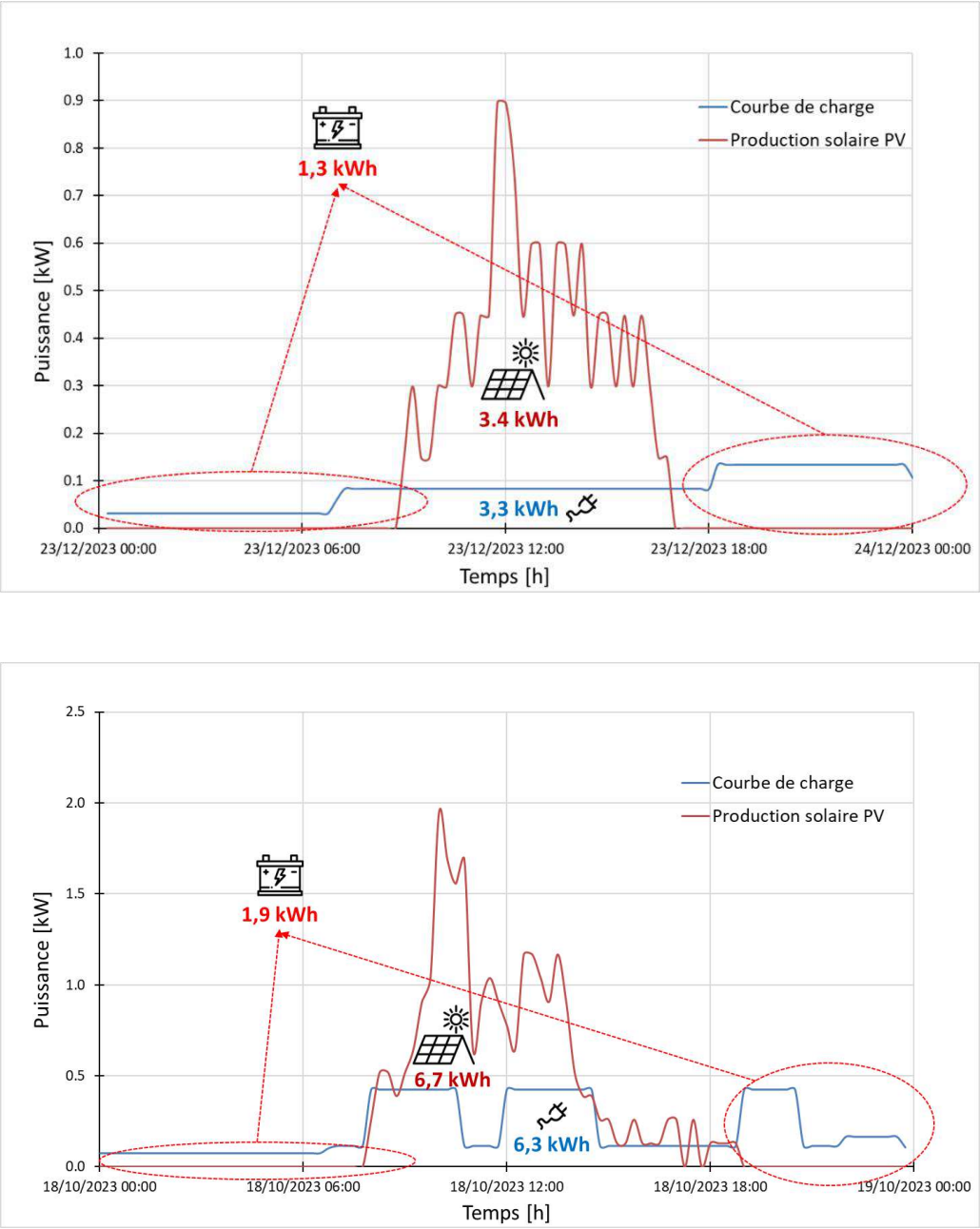


Figure 25 : Evaluation de l'autonomie électrique et dimensionnement de la batterie pour la conception proposée – en haut : journée de référence en plein hiver – en bas : journée de référence en intersaison

Notons que cette démarche n'est pas conforme aux demandes courantes des financiers pour investir dans le développement de projets solaires photovoltaïques puisqu'ils attendent généralement des estimations de productibles basées sur des probabilités de 90% (relatifs aux

gisements solaires). Notons cependant qu'au-delà de ce choix de ne pas utiliser cette démarche, davantage logique pour un investisseur que pour une telle évaluation, il est intéressant de noter que le taux d'actualisation (i) utilisé usuellement pour ce type de projet serait inférieur à 3% (ADEME, 2020; energy-alternatives, 2020). Pour rappel le taux d'actualisation caractérise le risque pour l'investisseur de ne pas obtenir le flux net de trésorerie (FT) projeté au cours de la durée de vie de l'installation. Ces flux sont donc d'autant plus péjorés à mesure que les années passent par un effet multiplicateur du risque. Il permet finalement d'obtenir une valeur actuelle nette (VAN) du projet considérant sa durée d'évaluation (*Equation 3*).

$$\text{VAN} = \sum_{t=0}^{T} \left(\frac{FT}{(1+i)^{année}} \right) \quad (3)$$

Ce taux d'actualisation est aussi utilisé pour évaluer le rendement économique du projet puisque le taux de rendement interne (TRI) ne peut commencer à être intéressant que lorsqu'il dépasse le taux d'actualisation. Pour rappel, ce TRI correspond à la valeur du taux d'actualisation (i) pour laquelle la VAN est nulle. Ainsi, un TRI égal au taux d'actualisation est un projet qui ne rapporterait aucune valeur (VAN=0 €). Précisons que la durée de vie de l'installation est généralement évaluée à 25 ans et la diminution du rendement des panneaux ainsi que le remplacement de l'onduleur (une fois au cours de cette période) doivent être anticipés. Passé l'intégration de ces paramètres (le cas de cette étude) et de la probabilité à 90% du gisement, ce faible taux d'actualisation, inférieur à 3%, informe sur le faible niveau d'incertitude de ce type de projection.

Pour revenir au choix du gisement solaire, le parti pris de cette étude est de montrer les variabilités inhérentes aux gisements en évitant de les lisser par des moyennes sur plusieurs années. L'analyse de ce gisement montre d'ailleurs que pour une implantation en Alsace (faible ensoleillement en intersaison), il n'est pas rare qu'une journée soit quasi dépourvue d'ensoleillement. Ce constat doit être considéré dans la détermination de la capacité de la batterie voir même nécessiter l'installation d'un système d'appoint, comme un mini groupe électrogène, pour les périodes les plus critiques.

Il reste que cette évaluation permet de montrer qu'une **autonomie électrique est possible pour une telle conception de micro-maison, y compris dans les régions de France les moins favorables** (*Figure 25Figure 25*). Le concept énergétique proposé se justifie pleinement au

regard de l'équilibre des projections entre l'intersaison en automne où le poêle au bois ne prend pas encore le relai pour la production d'eau chaude et la cuisson, et le plein hiver où l'ensoleillement est le plus faible mais où le besoin électrique est réduit au maximum. Pour ce qui concerne la période estivale, **un surplus considérable de production solaire peut être valorisé pour pallier à la problématique du transport** évoquée longuement aux parties précédentes (*Figure 26*). Enfin, concernant la capacité de la batterie, elle doit être adaptée au cas par cas. Pour une situation défavorable comme celle-ci, elle peut être évaluée à 10 kWh, permettant ainsi de pallier à une absence d'ensoleillement pendant quelques jours. Elle peut être réduite à quelques kWh de capacité dans des zones climatiques plus favorables.

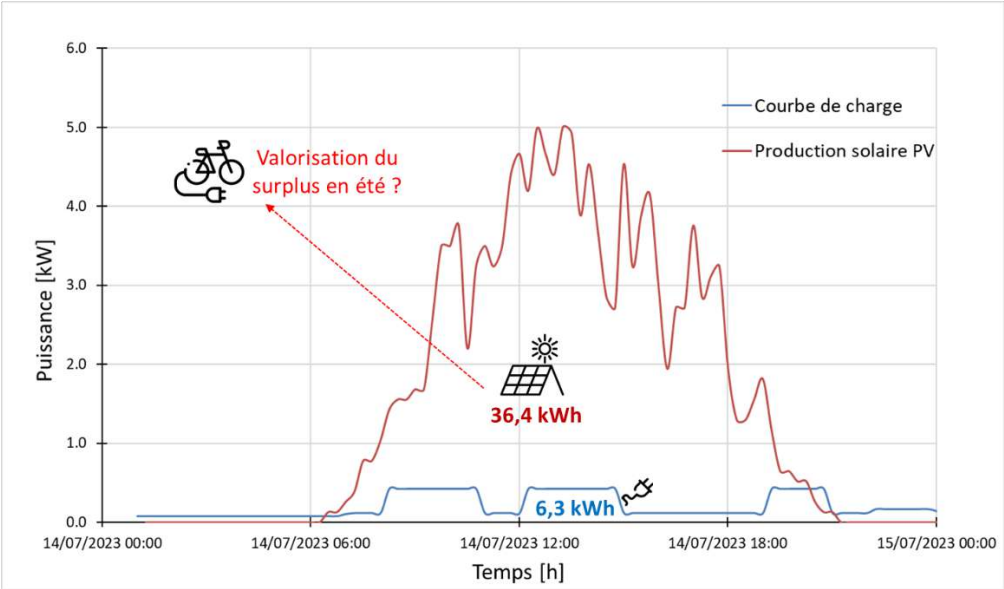


Figure 26 : Evaluation du surplus solaire en été pour la conception proposée

Ce surplus est évalué à environ 4 800 kWh (presque 4 fois la consommation) dans ce cas d'étude (cf. *Tableau 14* et *Tableau 15*). Il pourrait être encore bien plus important pour une situation géographique plus ensoleillée. En effet, il pourrait avoisiner les 10 000 kWh/an sur la côte d'Azur par exemple (avec un gisement sur plan horizontal de l'ordre de 1600 kWh/m²/an).

