

Formation d'Ingénieur
Génie Thermique, Énergétique et Environnement
Parcours Architecte - Ingénieur

Promotion : 2024

PROJET DE FIN D'ETUDE

Présenté par

DUJARDIN LEONIE

***ETUDE ET EVALUATION DES PERFORMANCES
ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTALES DES
BÂTIMENTS CERTIFIES PASSIVHAUS PAR RAPPORT
AUX EXIGENCES RE2020***

Tuteur Entreprise : Stéphane Guidat

Tuteur pédagogique : Denis Burger

FICHE D'OBJECTIFS

Formation d'Ingénieur
Génie Thermique, Énergétique et Environnement
Parcours Architecte - Ingénieur

Promotion : 2024

NOM : DUJARDIN

Prénom : Léonie

TITRE DU PFE :

Étude des critères de performance des labels (notamment le label PassivHaus) et évaluation des performances énergétiques et environnementales des bâtiments certifiés par rapport aux exigences de la RE2020.

SPECIFICITES ET CONTEXTE DU PROJET :

Le secteur du bâtiment est l'un des principaux contributeurs aux émissions de gaz à effet de serre (GES) en France, représentant environ 25% des émissions nationales¹. Dans un contexte de changement climatique, la réduction des émissions de GES et l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments sont devenues des priorités. Par ailleurs, les ressources naturelles s'amenuisent, renforçant la nécessité d'une transition vers des matériaux et des pratiques de construction durables. En 2019 avec la loi Energie-Climat, la France s'engage à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Le développement et la mise en œuvre de réglementations comme la Réglementation Environnementale 2020 (RE2020) s'inscrivent dans cette dynamique. Cette dernière, entrée en vigueur en janvier 2022 vise non seulement à réduire la consommation d'énergie des bâtiments neufs, mais aussi à limiter leur impact environnemental global, notamment en matière d'empreinte carbone tout au long de leur cycle de vie. Les labels, contrairement aux réglementations qui imposent des exigences sur la conception des bâtiments, sont des démarches volontaires, et souvent plus exigeantes que la réglementation. Le label PassivHaus par exemple, d'origine allemande, se distingue par sa rigueur en termes de sobriété énergétique et de confort thermique, avec une consommation maximale de chauffage fixée à 15 kWh/m²/an. Analyser la RE2020 et des labels de construction durable permet d'identifier les écarts et les points de convergence, de mettre en lumière les indicateurs proposés par les labels pour aller au-delà des exigences réglementaires. Cela permettra aussi d'outiller les professionnels pour anticiper de futures évolutions réglementaires.

La Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) agit en tant qu'interface entre le niveau national et les acteurs locaux sur la mise en œuvre des politiques publiques en matière de transition énergétique et écologique. Elle appuie le développement de projets, sensibilise sur le sujet tout en surveillant la bonne mise en œuvre des politiques publiques à cet égard.

Ce projet représente une opportunité pour consolider les connaissances au sein de la DREAL sur les performances énergétiques et environnementales réelles de bâtiments certifiés, et pourra permettre d'éclairer les choix des professionnels et des décideurs sur les certifications et labels en vigueur, le tout en faveur de la transition énergétique dans le secteur du bâtiment en France.

¹ Données du Cerema : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/reduire-impact-carbone-batiments-mode-emploi-synthetique-du>

OBJECTIFS ET LIVRABLES ATTENDUS :

Objectifs :

L'objectif de ce stage est de décrypter ces référentiels en termes de performances énergétiques et environnementales, et de déterminer dans quelles mesures les labels permettent d'atteindre les objectifs fixés par la RE2020. Il est attendu un travail scientifique et technique. Cette analyse visera à outiller les professionnels de la construction (architectes, maîtres d'ouvrages ...) mais aussi à éclairer les services déconcentrés du ministère de la transition énergétique (DREAL, DDT) et leurs opérateurs et partenaires (Cerema, Ademe, Région, envirobat, Fibois, collectif bioS, AQC, etc..) dans le cadre du portage de la RE2020 et des autres réglementations environnementales.