Sachant qu'une voiture électrique consomme en moyenne 17 kWh pour 100 km parcouru, selon le constructeur automobile Renault ((Renault, 2023)), le potentiel peut donc être évalué entre 28 000 km/an et 58 000 km/an selon la localisation de la micro-maison. Il reste la problématique du manque de soleil en hiver (et en intersaison pour les zones défavorables) ainsi que le coût relatif au stockage du surplus de puissance en pleine journée (quand la voiture n'est pas toujours disponible pour une recharge). L'alimentation d'un moyen de transport électrique est toutefois

intéressant au regard de la puissance installée en toiture et de l'importance du transport pour les dimensions économiques, sociales et environnementales évaluées à la partie précédente.

3.1.2.1 L'eau

Le besoin en eau propre est estimé à un minimum de 100 l/jour par micromaison soit 36,5 m^3/an, considérant l'efficacité des équipements consommateurs et excluant le besoin en eau pour l'hydratation humaine. Même en considérant une évolution de la réglementation et l'installation d'un système de traitement, sans accès au réseau d'eau potable, l'hydratation devra certainement toujours faire l'objet d'un achat d'eau en bouteille chez les distributeurs.

Les précipitations moyennes annuelles cumulées dans l'hexagone sont évaluées à un peu plus de 900 mm (Commissariat général au développement durable, 2020a; Météo France, 2023). En considérant cette données et une surface de toiture de 34 m² (cf. *Tableau 15*), le potentiel de récupération annuel est alors estimé à 31 m^3. Celui-ci est proche du besoin estimé mais ne considère ni les variations géographiques de la pluviométrie au sein de territoire national ni sa variation au cours de l'année. En effet, elle peut dépasser 2000 mm cumulée à l'année en montagne quand le minimum est estimé à 500 mm. Avec un besoin de 100l/jour, le stockage de 2 m^3 intégré au plancher permettrait quant lui une autonome d'une vingtaine de jours en temps sec (sans pluie).

En somme, la conception proposée est prête à tirer parti d'une évolution de la réglementation qui irait dans le sens d'une autonomie en eau. Celle-ci est d'autant plus probable (à moyen ou long terme) que le stress hydrique dans certaines zones est de plus en plus préoccupant. Il reste que la conception visée nécessiterait un remplissage d'appoint du réservoir de 2 m^3 pour les implantations dans les zones où les précipitations annuelles cumulées sont inférieures à 1000 mm, ou lorsque le nombre de jours sans pluie serait trop important.

Concernant le système de traitement des eaux usées, plusieurs systèmes existent et sont capable de remplir le mission efficacement. Le système de filtration par les plantes est choisi en raison de sa capacité à s'autogérer sans alimentation énergétique. Compte tenu du volume d'eau à traiter et de l'estimation de sa charge en matière organique, la surface du bassin est estimé compris entre 5 et 7 m².

3.1.2.2 Le coût d'acquisition

Cette étude montre donc qu'apporter un haut niveau de confort thermique en hiver comme en été, ainsi qu'une autonomie énergétique, sont des objectifs techniquement atteignables quel que soit la région d'implantation en France. Le volume de vie est également optimisé. Il reste la question du coût d'acquisition. Par conséquent, une évaluation a été effectuée en ce sens et est synthétisée au travers du *Tableau 16* ci-dessous. Précisions qu'elle ne correspond pas au prix de l'habitat clé en main. Il s'agit d'une configuration qui laisse à l'acquéreur le soin de l'aménagement. En effet, il s'agit d'une formule intéressante au regard des tendances dégagées à la première partie (cf. 1.7). Précision aussi que la marge du constructeur (Hausmade) n'est pas prélevée et qu'il s'agit de coûts estimatifs.

Tableau 16 : Estimatif des coûts de Hausmade sans l'aménagement

Coût de la construction (hors aménagement)	
Fourniture et installation des micro-pieux	2 000 €
Structure et panneaux de chanvre-chaux	10 000 €
Menuiseries (fourniture et intégration)	10 000 €
Assemblage de la structure sur site	5 000 €
Module technique multi-fluide	5 000 €
Système de production de chaleur	5 000 €
Système solaire photovoltaïque (avec batterie) et étanchéité*	15 000 €
Coût construction (hors marge)	**~ 50 000 €**

** : Le coût du système solaire inclut la prime à l'autoconsommation (Ministère de l'économie et des finances, 2023)*

Finalement le coût du concept proposé s'inscrit pleinement dans la volonté des acquéreurs de réduire leurs dépenses puisque d'une part son prix pourrait être proche du prix du marché (cf.1.7) et d'autre part le système solaire est une source d'économie non négligeable. Le prix du marché est évalué autour de 45 000 € pour un micro-maison mobile disposant des équipements techniques sans les aménagements (cf.1.7). Le concept proposé pourrait aboutir à un prix semblable, voir inférieur, si on y soustrait le système solaire (avec batterie).

3.2 Le bilan

La conception proposée reste à la fois fidèle aux besoins exprimés au sein du mouvement et à ce qui fait la force de cet habitat au regard des grands enjeux actuels. Cette section dresse le bilan de la conception proposée afin d'en ressortir les améliorations au regard des analyses antérieures.

3.2.1 Le bilan carbone

L'évaluation du bilan carbone est effectuée de sorte à pouvoir la comparer à la micro-maison de référence (cf. 2.1.3). La variation des températures extérieures, utilisée pour l'évaluation du besoin en chauffage correspond donc à une moyenne en France (COSTIC, 2023). Le *Tableau 17* ci-dessous résume les données d'entrées et les résultats à la base du bilan. Ajoutons que la durée de vie de Hausmade pourrait dépasser aisément les 20 ans de durée de vie compte tenu de la structure proposée ce qui n'est pas considéré pour cette étude. Il s'agit d'une démarche à la fois conservatrice et facilitant la comparaison avec la micro-maison de référence. Ce choix n'influence pas significativement les tendances dégagées par cette étude.

Tableau 17 : Données d'entrée et évaluation des besoins pour le bilan carbone de Hausmade

Poste	Micro-maison de référence	Hausmade
Durée de vie	20 ans	20 ans
Bois de construction	2 000 kg	3 700 kg
Conductance thermique	50 $W.K^{-1}$	48 $W.K^{-1}$
Degrés Jours Unifiés	2 500 °C.jr	2 500 °C.jr
Besoin en chauffage	3 000 $kWh.an^{-1}$	2 880 $kWh.an^{-1}$
Consommation eau chaude (à 55°C)	50 $l.jr^{-1}.foyer^{-1}$	50 $l.jr^{-1}.foyer^{-1}$
Consommation énergie pour eau chaude sanitaire*	1 000 $kWh.an^{-1}$	955 $kWh.an^{-1}$ (50% poêle au bois / 190 kWh électricité)
Rendement poêle et distribution (η)	80%	80%
Autres consommations énergétiques (y c. cuisinière)**	1 200 $kWh.an^{-1}$	1 300 $kWh.an^{-1}$ (410 kWh provenant du poêle au bois)

* : Le besoin en eau chaude sanitaire est assuré à 50% par le bois dans cette configuration d'implantation (octobre à avril), les 50% restants sont répartis entre la valorisation de la chaleur de l'air ambiant et l'alimentation électrique (190 $kWh.an^{-1}$) du ballon thermodynamique, cf. *Tableau 14*.

** : Sur les 1300 $kWh.an^{-1}$ d'énergie consommée par les « autres équipements » de la conception proposée, 50% du besoin relatif aux équipements de cuisson est assuré par le poêle au bois (410 $kWh.an^{-1}$), cf. *Tableau 14*.

Le *Tableau 18* ci-dessous présente la synthèse du bilan carbone relatif à la conception proposée. L'intensité carbone du matériau de chanvre-chaux a été calculée à partir de la fiche FDES du système BIOSYS de l'entreprise Vicat avec une correction relative à la formulation innovante considérée pour cette étude (plus vertueuse). L'intensité carbone relatif aux panneaux solaires considère l'empreinte carbone d'une production en France (partis pris pour cette conception). Enfin, le bilan carbone de la batterie, d'une capacité estimée à 5 kWh pour cette situation climatique (moyenne en France), est évalué avec une durée de vie de 15 ans (plutôt optimiste). Notons que le bilan carbone de l'installation solaire et de la batterie sont négligés pour cette étude.

Tableau 18 : Synthèse du bilan carbone de Hausmade

Poste	Source d'énergie	Quantité (ou capacité de batterie)	Intensité carbone	Emission de GES	Emission GES par occupant
Béton de chanvre-chaux	-	3 700 kg	- 200 $g_{CO2eq}.kg^{-1}$	- 37 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	- 18 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Consommation énergie primaire pour chauffage	Bois	3 600 $kWh.an^{-1}$ (η=80%)	30 $g_{CO2eq}.kWh^{-1}$	108 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	54 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Consommation énergie primaire pour eau chaude sanitaire[1]	Bois	650 $kWh.an^{-1}$ (η=80%)	30 $g_{CO2eq}.kWh^{-1}$	20 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	10 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Panneaux solaires photovoltaïque[2]	Solaire PV	6006 $kWh.an^{-1}$	25 $g_{CO2eq}.kWh^{-1}$	150 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	75 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$
Stockage électrique[3]	Batterie	5 $kWh.15ans^{-1}$	1 500 $kg_{CO2eq}.kWh^{-1}$	500 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$	250 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$
TOTAL				**740 $kg_{CO2eq}.an^{-1}$**	**370 $kg_{CO2eq}.hab^{-1}.an^{-1}$**

[1] : La consommation de bois relatif au besoin en eau chaude sanitaire considère (en plus du rendement de 80%) que 50% du besoin est assuré par le système solaire photovoltaïque (avril à octobre).
[2] : Le bilan carbone des panneaux est basé sur la production totale de l'installation et non sur la partie consommée afin de correspondre à l'intensité carbone (France Nature Environnement, 2022)
[3] : L'impact carbone du stockage électrique est lissé sur sa durée de vie en considérant son intensité carbone (Agence suédoise pour la recherche et l'environnement, 2017)

Cette analyse montre que l'autonomie énergétique a un prix à payer en matière de bilan carbone, surtout au regard du mix électrique national bas carbone.

Pour rappel, la micromaison de référence « 100% électricité » disposerait d'une bilan de 250 kg_{CO2eq}/an, la micromaison « gaz + électricité », qui connaissait encore un franc succès il y a peu de temps, était évaluée avec un impact moyen de 640 kg_{CO2eq}/an et enfin l'impact de la micromaison de référence alimentée au bois de chauffage était estimé à 85 kg_{CO2eq}/an (*Figure 18*)

Le bilan carbone de Hausmade serait fortement péjoré par l'utilisation d'une batterie. Ainsi, il dépasserait de 50% le bilan carbone de la micro-maison de référence « 100% électricité ». Il reste toutefois largement en-dessous de l'impact de celle qui utilise le gaz pour la production de chaleur.

Au-delà de permettre d'atteindre l'autonomie visée, l'utilisation du bois de chauffage compense l'empreinte de la batterie pour aboutir à un bilan carbone 65% inférieur à la moyenne du résidentiel en France (*Figure 18*). Rappelons également que le surplus solaire pourrait être valorisé pour alimenter un moyen de transport électrique. La recharge d'une voiture électrique n'est pas à exclure, notamment dans une zone climatique favorable. Il s'agit d'un argument fort compte tenu de l'impact carbone relatif au transport (*Figure 18*).

3.2.2 Les économies

L'évaluation des économies relatives à la conception proposée peut s'analyser par comparaison à la micromaison de référence et à la moyenne nationale.

Le *Tableau 19* présente les dépenses énergétiques en reprenant les consommations énergétiques de la section précédente, considérant la zone climatique correspondante, avec une variation des températures moyenne en France (*Tableau 17*).

Tableau 19 : Synthèse des dépenses en bois de chauffage pour Hausmade

Poste	Source d'énergie	Consommation	Prix de l'énergie	Dépenses du foyer	Dépenses par occupant (2)
Consommation énergie primaire pour le chauffage	Bois	3 600 kWh.an^{-1} (η=80%)	60 €.MWh^{-1}	216 €.an^{-1}	108 €.hab^{-1}.an^{-1}
Consommation énergie primaire pour l'eau chaude sanitaire*	Bois	625 kWh.an^{-1} (η=80%)	60 €.MWh^{-1}	37 €.an^{-1}	19 €.hab^{-1}.an^{-1}
TOTAL				**250 €.an^{-1}**	**125 €.hab^{-1}.an^{-1}**

Le coût d'acquisition peut être estimé un peu en-dessous du prix du marché sans le système solaire et avec les aménagements inclus (à réaliser par l'acquéreur). En effet, il pourrait avoisiner les 55 000 € (cf.3.1.2.2) contre 60 000 € en moyenne actuellement (cf.1.7). A ce montant doit être ajouté environ 15 000 € pour bénéficier du système solaire complet.

Bien que très variable, le coût d'acquisition du terrain peut une nouvelle fois être approximé à 45 000 € (cf.2.3.4).

Finalement, le *Tableau 20* résume les dépenses relatives à la vie dans Hausmade. Précisons que le coût relatif à l'installation solaire inclut le coût du grand remplacement (onduleur et batterie ~ 5 000 €) et suppose une durée de vie de 25 ans. Le cout de maintenance courante de ce type d'installation peut être négligé pour cette étude.

Tableau 20 : Synthèse du bilan économique de la vie dans Hausmade comparée à la micro-maison de référence

	Micro-maison de réference		Hausmade	
Poste	**Dépenses par implantation**	**Dépenses par occupant**	**Dépenses par implantation**	**Dépenses par occupant**
Energie	1 300 €.an^{-1}	650 €.an^{-1}	250 €.an^{-1}	125 €.an^{-1}
Système solaire complet*	-	-	800 €.an^{-1}	400 €.an^{-1}
Acquisition micro-maison (durée de vie de 20 ans)	3 000 €.an^{-1}	1 500 €.an^{-1}	2 750 €.an^{-1}	1 375 €.an^{-1}
Terrain (lissé sur 50 ans	900 €.an^{-1}	450 €.an^{-1}	900 €.an^{-1}	450 €.an^{-1}
Total	**5 200 €.an^{-1}**	**2 600 €.an^{-1}**	**4 700 €.an^{-1}**	**2 350 €.an^{-1}**

** : incluant le grand remplacement (onduleur et batterie)*

Cette analyse fait apparaître des gains énergétiques importants. Environ 1 000 € par an serait économisé par foyer en vivant dans Hausmade en comparaison à la micro-maison de référence (100% électricité). Cette tendance varie peut en fonction des mix énergétiques de la micro-maison de référence (*Figure 18*). Malgré les apports relatifs à cette conception innovante, le coût de la structure et de l'enveloppe reste maitrisé, notamment en raison du prix actuel du bois de construction. Toutefois, le coût du système solaire contrebalance ces gains pour finalement aboutir à environ 500 € par foyer et par an d'économie supplémentaires avec Hausmade.

Il est donc possible de déduire que Hausmade permet de rester en phase avec la volonté du mouvement de réduire ces dépenses relatives à l'habitation. Il pourrait même permettre de réduire encore un peu plus ses dépenses au regard de la micro-maison de référence.

L'investissement un peu plus important, en raison du système solaire, peut toutefois freiner son développement. Des leviers sont donc encore à identifier pour pallier cette problématique (facilitation des prêts, développement de la location, contracting…). Notons que l'utilisation du chanvre-chaux permet des économies substantielles grâce à sa capacité à se substituer au bois

d'œuvre (et à l'isolant thermique) tout en conservant un mode de construction hors site ou par préfabrication.

3.2.3 Les améliorations majeures

Les analyses précédentes ont montré que **Hausmade reste dans la même lignée que ses devancières pour participer à la lutte contre le dérèglement climatique**. Par ailleurs, elle dispose des **mêmes grandes caractéristiques qui en font un levier** très intéressant en termes de **lutte contre la perte en biodiversité et contre l'artificialisation** des sols. Enfin, **les améliorations apportées ne péjorent pas son coût** global et tend même à le diminuer. L'habitat reste ainsi conforme à un enjeu important à la fois d'un point de vue du mouvement lui-même (cf. 1.5) et des enjeux économiques et sociaux développés à la partie précédente.

Ses améliorations passent inévitablement par l'abandon de sa capacité à être tractée par une voiture sur voie publique mais cette étude montre que l'avantage de cette caractéristique ne se justifie par vraiment dans le contexte national (cf. 1.5 et 1.6). De plus, **Hausmade peut être démonté et redéployé par camion** plusieurs fois dans son cycle de vie.

Fidèle au minimalisme à la source de ce mouvement (cf.1.3), **Hausmade permet d'améliorer considérablement le confort**, notamment au regard des freins majeurs identifiés à la première partie (cf. 1.6). Ainsi, l'utilisation du **béton biosourcé à base de chanvre et de chaux permet** à la fois d'assurer une isolation thermique conforme aux attentes, **un déphasage thermique remarquable**, une très bonne isolation phonique et une **régulation de l'humidité intérieure**, tout cela **à un coût maitrisé** comparativement aux micro-maisons plus conventionnelles. En effet le choix du chanvre-chaux ne maximise pas seulement le confort passif puisqu'il est capable de combiner ces vertus **avec une masse très contenue**. Sa microstructure, caractérisée par une porosité ouverte et des interactions avec l'eau dans l'air, apporte une inertie (ou déphasage) thermique proche de celle d'une paroi lourde en pierre. Sa masse réduite permet de s'adapter aux contraintes de l'habitat léger et au mode de construction hors site plus économique. Cette combinaison d'avantages est inégalable sur le marché. Rappelons également que si une paroi en bois (couplé à un isolant léger) est également légère et préfabricable, elle n'apporte pas le confort passif attendu et ce matériau subit de surcroît une inflation importante ces dernières années.

L'architecture proposée apporte également sa pierre à l'édifice en fournissant un espace de vie équilibré, maximisant les apports naturels et en proposant une conception qui maximise le contact avec la nature. L'ensemble de l'habitat reste léger (~ 8 tonnes) et fait appel aux processus de préfabrication.

La conception permet d'atteindre **une autonomie accrue et même totale concernant la dimension énergétique,** quelle que soit la zone climatique concernée sur le territoire national. Celle-ci répond à un besoin, exprimé directement (cf. 1.5) ou par l'intermédiaire de la contrainte relative à l'**accès au terrain** (cf. 1.7). Elle maximise les opportunités d'accéder à des terrains à moindre coût, non viabilisés. Elle permet aussi d'**anticiper l'éventualité de tensions encore accrues sur les approvisionnements en énergies** fossiles (cf. 2.3.2). L'empreinte carbone des batteries de stockage pourrait parallèlement diminuer progressivement avec l'accélération mondiale de la transition énergétique.

Enfin, **le surplus solaire** (important en raison des variations saisonnières) permet d'apporter **une réponse potentiellement efficace à la problématique du transport** associé au logement, évoqué tout au long de la seconde partie.

Concluons cette partie en y apportant quelques nuances et une piste complémentaire de développement. Si Hausmade se présente comme un habitat adapté à toutes les régions, ses avantages différenciants sont peut-être encore plus forts dans les régions les plus chaudes et ensoleillées. En effet, sa capacité à apporter un déphasage thermique important est un de ses atouts centraux. De surcroît, plus la région dispose d'un gisement solaire important en hiver et en intersaison plus la puissance solaire et la capacité de la batterie peuvent être revues à la baisse, réduisant ainsi le coût d'acquisition. D'ailleurs, au-delà d'une utilisation comme habitat permanent, un débouché non négligeable sur le marché de la location de vacances n'est largement pas à exclure.

Et, je ne peux pas m'empêcher de rebondir une dernière fois en précisant que la capacité de Hausmade, déjà bien isolé, à réguler l'humidité du volume intérieur, à maximiser les apports naturels et à isoler phoniquement l'intérieur des bruits relatifs aux intempéries, en font aussi un habitat tout à fait adapté à une implantation dans des zones climatiques moins clémentes. Et quoi de plus romantique que de se rapprocher du feu avec son compagnon ou sa compagne lorsque les températures sont au plus bas en hiver?

Conclusion

Le mouvement des micro-maisons est en pleine croissance en France depuis son arrivé sur le territoire dans les années 2010. Cette étude a permis de mettre en lumière son potentiel. Les principes du minimalisme sont à la source de ce mode de vie et de ce qui fait la particularité de ce type d'habitat. Le facteur économique et la simplicité relatifs à ce mode de vie figurent parmi les principaux arguments pour opérer ce changement radical de mode de vie. Si l'engouement est clairement perceptible, il reste que des freins importants ont été relevés.