Livrables :

- Étude comparative des critères de performance des principaux labels en construction durable et de la RE2020, identifiant les points de convergence et points de vigilance, avec supports visuels didactiques.
- Mémoire de synthèse expliquant la démarche et pouvant servir de référentiel aux professionnels de la construction (architectes, maîtres d'ouvrages ...).
- Simulations énergétiques et environnementales sur des bâtiments conçus selon plusieurs référentiels (notamment label Passivhaus et RE2020) et analyses comparatives.
- Illustrations de principes constructifs en réponse à des critères/exigences réglementaires.

PLAN d' ACTIONS :

Le déroulement de ce projet implique différentes phases d'étude, se définissant ainsi :

1) DECOUVERTE DU CONTEXTE

- Découverte de la DREAL et du fonctionnement interne.
- Définition du besoin au sein de l'équipe et de la problématique.

2) PARTIE THEORIQUE

A) ETAT DE L'ART

- Comparatif global des labels existants dans le secteur de la construction durable.
- Travail sur le cadre réglementaire de la RE2020.
- Analyse approfondie des labels d'Etat Bâtiment Biosourcé, et Plan bâtiment Durable, ainsi que le label PassivHaus.
- Récapitulatif des acteurs pertinents sur le sujet.

B) ETUDE DES DIFFERENTS LABELS + RE2020

- Comparaison des labels entre atouts et points de vigilance : synthèse et regard critique.
- Détermination des critères pertinents à comparer en cas pratiques.

3) PARTIE PRATIQUE

A) IDENTIFICATION DES CAS D'ETUDE

- Recensement des bâtiments d'étude.
- Collecte des données des projets.

B) SIMULATIONS

- Simulation des projets selon les calculs RE2020 et PassivHaus sur les projets choisis.
- Simulations vers des évolutions possibles : seuils 2028/2031 RE2020, Label biosourcé, Plan Bâtiment Durable ?

C) SYNTHESE

- Synthèse des résultats des simulations : exigences, avantages et limites des labels appliqués aux projets.

4) REALISATION DU MEMOIRE FINAL

- Rédaction des fiches de suivi.
- Rédaction des compte-rendu intermédiaires.
- Rédaction du mémoire final.
- Préparation de la soutenance orale finale.

PLANNING PREVISIONNEL :

Semaine	Date	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Échéance INSA
47	18/11-24/11					début du stage le 18/11
48	25/11-1/12					
49	2/12-8/12					Rendu fiche objectifs le 02/12
50	09/12-15/12					
51	16/12-22/12					
52	23/12-29/12					
1	30/12-05/01					
2	06/01-12/01					Rapport intermédiaire le 06/12
3	13/01-19/01					
4	20/01-26/01					
5	27/01-02/02					
6	03/02-09/02					
7	10/02-16/02					
8	17/02-23/02					Rapport intermédiaire le 17/02
9	24/02-02/03					
10	03/03-09/03					
11	10/03-16/03					Fin du stage le 14/03
12	10/03-23/03					Rendu mémoire le 21/03

RESUME CONDENSE

Ce travail étudie l'impact carbone des maisons individuelles ou accolées passives du Grand-Est, au regard des exigences de la RE2020, et identifie les facteurs d'influence. L'analyse s'appuie sur trois axes : une étude théorique des cadres réglementaires (RE2020, labels), l'approfondissement de bases de données RE2020 et PassivHaus afin d'en sortir des statistiques à l'échelle régionale, et une étude de cas d'une maison passive biosourcée dans le Grand-Est. Les résultats montrent que ces typologies passives sont dans cette région non seulement performantes sur le plan énergétique et thermique encadrées par le label, mais adoptent en fait une démarche vertueuse globale, avec une attention apportée à l'impact carbone du projet via l'utilisation de biosourcé en structure et isolation. Cependant, d'autres tendances observées dans le passif (triple vitrage, ventilation double flux, systèmes de chauffage électriques d'appoint) peuvent entraîner des difficultés à respecter certaines exigences de la RE2020, ces composants étant défavorisés d'un point de vue carbone et énergie par rapport à des composants plus fréquemment utilisés par des projets strictement réglementaires. L'étude met en outre en évidence que l'usage de matériaux biosourcés, le recours à des FDES individuelles dans l'analyse de cycle de vie, et l'intégration du réemploi sont des leviers efficaces pour atteindre les seuils futurs RE2020. Elle souligne également l'importance d'une approche croisée entre RE2020 et labels, afin de mieux concilier efficacité énergétique et réduction des émissions sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.