Il semble que l'accès au terrain soit au cœur des préoccupations parmi les contraintes relatives à l'acquisition et l'implantation de l'habitat. Les règles d'urbanisme, la politique locale et son coût sont autant de facteurs décriés au travers de certains témoignages. Or, l'évaluation relative aux enjeux nationaux a montré que le potentiel des micro-maisons semble encore largement sous-exploité. Sa capacité à faiblement imperméabiliser les sols et à densifier les zones pavillonnaires (par division parcellaire) présente cet habitat comme un levier puissant et une solution flexible au regard de l'enjeu « zéro artificialisation nette » d'ici à 2050. Les zones pavillonnaires à la périphérie des grandes et moyennes agglomérations sont d'ailleurs la première source d'expansion urbaine. Une adaptation des règles d'urbanisme à la spécificité de ce type d'habitat pourrait également aboutir à l'octroi de terrains dédiés, en périphérie des zones constructibles et donc plus proche de la nature (argument d'importance au sein du mouvement). Précisons toutefois que l'étude a aussi montré que le lieu de l'implantation peut influencer considérablement l'évaluation environnementale inhérente à la vie en micro-maison. En effet, l'impact du transport routier sur le bilan carbone et la biodiversité est du même ordre de grandeur que celui de la moyenne nationale relative au résidentiel. D'une part le bilan carbone associé au logement se caractérise par la consommation de carburants encore quasi-exclusivement d'origine fossile. D'autre part, l'artificialisation est une grande source d'impact sur la biodiversité, et les infrastructures routières sont en première ligne.

Pour autant, disposer d'une certaine autonomie, notamment énergétique, a été identifié comme un levier intéressant pour apporter davantage de flexibilité concernant cette problématique relative à l'implantation. De plus, elle permet de répondre à un besoin identifié au travers de certains témoignages, lié à un besoin de liberté. A cela s'ajoute l'indépendance qu'elle apporte envers la fluctuation et l'augmentation des prix des énergies fossiles.

La micro-maison se caractérise également par l'équilibre qu'elle propose entre le minimalisme mentionné plus haut et le confort. Là aussi, quelques inconvénients importants ont émergé de cette étude. Le manque d'inertie thermique du bâtiment figure parmi ceux-ci, et est d'autant plus préoccupant que le réchauffement climatique tant à s'accentuer. Ces paramètres, affectant le confort, sont pourtant indissociables des micro-maisons mobiles ; tractables en voiture (limitées en masse et en largeur), encore largement majoritaires, directement inspirées des réalisations américaines. Considérant ces limitations et le contexte urbanistique évoqué précédemment, il semble qu'une micro-maison sur fondation légère (et démontable) se justifierait davantage en France.

Une conception innovante a finalement pu émerger de ces travaux en considérant les enseignements récoltés au cours de cette étude. Elle a su conserver ce qui fait la force et le succès de ce type d'habitat. Son bilan carbone reste excellent en comparaison à la moyenne nationale. De même, son coût global reste très attractif, bien inférieur à la moyenne nationale et légèrement inférieur à la micro-maison de référence utilisée à des fins de comparaison. Ce paramètre a d'ailleurs bénéficié d'une attention particulière au regard, d'une part de ce qui caractérise le mouvement, et d'autre part des enseignements récoltés au cours de l'analyse sur les enjeux économiques et sociaux.

L'habitat, inférieur à 20 m² d'emprise au sol et sur fondations légères, est conçu pour maximiser les apports naturels et est basé sur l'utilisation du béton de chanvre-chaux. Cette configuration permet de résoudre l'ensemble des problématiques relatives à l'habitat lui-même. Mentionnons à cet égard les propriétés hygrothermiques remarquables du matériau biosourcé sélectionné. Son comportement confère à l'habitat le déphasage thermique et le confort hydrique dont il avait besoin sans l'alourdir outre mesure grâce à sa perméabilité à la vapeur (propre à ce matériau). Il est donc capable de combiner haut niveau de confort et légèreté. La fabrication du bâtiment sollicite d'ailleurs les processus de préfabrication pour des questions notamment économiques, tout en proposant une alternative au bois de construction (dont le prix est en augmentation ces dernières années). L'architecture propose en outre un rapport à la nature facilité afin de répondre à une attente identifiée au cours de l'analyse du mouvement.

La conception était également centrée sur l'objectif d'autonomie avec un approfondissement sur l'autonomie énergétique, identifié comme verrous majeur. Les résultats de l'étude montrent que celle-ci est atteignable dans le contexte d'une implantation déclinée à

toutes les régions de France. Un tel habitat permet donc de maximiser les opportunités d'accès au terrain à moindre coût, supprimer les dépenses énergétiques des occupants et leur dépendance aux énergies fossiles. La grande variété de climats en France permet d'ailleurs une extrapolation de cette conception à de nombreuses régions du Monde. Pour parvenir à cette autonomie, le système combine le solaire photovoltaïque, batterie de stockage, ballon thermodynamique et poêle au bois. Ce dernier déleste la majorité des besoins en solaire photovoltaïque en période de chauffe, lorsque le rayonnement solaire est le plus faible dans l'année.

L'utilisation du bois de chauffage permet également de réduire significativement le bilan carbone de l'habitat, compensant celui relatif à la batterie de stockage. En effet, précisons que cette dernière, dans l'état actuel des processus de fabrication, ne permet pas à l'habitat d'atteindre un bilan carbone neutre. Le bilan reste toutefois proche des micro-maisons considérés en référence, conforme aux attentes d'une partie des adhérant à ce mouvement, et en phase avec les enjeux nationaux relatifs au climat. Enfin, le surplus solaire au cours des belles périodes permet d'envisager des solutions de mobilités électriques capables de lutter efficacement contre la problématique du transport. Ajoutons qu'une telle conception est particulièrement résiliente, notamment aux inondations (fondations légères réglables en hauteur couplé à une certaine légèreté de l'habitat), aux défaillances des réseaux (par l'autonomie) et aux séismes (par la ductilité du chanvre-chaux).

Au regard de l'ensemble des analyses effectuées au cours de cette étude et des propositions apportées, la micro-maison disposerait d'un avenir radieux devant elle. Sa capacité à réduire l'impact environnemental relatif au logement et celle permettant de répondre à de nombreux enjeux économiques et sociaux en sont la preuve. Un développement plus massif pourrait d'ailleurs permettre d'envisager l'utilisation de ce type d'habitat pour le logement décent des populations les plus précaires (et les réfugiés) ainsi que les victimes de catastrophes naturelles, avec l'aide du secteur publique et des associations concernées.

Bibliographie

18h39 (Réalisateur). (2022). *Prix, terrain, mode de vie... Comment réaliser votre rêve de vivre en tiny house ?* https://www.youtube.com/watch?v=Jwgewgcb8A8

Abbas, M. S., McGregor, F., Fabbri, A., Ferroukhi, M. Y., & Perlot, C. (2022). Effect of moisture content on hygrothermal properties : Comparison between pith and hemp shiv composites and other construction materials. *Construction and Building Materials*, *340*, 127731. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127731

ADEME. (2022). *Analyse du cycle de vie du bois énergie collectif et industriel—Synthèse* (p. 48).

ADEME. (2018). *Les émissions de CO2 par énergie*. Économie d'energie. https://www.economiedenergie.fr/les-emissions-de-co2-par-energie/

ADEME. (2020). *Photovoltaïque : L'ADEME détaille les coûts et la rentabilité des installations solaires*. https://www.nextinpact.com/article/30004/108653-photovoltaique-lademe-detaille-couts-et-rentabilite-installations-solaires

ADEME. (2023). *Les aides financières aux entreprises pour soutenir les projets de transition écologique*. Agir pour la transition écologique | ADEME. https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/aides-financieres

Agence suédoise pour la recherche et l'environnement. (2017).

Airbnb Statistics. (2023). *Airbnb Statistics [2023] : User & Market Growth Data*. iPropertyManagement.Com. https://ipropertymanagement.com/research/airbnb-statistics

Anson, A. (2014). "The world is my backyard" : Romanticization, thoreauvian rhetoric, and constructive confrontation in the tiny house movement. In *From sustainable to resilient*

cities : Global concerns and urban efforts (Vol. 14, p. 289-313). Emerald Group Publishing Limited.

Anson, A. (2017). The patron saint of tiny houses. *Henry David Thoreau in Context*, 331-341.

Anson, A. (2018). Framing degrowth : The radical potential of tiny house mobility. In *Housing for degrowth* (p. 68-79). Routledge.

Arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, (2008).

Australian Bureau of Statistics. (2023). *Property statistics in 2022*.

Bařinková, J. (2022). *Rozvoj bydlení v tiny houses v české republice* [Master's thesis, Masaryk University, Faculty of Social Studies, Brno]. https://is.muni.cz/th/x7nyp/

Bartlett, J. (2016). *Big City, Tiny House* [Master of Architecture, Carleton University]. https://doi.org/10.22215/etd/2016-11406

Basile, M. (2022). *L'habitat léger : Émergence de modes d'habiter innovants ?*

Bejat, T., Jay, A., Lagesse, A., & Piot, A. (2013). *Hygrothermal Behaviour of a Hemp Concrete Wall : Experimental and Numerical Approach* (E. Wurtz, Éd.; p. 3554-3560). Int Building Performance Simulation Assoc-Ibpsa.

Bennai, F., Abahri, K., & Belarbi, R. (2020). Contribution to the Modelling of Coupled Heat and Mass Transfers on 3D Real Structure of Heterogeneous Building Materials : Application to Hemp Concrete. *Transport in Porous Media*, *133*(2), Article 2. https://doi.org/10.1007/s11242-020-01426-9

Bevan, R., & Woolley, T. (2008). *Hemp lime construction : A guide to building with hemp lime*. IHS BRE Press, Great Britain.

Boeckermann, L. M., Kaczynski, A. T., & King, S. B. (2019). Dreaming big and living small : Examining motivations and satisfaction in tiny house living. *Journal of Housing and the Built Environment*, *34*(1), 61-71. https://doi.org/10.1007/s10901-018-9616-3

bois-de-chauffage.net. (2023). *Tarifs—Prix d'achat des bûches de bois de chauffage*. https://www.bois-de-chauffage.net/tarifs-bois.php

Böllert, P. S. (2019). *Motivations to build a tiny house and continue despite obstacles-a multiple qualitative methods study* [B.S. thesis]. University of Twente.

bpifrance, B. F. (2023). *Récapitulatif des principales aides spécifiques aux projets innovants | Bpifrance Création*. https://bpifrance-creation.fr/encyclopedie/aides-a-creation-a-reprise-dentreprise/aides-a-linnovation/recapitulatif-principales

Carassus, J., & Naert, D. (2021). *Immobilier et bâtiment durables*.

Carlin, T. M. (2014). *Tiny homes : Improving carbon footprint and the American lifestyle on a large scale*.

Carras, M. (2019). *'Tiny house, big impact?' : An investigation into the'rise'of the Tiny Home Lifestyle (THL) in the United States* [Phd]. University of St Andrews.

cartegrise.com. (2022). *Combien coûte une voiture par an ?* Cartegrise.com. https://www.cartegrise.com/blog/2023/02/combien-coute-une-voiture-par-an

CEREMA. (2016). *Référentiel national de vulnérabilité aux inondations*.

CEREMA. (2022). *Consommation d'espaces NAF 2009-2022*. https://cartagene.cerema.fr/portal/apps/dashboards/60b83e8a5a404a8890741da9e1ceeef9

Cerezo, V. (2005). *Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : Approche expérimentale et modélisation théorique* [PhD Thesis]. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

Collectif Tiny House. (2023). *La communauté Tiny House en France—Collectif Tiny House*. https://www.collectif-tinyhouse.fr/

Commissariat général au développement durable. (2017). *Artificialisation De la mesure à l'action*.

Commissariat général au développement durable. (2020a). *Les précipitations et l'eau disponible*. http://www.notre-environnement.gouv.fr/rapport-sur-l-etat-de-l-environnement/themes-ree/pressions-exercees-par-les-modes-de-production-et-de-consommation/prelevements-de-ressources-naturelles/eau-douce/article/les-precipitations-et-l-eau-disponible

Commissariat général au développement durable. (2022a). *Consommation d'énergie*. Chiffres clés du logement 2022. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-logement-2022/29-consommation-denergie.php

Commissariat général au développement durable. (2022b). *Consommation d'énergie des transports*. Chiffres clés transports 2022. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-transports-2022/18-consommation-denergie-des-transports.php

Commissariat général au développement durable. (2022c). *Dépenses en énergie*. Chiffres clés de l'énergie - Édition 2022. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2022/4-depenses-en-energie.php

Commissariat général au développement durable. (2022d). *Émissions de gaz à effet de serre du transport*. Chiffres clés transports 2022. https://www.statistiques.developpement-

durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-transports-2022/19-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-du-transport.php

Commissariat général au développement durable, général au développement. (2020b). *Bilan énergétique de la France*. Chiffres clés de l'énergie - Édition 2021. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2021/6-bilan-energetique-de-la-france.php

Constitution. (1946). *Préambule de la Constitution du 27 octobre 1946 | Conseil constitutionnel*. https://www.conseil-constitutionnel.fr/le-bloc-de-constitutionnalite/preambule-de-la-constitution-du-27-octobre-1946

Costantine, G., Maalouf, C., Moussa, T., Kinab, E., & Polidori, G. (2020). Hygrothermal evaluation of hemp concrete at wall and room scales : Impact of hysteresis and temperature dependency of sorption curves. *J. Build Phys.*, *44*(3), 183-224. https://doi.org/10.1177/1744259119896380

COSTIC. (2023). *Service Degrés-Jours-Unifiés | Costic*. https://www.costic.com/services/service-degres-jours-unifies

CPEPESC. (2023). *CPEPESC FC : Législation des carrières—Cpepesc*. https://cpepesc.org/6-nature-et-pollutions/6-le-droit-au-secours-de-la-nature/juridique-et-droit-de-l-environnement/9-legislation-installations-classees-pour-la-protection-de-lenvironnement-icpe/legislation-des-carrieres/

Cruz, E., Blanco, E., & Scheffer, O. (2022). *S'inspirer du vivant pour la transition écologique des bâtiments*.

Cumberbatch-Pearson, L. (2021). *Exploring the need for tiny houses in urban cities* [Phd]. Rutgers University-Graduate School-Newark.

Data Bridge. (2022). *Tiny Homes Market Size, Scope & Industry Challenges by 2029*. https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-tiny-homes-market

de Bruijn, P. (2008). *Hemp concretes : Mechanical properties using both shives and fibres* (p. 48).

Delépine, S. (2015). *Habitats légers, mobiles, réversibles (HLMRR. 2)* [Phd]. Laboratoire ESO Angers, Université d'Angers.

Dinh, T. M. (2014). *Contribution au développement de béton de chanvre préfabriqué utilisant un liant pouzzolanique innovant* [Phd, Université de Toulouse, Université Toulouse III - Paul Sabatier]. http://thesesups.ups-tlse.fr/2383/

Dion, E. (2005). *Tiny Houses : Community and Dwelling*.

Dubois, S. (2013). *Modeling the hygrothermal behavior of biobased construction materials—Samuel Dubois, Arnaud Evrard, Frédéric Lebeau, 2014*.

Eco-architecte. (2009). *L'inertie (et le déphasage) du béton de chanvre et des autres isolants*. eco-architecte. https://www.eco-architecte.com/fr/itineraire/l-inertie-et-le-dephasage-du-beton-de-chanvre-et-des-autres-isolants

EIA. (2022). *Homepage—U.S. Energy Information Administration (EIA)*. https://www.eia.gov/index.php

energy-alternatives. (2020). *Evaluer le coût économique de la production d'électricité—Alternatives énergétiques*. https://www.energy-alternatives.eu/2020/08/20/decomposition-lcoe.html

European Commission. Joint Research Centre. (2022). *CO2 emissions of all world countries :JRC/IEA/PBL 2022 report.* Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2760/730164

Evrard, A. (2006). *Sorption behaviour of Lime-Hemp Concrete and its relation to indoor comfort and energy demand*.

Evrard, A. (2008). *Transient hygrothermal behaviour of Lime-Hemp Materials*. 142.

Fisher, D. (1983). *American indian stories*. JSTOR.

Ford, J., & Gomez-Lanier, L. (2017). Are Tiny Homes Here to Stay? A Review of Literature on the Tiny House Movement. *Family and Consumer Sciences Research Journal*, *45*(4), 394-405. https://doi.org/10.1111/fcsr.12205

France ciment. (2022). Chiffres clés. *France Ciment*. https://www.metiers-ciment.fr/industrie-cimentiere-ciment/chiffres-cles/

France Nature Environnement. (2022). *Photoscope*.

Garcia-Guzman, M. (2019). *The design of tiny homes and their significance to simplistic living*.

Gherman, C. & others. (2012). Maslow pyramid-Possible interpretation. *International Journal of Learning & Development*, *2*(1), 581-592.

Ghosh, I. (2020, novembre 6). *A Global Breakdown of Greenhouse Gas Emissions by Sector*. Visual Capitalist. https://www.visualcapitalist.com/a-global-breakdown-of-greenhouse-gas-emissions-by-sector/

Goetz, E. (2021). *Nouveau record historique pour le cours du bois d'oeuvre*. Les Echos. https://www.lesechos.fr/finance-marches/marches-financiers/nouveau-record-historique-pour-le-cours-du-bois-doeuvre-1293635

Gouvernement. (2018). *50 mesures pour une économie 100% circulaire*.

Guide-tinyhouse. (2022). *Les tiny houses de a à Z*. Rowman & Littlefield.

Guiraud, P. (2020). *Fabrication du ciment et empreinte CO2*. Infociments. https://www.infociments.fr/enjeux-societe/la-fabrication-du-ciment-source-maitrisee-de-co2

Hanckmann, H. (2019). *Downsizing to upgrade your life-how the use of character strengths in the tiny house lifestyle increases the subjective well-being* [B.S. thesis]. University of Twente.

Harris, T. (2018). *The tiny house movement : Challenging our consumer culture*. Rowman & Littlefield.

Hradeckỳ, I. (2008). Building capacity of homeless services in the Czech Republic. *European Journal of Homelessness _ Volume*.

Hustache, Y., & Arnaud, L. (2008). Synthèse des connaissances sur les bétons et mortiers de chanvre. *Construire en chanvre*.

IEA. (2021a). *Buildings 2021 – Analysis*. https://www.iea.org/reports/buildings

IEA. (2018). *2018 Global Status Report (English and other languages) – Analysis*. https://www.iea.org/reports/2018-global-status-report

IEA. (2021b). *Supply – Key World Energy Statistics 2021 – Analysis*. IEA. https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/supply

IEA. (2022a). *Crise Énergétique Mondiale – Topics*. IEA. https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis

IEA. (2022b). *Final consumption – Key World Energy Statistics 2021 – Analysis*. IEA. https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/final-consumption

IEA. (2022c). *Final energy consumption in the buildings sector, 2021 – Charts – Data & Statistics*. IEA. https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/final-energy-consumption-in-the-buildings-sector-2021

IEA. (2022d). *Transport—Energy System*. IEA. https://www.iea.org/energy-system/transport

IFPEN. (2020). *Comparaison des émissions moyennes des véhicules thermiques essence et diesel sélectionnés sur le protocole expérimental.*

IFPEN. (2022). *IFPEN | Le marché automobile mondial se redresse*. IFPEN. https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/article/marche-automobile-mondial-se-redresse

IGN. (2018). *Corine Land Cover*. https://artificialisation.developpement-durable.gouv.fr/bases-donnees/corine-land-cover

INSEE. (2010). *Les dépenses d'énergie des ménages depuis 20 ans : - Insee Première—1315*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/1281149

INSEE. (2020a). *Indice de Gini—France—TABLEAU DE BORD DE L'ÉCONOMIE FRANÇAISE*. https://www.insee.fr/fr/outil-interactif/5367857/details/30_RPC/31_RNP/31G_Figure7

INSEE. (2020b). *Logement − Tableaux de l'économie française | Insee*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277727?sommaire=4318291

INSEE. (2020c). *Propriétaires – Locataires − Tableaux de l'économie française | Insee*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277733?sommaire=4318291

INSEE. (2021a). *Au premier trimestre 2021, la hausse des prix des logements anciens se poursuit, de manière plus marquée pour les maisons que pour les appartements—Informations rapides—135 | Insee*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/5386726