The following study evaluates the carbon footprint of a passive house in Région Grand-Est, from the perspective of the french relementation in building : RE2020, and identity influencing factors. The work focuses on three axes: a a theoretical explanation of RE2020 and labels, their specificities and similarities, an analysis of RE2020 and PassivHaus databases to demonstrate statistics at the regional scale, and a case study of a passive house, which uses mostly bio-sourced materials. The results show that passive house typologies in this region not only meet the energy and thermal performance standards set by the label PassivHaus, but also adopt an overall virtuous approach, with attention paid to the project's carbon impact through the use of bio-sourced materials in structure and insulation. However, other tendencies observed in passive building (triple glazing, double-flow ventilation, auxiliary electric heating systems) may challenge the reaching of some RE2020 requirements, as these components are at a disadvantage from a carbon and energy point of view, compared to components more frequently used in standards projects. The study also highlights that the use of bio-sourced materials, the use of individual *FDES* in life cycle analysis, and the integration of reuse in construction, are effective for achieving future RE2020 thresholds. It also underlines the importance of a tranverse approach between RE2020 and labels, in order to find a balance between energy efficiency and carbon emissions reduction over the entire building lifecycle.

Diese Arbeit untersucht den CO₂-Ausstoß von individuellen oder aneinanderreihenen Passivhäusern in der Region Grand-Est im Hinblick auf die RE2020-Anforderungen und identifiziert die Einflussfaktoren. Die Analyse stützt sich auf drei Achsen: eine theoretische Untersuchung der gesetzlichen Rahmenbedingungen (RE2020, Labels), die Vertiefung der RE2020- und Passivhaus-Datenbanken zur Erstellung von Statistiken auf regionaler Ebene und eine Fallstudie eines biobasierten Passivhauses in der Region Grand-Est. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Passivhaustypologien in dieser Region nicht nur die vom Label vorgeschriebenen Energie- und Wärmeleistungen erbringen, sondern tatsächlich einen globalen tugendhaften Ansatz verfolgen, bei dem durch die Verwendung von biobasierten Materialien für Struktur und Dämmung auf die CO₂-Ausstoß des Projekts geachtet wird. Allerdings können andere Passivhaustrends (Dreifachverglasung, Doppelbelüftung, elektrische Zusatzheizungen) zu Schwierigkeiten bei der Erfüllung der RE2020-Anforderungen führen, da diese Komponenten im Vergleich zu Komponenten, strikt regelgerechte Projekten verwendet werden, in Bezug auf CO₂ und Energie benachteiligt sind. Die Studie hebt außerdem hervor, dass der Gebrauch von biobasierten Materialien, die Verwendung von einzelnen FDES in der Lebenszyklusanalyse und die Einbeziehung der Wiederverwendung wirksame Hebel sind, um die zukünftigen RE2020-Schwellenwerte zu erreichen. Sie betont auch die Wichtigkeit eines Cross-Ansatzes zwischen RE2020 und Labels, um Energieeffizienz und Emissionsminderung über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes besser miteinander zu vereibaren.