INSEE. (2021b). *Consommation de produits pétroliers | Insee*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/2119673

INSEE. (2021c). *Dépenses de logement − France, portrait social | Insee*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/5432495?sommaire=5435421

INSEE. (2022a). *37,6 millions de logements en France au 1er janvier 2022—Insee Focus—279*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/6653801

INSEE. (2022b). *Âge moyen et âge médian de la population | Insee*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/2381476

INSEE. (2022c). *Bilan démographique 2022—Insee Première—1935*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/6687000

INSEE. (2022d). *Espérance de vie et indicateurs de mortalité dans le monde | Insee*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/2383448

INSEE. (2022e). *Population par âge − Tableaux de l'économie française | Insee*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277619?sommaire=4318291#tableau-figure1

INSEE. (2023a). *Acquisitions de la nationalité française | Insee*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/2381644

INSEE. (2023b). *L'essentiel sur... Les immigrés et les étrangers | Insee*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/3633212

INSEE. (2023c). *Population au 1er janvier | Insee*. https://www.insee.fr/fr/statistiques/5225246

IPBES. (2019). *Le rapport de l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques*. https://www.ipbes.net/news/Media-Release-Global-Assessment-Fr

IPBES-IPCC. (2021). *IPBES-IPCC Co-Sponsored Workshop on Biodiversity and Climate Change | IPBES secretariat*. https://www.ipbes.net/events/ipbes-ipcc-co-sponsored-workshop-biodiversity-and-climate-change

IPCC. (2023). *AR6 Synthesis Report : Climate Change 2023 — IPCC*. https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/

Jami, T., Karade, S. R., & Singh, L. P. (2019). A review of the properties of hemp concrete for green building applications. *Journal of Cleaner Production*, *239*, 117852. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117852

Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., & Rosenbaum, R. (2003). IMPACT 2002+ : A new life cycle impact assessment methodology. *The*

International Journal of Life Cycle Assessment, *8*(6), 324. https://doi.org/10.1007/BF02978505

Julien, K. (2021). *Projet immobilier de tiny houses en France*.

Kilman, C. (2016). Small house, big impact : The effect of tiny houses on community and environment. *Undergraduate Journal of Humanistic Studies*, *2*(Winter 2016).

Kiser, S. (2016). Small scale living and the meaning of home. *Undergraduate Research Journal for the Human Sciences*, *15*(1).

Lamard, & Stoskopf. (2007). *1974-1984. Une Décennie de désindustrialisation : Actes des premières journées d'histoire industrielle. Mulhouse-Belfort. 11-12 octobre 2007*. Picard.

Langer, C. & others. (2020). *Construire sa Tiny House pour vivre autrement : Une stratégie de changement*.

Le Parisien. (2019). *«Tiny house», la micromaison tout confort qui séduit en Ile-de-France—Le Parisien*. https://www.leparisien.fr/immobilier/tiny-house-la-micromaison-tout-confort-23-09-2019-8157669.php

Lima, R. (2020). *Tiny houses : Searching for a place in a tight housing market. A case study on tiny houses in Rotterdam*.

Liu, W. M., Ali, S. R., Soleck, G., Hopps, J., dunston, K., & Pickett Jr., T. (2004). Using Social Class in Counseling Psychology Research. *Journal of Counseling Psychology*, *51*(1), 3-18. https://doi.org/10.1037/0022-0167.51.1.3

Loi n° 2007-290 du 5 mars 2007 instituant le droit au logement opposable et portant diverses mesures en faveur de la cohésion sociale (1)., (2007).

LOI n° 2014-366 du 24 mars 2014 pour l'accès au logement et un urbanisme rénové (1), 2014-366 (2014).

LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (1), 2015-992 (2015).

LOI n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat (1), 2019-1147 (2019).

LOI n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets (1), 2021-1104 (2021).

LOI n° 2022-217 du 21 février 2022 relative à la différenciation, la décentralisation, la déconcentration et portant diverses mesures de simplification de l'action publique locale (1), 2022-217 (2022).

LOI n° 2023-630 du 20 juillet 2023 visant à faciliter la mise en œuvre des objectifs de lutte contre l'artificialisation des sols et à renforcer l'accompagnement des élus locaux (1), 2023-630 (2023).

Made in FR. (2022). *Le marché des tiny houses en France*. Made in FR. https://madeinfr.fr/etudes-de-marche/btp-immobilier/le-marche-des-tiny-houses-en-france/

Maitenaz, S., Simon, A., & Feraille, A. (2021). Analyse de la part des aciers de construction dans l'impact environnemental des ouvrages en béton armé. *GC'2021 Le Génie Civil face au défi de la croissance verte*. https://hal.science/hal-03324699

Mangold, S., & Zschau, T. (2019). In search of the "good life" : The appeal of the tiny house lifestyle in the USA. *Social Sciences*, *8*(1), 26.

Mariotti, T. (2022, août 1). *Tiny House Statistics : Market & Trends (2023)*. RubyHome.Com. https://www.rubyhome.com/blog/tiny-home-stats/

McKinsey. (2017). *Reinventing construction : A route to higher productivity*. https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution

meilleurs agents. (2023). *Meilleursagents.com*. https://www.meilleursagents.com/

Météo France. (2023). *Le climat en France métropolitaine | Météo-France*. https://meteofrance.com/comprendre-climat/france/le-climat-en-france-metropolitaine

Milet, H., Maisetti, N., & Eva, S. (2022). *Exode urbaine, un mythe, des réalités*.

Mingoya, C. A. (2015). *Building together : Tiny house villages for the homeless : A comparative case study* [Phd]. Massachusetts Institute of Technology, Department of Urban Studies and ….

Ministère de l'économie et des finances. (2023). *Installation de panneaux solaires : Vous avez droit à des aides !* https://www.economie.gouv.fr/particuliers/aides-installation-photovoltaiques

Ministère de l'intérieur. (2023). *Les chiffres 2022 (publication annuelle parue le 26 janvier 2023)*. https://www.immigration.interieur.gouv.fr/fr/Info-ressources/Etudes-et-statistiques/Chiffres-cles-sejour-visas-eloignements-asile-acces-a-la-nationalite/Archives/Les-chiffres-2022-publication-annuelle-parue-le-26-janvier-2023. https://www.immigration.interieur.gouv.fr/fr/Info-ressources/Etudes-et-statistiques/Chiffres-cles-sejour-visas-eloignements-asile-acces-a-la-nationalite/Archives/Les-chiffres-2022-publication-annuelle-parue-le-26-janvier-2023

Ministère du travail, & DGT_Marc.T. (2023). *Formation professionnelle*. Ministère du Travail, du Plein emploi et de l'Insertion. https://travail-emploi.gouv.fr/formation-professionnelle/

Ministères Écologie Énergie Territoires. (2020). *Déchets du bâtiment*. Ministères Écologie Énergie Territoires. https://www.ecologie.gouv.fr/dechets-du-batiment

Ministères Écologie Énergie Territoires. (2022a). *Construction et performance environnementale du bâtiment*. Ministères Écologie Énergie Territoires.

https://www.ecologie.gouv.fr/construction-et-performance-environnementale-du-batiment

Ministères Écologie Énergie Territoires. (2022b). *Le Gouvernement adopte un décret pour limiter les émissions de gaz à effet de serre des nouveaux équipements de chauffage*. Ministères Écologie Énergie Territoires. https://www.ecologie.gouv.fr/gouvernement-adopte-decret-limiter-emissions-gaz-effet-serre-des-nouveaux-equipements-chauffage

Ministères Écologie Énergie Territoires. (2023). *Relance du nucléaire : 100 millions d'euros investis dans la formation, la recherche et l'innovation dans le secteur du nucléaire*. Ministères Écologie Énergie Territoires. https://www.ecologie.gouv.fr/relance-du-nucleaire-100-millions-deuros-investis-dans-formation-recherche-et-linnovation-dans

Mutter, A. (2013). Growing tiny houses : Motivations and opportunities for expansion through niche markets. *IIIEE Master thesis*.

Naert, D. (2015). *Transition énergétique et numérique : Nécessaire mutation des compétences des artisans et ouvriers du bâtiment*. ENPC.

Nguyen, T., Picandet, V., Carre, P., Lecompte, T., Amziane, S., & Baley, C. (2010). Effect of compaction on mechanical and thermal properties of hemp concrete. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, *14*, 545-560. https://doi.org/10.1080/19648189.2010.9693246

Nozahic, V. (2012). *Vers une nouvelle démarche de conception des bétons de végétaux lignocellulosiques basée sur la compréhension et l'amélioration de l'interface liant / végétal : Application à des granulats de chenevotte et de tige de tournesol associés à un liant ponce / chaux* [Phd]. Clermont-Ferrand 2.

OECD. (2020). *A Comprehensive Overview of Global Biodiversity Finance*.

OECD. (2022). *Air et climat—Émissions de GES et de polluants de l'air—OCDE Data*. http://data.oecd.org/fr/air/emissions-de-ges-et-de-polluants-de-l-air.htm

OFS. (2018). *Degré d'imperméabilisation*. https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/raum-umwelt/bodennutzung-bedeckung/siedlungsflaechen/versiegelungsgrad.html

Olick, D. (2021, août 18). *Tiny homes can mean big costs, especially depending on where you live*. CNBC. https://www.cnbc.com/2021/08/18/tiny-homes-can-mean-big-costs-especially-depending-on-where-you-live.html

Ouest France. (2020). *Que sont les tiny houses, ces micromaisons écologiques ?* https://www.ouest-france.fr/environnement/ecologie/que-sont-les-tiny-houses-ces-micromaisons-ecologiques-6853241

Panigyrakis, I. (2021). Tiny houses a history thesis on the tiny house movement. *TU DELFT architectural history and theory*.

Pavillon de l'Arsenal. (2023). *Matières vivantes | Expositions | Pavillon de l'Arsenal*. https://www.pavillon-arsenal.com/fr/expositions/12799-matieres-vivantes.html

Perdereau, B. (2016). *Histoires de tiny houses : Ils changent de vie grâce à leur tiny*. CreateSpace Independent Publishing Platform. https://books.google.fr/books?id=IK8nMQAACAAJ

Pierre, T., Colinart, T., & Glouannec, P. (2014). Measurement of Thermal Properties of Biosourced Building Materials. *International Journal of Thermophysics*, *35*(9), 1832-1852. https://doi.org/10.1007/s10765-013-1477-0

Porch Research. (2021). *2021 Study : How Much Value Do Granny Flats and other Accessory Dwelling Units Add to a Home?* https://porch.com/advice/state-of-adu-market-2021

PR Newswire Technavio. (2022). *Tiny Homes Market size to increase by USD 3.57 billion | Driven by the affordability of tiny homes | Technavio*. https://www.prnewswire.com/news-releases/tiny-homes-market-size-to-increase-by-usd-3-57-billion--driven-by-the-affordability-of-tiny-homes--technavio-301508070.html

prixfioul.fr. (2023). *Prix du fioul domestique aujourd'hui en France le vendredi 29 septembre 2023*. https://prixfioul.fr/

Rahim, M., Douzane, O., Tran Le, A. D., & Langlet, T. (2016). Effect of moisture and temperature on thermal properties of three bio-based materials. *Construction and Building Materials*, *111*, 119-127. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.061

Renault. (2023). *Combien consomme une voiture électrique ? - Renault*. https://www.renault.fr/faq-electrique/consommation-vehicule-electrique.html

République française. (2007). *Droit au logement opposable : Quelle application du DALO ? | vie-publique.fr*. http://www.vie-publique.fr/eclairage/19543-droit-au-logement-opposable-quelle-application-du-dalo

Rollot, C. (2019). *La mini-maison dans la prairie*. https://www.lemonde.fr/m-perso/article/2019/08/04/la-mini-maison-dans-la-prairie_5496400_4497916.html

Roy, P.-O., Azevedo, L. B., Margni, M., van Zelm, R., Deschênes, L., & Huijbregts, M. A. J. (2014). Characterization factors for terrestrial acidification at the global scale : A systematic analysis of spatial variability and uncertainty. *Science of The Total Environment*, *500-501*, 270-276. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.099

Roy, R. (2019). Tiny house, A big movement. *Performance Improvement*, *58*(4), 28-30.

RTE. (2022). *Bilan électrique 2022—Evolution de la consommation d'électricité | RTE*. https://analysesetdonnees.rte-france.com/bilan-electrique-consommation

Ruiter, J. de. (2020). *Tiny houses as a solution for urban planning issues : A qualitative study on dutch tiny house initiatives and their potential function in tackling urban planning issues*. [Phd].

Sáez-Pérez, M. P., Brümmer, M., & Durán-Suárez, J. A. (2020). A review of the factors affecting the properties and performance of hemp aggregate concretes. *Journal of Building Engineering*, *31*, 101323. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101323

Saxton, M. W. (2019). Environmental impacts of tiny home downsizers : A call for research. *Research Monograph Series*, 16-29.

Schneider, F. (2017). *Tiny houses-What potential implications for the future does the Tiny House Movement show as an emerging urban lifestyle in the Netherlands?*

Schveibinz, L. I. (2018). *Tiny house permitting in san luis obispo*.

Selectra. (2019, mai 10). *Bouteille de gaz 13 kg : Comparatif de prix et modèles | septembre 2023*. Selectra. https://selectra.info/energie/propane/bouteilles/taille-13kg

SeLoger. (2023). *Prix immobilier et prix au m2 en France en sept. 2023 | SeLoger*. https://www.seloger.com/prix-de-l-immo/vente/pays/france.htm

Shea, A., Lawrence, M., & Walker, P. (2012). Hygrothermal performance of an experimental hemp–lime building. *Construction and Building Materials*, *36*, 270-275. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.123

Shearer, H., & Burton, P. (2019). Towards a typology of tiny houses. *Housing, Theory and Society*, *36*(3), 298-318.

Shearer, H., & Burton, P. (2021). Tiny houses : Movement or moment? *Housing Studies*, *38*(3), 360-382. https://doi.org/10.1080/02673037.2021.1884203

Spätling, V. (2021). *Tiny-House-Studie : Marktpotenzial liegt bei 3,9 Milliarden Euro bis 2022*. bba. https://www.bba-online.de/news/tiny-house-studie-marktpotenzial/

Statista. (2023a). *Consommation essence des voitures : Évolution depuis 2004*. Statista. https://fr.statista.com/statistiques/486554/consommation-de-carburant-moyenne-voiture-france/

Statista. (2023b). *Évolution du prix de l'essence et du gasole en France 2023*. Statista. https://fr.statista.com/statistiques/1302725/prix-carburant-france/

Statista. (2023c). *Thème : La consommation de carburants fossiles en France*. Statista. https://fr.statista.com/themes/3953/la-consommation-de-carburant-en-france/

Statistica Research Department. (2023). *Average size of floor area in new single-family houses built for sale in the United States from 1975 to 2022*.

Statistiques gouvernement. (2023). *Consommation d'énergie par usage du résidentiel*. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/consommation-denergie-par-usage-du-residentiel

Statistiques gouvernement. (2021). *Le prix des terrains et du bâti pour les maisons individuelles en 2021*. Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/le-prix-des-terrains-et-du-bati-pour-les-maisons-individuelles-en-2021-0

Statistiques gouvernement. (2022a). *38,7 millions de voitures en circulation en France au 1er janvier 2022 | Données et études statistiques*. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/387-millions-de-voitures-en-circulation-en-france-au-1er-janvier-2022

Statistiques gouvernement. (2022b). *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre et des polluants atmosphériques au format AEA (ex NAMEA)*. Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les

transports. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/inventaire-des-emissions-de-gaz-effet-de-serre-et-des-polluants-atmospheriques-au-format-aea-ex

Statistiques gouvernement. (2022c). *L'empreinte carbone de la France de 1995 à 2021*. Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lempreinte-carbone-de-la-france-de-1995-2021

Statistiques gouvernement. (2022d). *Prix de l'électricité en France et dans l'Union européenne en 2022*. Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/prix-de-lelectricite-en-france-et-dans-lunion-europeenne-en-2022

Statistiques gouvernement. (2022e). *Prix du gaz naturel en France et dans l'Union européenne en 2022*. Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports. https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/prix-du-gaz-naturel-en-france-et-dans-lunion-europeenne-en-2022

Summers, N. (2022). The socioeconomic concentration of intensive production interest : Lessons from the tiny home community. *Journal of Consumer Culture, 22*(2), 476-494.

Tendil, M. (2013, octobre 17). *Des stratégies régionales pour redresser la filière bois*. Banque des Territoires. https://www.banquedesterritoires.fr/des-strategies-regionales-pour-redresser-la-filiere-bois

Teruti-Lucas. (2019). *Evaluation du taux d'artificialisation en France*.

Tiny House France. (2022). Quelle durée de vie pour une tiny house ? *Tiny House France*. https://tinyhousefrance.org/quelle-duree-de-vie-pour-une-tiny-house/

Tiny House France. (2023). *Tiny House France—Habiter Autrement*. Tiny House France. https://tinyhousefrance.org/

Treiner, J. (2016). Le taux de retour énergétique, une mesure de l'efficacité sociétale des sources d'énergie. *Techniques de l'Ingénieur*. https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/chronique-retour-energetique-39038/

UNEP. (2021). *Réparer la couche d'ozone : Comment le monde s'est uni pour venir à son secours*. UNEP. http://www.unep.org/fr/actualites-et-recits/recit/reparer-la-couche-dozone-comment-le-monde-sest-uni-pour-venir-son

UNHCR. (2022). *Les chiffres du déplacement forcé dans le monde atteignent un nouveau record et confirment une tendance à la hausse depuis une décennie, selon le HCR*. HCR. https://www.unhcr.org/fr/actualites/news-releases/les-chiffres-du-deplacement-force-dans-le-monde-atteignent-un-nouveau

Union Européenne. (2012). *C_2012326FR.01039101.xml*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A12012P%2FTXT

United Nations. (1948). *La Déclaration universelle des droits de l'homme*. https://www.un.org/fr/universal-declaration-human-rights/

United Nations. (1976). *Pacte international relatif aux droits économiques, sociaux et culturels | OHCHR*. https://www.ohchr.org/fr/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-economic-social-and-cultural-rights

United Nations. (1992). *La Convention sur la diversité biologique | Nations Unies*. United Nations. https://www.un.org/fr/observances/biological-diversity-day/convention

United Nations. (2016). *Annual Report*. https://www.unep.org/annualreport/2016/index.php

United Nations. (2022). *L'évolution démographique | Nations Unies*. United Nations; United Nations. https://www.un.org/fr/un75/shifting-demographics

US Census Bureau. (2023). *Pew Research Center : Household statistics in 2022*.

Vasseur, V., Sing, J., & Short, S. W. (2022). Determinants of the adoption of tiny houses and their role in alleviating housing shortages in Germany. *Clean Technologies and Recycling*, *2*(4), 199-224. https://doi.org/10.3934/ctr.2022011

Vie publique. (2022). *Les eurodéputés votent l'interdiction des moteurs thermiques en 2035 | vie-publique.fr*. https://www.vie-publique.fr/en-bref/285406-les-eurodeputes-votent-linterdiction-des-moteurs-thermiques-en-2035

Walker, R., Pavia, S., & Mitchell, R. (2014). Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes. *Construction and Building Materials*, *61*, 340-348. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.065

Weisbarth, J., & Giffin, Z. (2019). *Tiny House Nation | Site officiel de Netflix*. https://www.netflix.com/fr/title/81016914

Willoughby, C., Mangold, S., & Zschau, T. (2020). Small Houses, Big Community : Tiny Housers' Desire for More Cohesive and Collaborative Communities. *Social Sciences*, *9*(2), Article 2. https://doi.org/10.3390/socsci9020016

World Bank. (2021). *Groundswell Deuxième Partie : Agir Face aux Migrations Climatiques Internes - Aperçu - World | ReliefWeb*. https://reliefweb.int/report/world/groundswell-deuxi-me-partie-agir-face-aux-migrations-climatiques-internes-aper-u

WWF. (2020). *Les fronts de deforestation*. https://www.wwf.fr/champs-daction/alimentation/deforestation

Zhang, D., Gong, M., Zhang, S., & Zhu, X. (2022). A review of tiny houses in North America : Market demand. *Sustain. Struct*, *2*, 12.

Annexes

Annexe 1 : Enquête sur le potentiel de développement des tiny-houses en France

Annexe 1

SPECIMEN NE FAISANT PAS APPARAÎTRE LES MENUS DEROULANTS

Nils FRANTZ
nils.frantz2@gmail.com
07 66 78 87 32

MS Immobilier et Bâtiment Durables – Transition Carbone et Numérique
2023

École des Ponts ParisTech

SPECIMEN

Enquête pour la réalisation d'une étude intitulée :

« Le potentiel des micromaisons au regard des enjeux de développement durables en France »

Ne fait pas apparaitre les menus déroulants

Si vous vivez en micromaison (« tiny-house ») ou êtes en réflexion avancée pour y vivre, je vous serais très reconnaissant de prendre ***quelques minutes*** pour répondre à cette enquête et me la retourner dès que possible à l'adresse suivante : nils.frantz2@gmail.com .
L'enquête prend en compte uniquement les micromaisons faisant l'objet d'un habitat permanent ou longue durée. L'exploitation des données est anonymisée.

Cette enquête doit permettre de compléter les informations issues de la littérature concernant :

1. Les tendances relatives au profil des occupants (générationnelles notamment)
2. Les motivations des personnes choisissant de vivre de manière permanente dans une micromaison ou « tiny-house ».
3. Les contraintes qui ont freiné votre décision de vivre en micromaison et celles qui se sont avérés importantes lors de vos démarche et au quotidien
4. Quelques caractéristiques liées à votre micromaison et ce que vous auriez changé au moment de l'acquisition si vous aviez l'expérience acquise aujourd'hui

- **C'est quoi déjà une micromaison ou « tiny-house »**

Une maison de taille réduite (généralement de 15 à 20 m^2), confortable, capable d'apporter toutes les fonctions attendues d'un habitat permanent. Elle se caractérise aussi par sa mobilité (sur châssis tractable) ou démontable (sur fondation légère). Son implantation est facilitée par des démarches administratives allégées (déclaration préalable pour une occupation permanente) et reconnue comme un habitat à part entière (loi ALUR 2014). Sa taille, son absence de fondation lourde, l'utilisation de matériaux naturels ou encore le minimalisme associé à son occupation en font un habitat très respectueux de l'environnement et favorisant un rapprochement avec la nature.

Notons qu'habiter une micromaison de manière permanente suscite bien souvent d'opérer un changement radical dans son mode de vie. De plus, leur implantation n'est autorisée que sur terrains constructibles et sur certaines zones spécifiques. Par ailleurs, leur mobilité est loin de celle d'une caravane.

1. Votre profil

Prénom	
Nom	
Age	
Genre	
Taille du foyer	
Niveau d'éducation*	
Revenus mensuels nets, après impôts *	...

** : facultatif*

"..." : Cliquer pour activer menus déroulants

2. L'enquête sur les motivations

Six facteurs de motivations, très concrets et souvent cités comme sources déterminantes dans la prise de décision ont été retenus pour cette enquête (définis ci-dessous). Ils découlent principalement du mouvement minimaliste associé à ce type d'habitation. Bien qu'inter-corrélés sur certains de leurs aspects, l'objectif est à la fois de ***les hiérarchiser*** selon votre point vue ***et de leur attribuer un niveau d'importance***. Pour ce faire, ***un tableau doit être complété*** au regard des définitions ci-dessous.

- Facteur Economique (***ECONOMIE***), incluant :
  - Les économies relatives au coût d'acquisition (environ 45 000 € en moyenne pour une solution « clé en main » ou environ 20 000 € en moyenne pour une auto-construction) et la réduction de son niveau d'endettement le cas échéant
  - Les économies relatives aux consommations énergétiques, nettement plus faibles par rapport à un logement conventionnel au regard du volume de l'habitat et de son niveau d'équipement réduit
  - Les économies en équipements et objets divers

- Facteur Simplicité (***SIMPLICITE***), incluant :
  - La diminution des activités contraignantes grâce à la réduction de biens à acquérir
  - La diminution des travaux d'entretiens courants
  - La suppression des objets superflus et la praticité d'un espace optimisé
  - La diminution de la charge cognitive relative à la gestion de ses biens et aux questions économiques relatives à celle-ci
  - Le gain de temps pour se consacrer à l'essentiel et aux occupations choisies
  - L'expérience d'un mode de vie minimaliste en général

- Facteur Environnemental (***ENVIRONNEMENT***), incluant
  - La réduction de son bilan carbone donc de son impact sur le dérèglement climatique (diminution des émissions de gaz à effets de serres par la réduction des consommations énergétiques, utilisation de matériaux biosourcés peu transformés et capables de stocker le carbone etc.)
  - La réduction de son impact sur la biodiversité et les écosystèmes (diminution des émissions polluantes par la diminution des consommations énergétiques, diminution de l'artificialisation des sols etc.)
  - La réduction de son impact sur l'appauvrissement des ressources non renouvelables (diminution de la consommation en énergie et en matières non renouvelables)

- Facteur Nature (***NATURE***), incluant :
  - La relative flexibilité d'implantation permettant un contact privilégié avec elle (en zone rurale notamment)
  - La taille et la conception de la micromaison favorables aux activités extérieures
  - Un niveau de technologie réduit nécessitant quelquefois de réapprendre à vivre plus en harmonie avec elle et à retrouver le sens physique des choses

- Facteur Flexibilité et Mobilité (***FLEXIBILITE***), incluant :
  - La possibilité d'envisager un rapprochement de son lieu de travail
  - La possibilité de modifier son lieu d'implantation pour habiter ailleurs tout en conservant sa micromaison (donc sans déménagement).
  - La possibilité d'envisager de partie en vacances avec sa maison (dans le cas d'un « tiny-house » tractable)

- Facteur Communauté (***COMMUNAUTE***), incluant :
  - L'adhésion à une communauté engagée pour le minimalisme, tournée vers l'essentielle et attirée par le partage d'expérience

Vos réponses* :

"..." : Cliquer pour activer menus déroulants

1.	...	...
2.	...	...
3	...	...

4.	...	...
5.	...	...
6.	...	...

*: Classer par ordre d'importance (de 1 à 6) et attribuer le niveau d'importance à chacun des facteurs

Eventuels commentaires, précisions, ajouts de motivations qui n'entrent vraiment pas dans ces facteurs :

Pour rappel, plusieurs facteurs dans une même catégorie (case) doivent être cités de manière décroissante selon l'importance que vous leur accordez.

3. L'enquête sur les contraintes rencontrées

L'approche relative aux contraintes est à la fois plus concrète, propre aux expériences de chacun et moins étudiée actuellement par rapport à celle inerrante aux facteurs de motivations. Par conséquent, cette partie de l'***enquête est plus ouverte***.

Il s'agit ici de ***classer par ordre décroissant d'importance, les contraintes qui ont freiné votre volonté d'opérer ce changement de mode de vie***, qu'elles aient été avérées ou non. ***Puis***, refaire ce même exercice pour ce qui concerne les ***contraintes réellement rencontrées dans la pratique au cours de cette démarche et au quotidien***. Enfin, je vous invite à faire vos commentaires à ce sujet et à y associer d'éventuelles opportunités particulières, anticipées ou encore une fois, rencontrées que vous aurez rencontré réellement.

Pour vous inspirer, au regard des différents témoignages récoltés au sein de la littérature (issues d'études appliquées à la population américaine mais pas uniquement), les contraintes suivantes ont été mentionnés :

- L'implantation au regard des contraintes réglementaires
- Financement, difficulté d'emprunté pour ce type de projet
- Assurance du bien
- Disponibilité du terrain pour l'implantation
- Perception des populations externes au mouvement et communication avec elles
- Intégration à la communauté issue du mouvement
- Capacité perçue ou réelle à s'adapter aux exigences concrètes relatives à ce mode de vie au quotidien
- Confort du micro-habitat par rapport à l'espace disponible
- Confort relatif au climat (surchauffe en été notamment)
- Accès aux réseaux énergétiques
- Accès au réseau d'eau
- Traitement des eaux usées / accès au réseau d'assainissement
- Contraintes relatives à la mobilité (masse à transporter, déplacement sur route, homologation etc.)
- Hausse du coût du bois à la suite de la pandémie

Des opportunités particulières ont aussi été mentionnées telles que :

- Hausse du prix de l'immobilier et raison d'une tension sur les logements
- Hausse des couts de construction de l'inflation

L'influence de la pandémie de COVID-19 est interprétée comme une contrainte ou une opportunité, selon les auteurs, dans le choix de vivre en micromaison.

N'hésitez pas à préciser la contrainte formulée.

Vos réponses :

"..." : Cliquer pour activer menus déroulants

Contraintes ayant freiné votre prise de décision	Niveau d'importance
1.	...
2.	...
3.	...
4.	...
5.	...
6.	...
7.	...
8.	...
9.	...
10.	...

"..." : Cliquer pour activer menus déroulants

Contraintes avérées au cours de vos démarches et au quotidien	Niveau d'importance
1.	...
2.	...
3.	...
4.	...
5.	...
6.	...
7.	...
8.	...
9.	...
10.	...

Vos réponses :

Commentaires et éventuelles opportunités particulières, anticipées ou réellement rencontrées :

École des Ponts ParisTech

4. Complément d'enquête concernant les tendances caractéristiques de la micromaison en France

Cette dernière partie de l'enquête (et je vous remercie sincèrement d'en être arrivé à cette étape) vise à répondre à quelques questions précises relatives aux caractérisation de la micromaison dans laquelle vous vivez.

Question	**Réponse** *"..." : Cliquer pour activer menus déroulants*
Type d'acquisition	…
Mobile ou démontable	…
Fourchette du coût total d'acquisition	
Surface de plancher	
Niveau d'indépendance au réseau électrique	…
Source d'énergie pour la production d'électricité	…
Source d'énergie pour le chauffage	…
Source d'énergie pour la production d'eau chaude	…
Source d'énergie pour le réfrigérateur	…
Source d'énergie pour la cuisinière	…
Type d'isolant	…
Niveau d'autonomie en eau ?	
Quels étaient les caractéristiques particulières dont vous vouliez absolumenent bénéficier au sein de votre micromaison ?	
Qu'est-ce que vous changeriez ou critiqueriez dans la configuration de votre habitat ?	
Qu'est ce qui s'est avéré particulièrement avantageux dans sa configuration ?	

MERCI BEAUCOUP !

Complété à

Le