TABLE DES MATIERES

FICHE D'OBJECTIFS.....	2
RESUME CONDENSE.....	5
TABLE DES MATIERES.....	6
LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET GLOSSAIRE.....	7
Liste des figures	7
Liste des Tableaux.....	8
Glossaire	9
INTRODUCTION.....	11
1. CADRE THEORIQUE : LABELS ET RE2020.....	12
1.1 Réglementation.....	12
1.1.1 Définition d'une réglementation.....	12
1.1.2 Contexte de la RE2020	12
1.1.3 Qui est concerné par la RE2020 ?.....	13
1.1.4 Méthode d'évaluation.....	13
1.1.5 Exigences.....	15
1.2 Labels	15
1.2.1 Définition d'un label.....	15
1.2.2 Qui attribue les labels ?.....	15
1.2.3 Label d'Etat ou label privé ?.....	16
1.2.4 Catégories de labels de la construction durable en France	16
1.2.5 Le label PassivHaus.....	16
1.2.6 Le label Bâtiment Biosourcé.....	19
1.3 Synthèse théorique : utiliser les labels dans un cadre réglementaire	20
1.3.1 Vérifications et contrôles des démarches	21
1.3.2 Stabilité ou évolutivité des démarches ?	22
1.3.3 Evolution entre RT2012 et RE2020 : quel impact sur le passif ?	22
1.3.4 Synthèse des domaines d'exigence des démarches	22
2. STATISTIQUES SUR DES PROJETS PASSIFS ET REGLEMENTAIRES.....	24
2.1 Etude de l'observatoire RE2020.....	24
2.1.1 Généralités sur la base de données	24
2.1.1 Tendances constructives.....	26
2.1.2 Tendances des systèmes énergétiques	29
2.1.3 Conclusions sur les tendances et principes constructifs RE2020	31
2.2 Etude des bâtiments du Grand-Est certifiés PassivHaus.....	31
2.2.1 Généralités sur la base de données	31
2.2.2 Tendances constructives.....	32
2.2.3 Tendances des systèmes énergétiques.....	33
2.2.4 Conclusions sur les tendances et principes constructifs passifs	35
2.3 Synthèse sur les statistiques des bases de données RE2020 et PassivHaus	35
3. ETUDE D'UN PROJET REEL : la maison individuelle passive biosourcée.....	36
3.1 Analyse du projet	36
3.1.1 Caractéristiques générales du projet	36

3.1.2	Résultats PHPP, RE2020 et label Bâtiment biosourcé	37
3.1.3	Analyse ACV globale.....	38
3.1.4	Analyse des 4 lots les plus émetteurs de carbone	40
3.1.5	Correction ACV.....	42
3.2	Propositions de variantes.....	43
3.2.1	Variante sur les panneaux photovoltaïques.....	43
3.2.2	Variante sur les vitrages	43
3.2.3	Variante sur les compositions de parois.....	44
3.2.4	Variante sur les données environnementales par défaut	48
3.3	Synthèse du projet et des variantes.....	52
3.3.1	Détail par lot de composants	52
3.3.2	Conclusion sur la valeur de $I_{c_construction}$	52
3.3.3	Comparaison avec un projet RE2020 non biosourcé	53
3.3.4	Conclusion sur les autres exigences RE2020.....	54
3.3.5	Conclusions sur les tendances et principes constructifs	55
	CONCLUSION.....	57
	Prise de recul sur le stage et remerciements.....	58
	BIBLIOGRAPHIE	59
	LISTE DES DOCUMENTS ANNEXE	60

LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET GLOSSAIRE

Liste des figures

Figure 1:	Frise chronologique des avancées réglementaires françaises	12
Figure 2:	Calcul de l'indicateur carbone bâtiment	14
Figure 3:	Tableau des indicateurs RE2020	14
Figure 4:	Objectifs et critères RE2020.....	15
Figure 5:	Objectifs et critères du passif.....	17
Figure 6:	Nombre de projets passifs selon la Région en France métropolitaine []	19
Figure 7:	Objectifs et critères du label Bâtiment Biosourcé.....	20
Figure 8:	Schémas des domaines d'étude de chaque démarche en fonction du nombre d'exigence dans ces domaines	23
Figure 9:	Part des différentes typologies recensées en zone H1b	25
Figure 10:	Graphique des valeurs moyennes de stock C en zone H1b selon les typologies bâties.....	26
Figure 11:	$I_{c_construction}$ selon l'isolant pour une construction béton	28
Figure 12:	$I_{c_construction}$ selon l'isolant pour une construction bois massif	29
Figure 13:	$I_{c_construction}$ selon l'isolant pour une construction terre cuite	29
Figure 14:	Part des systèmes énergétiques en maison individuelle zone H1b	30
Figure 15:	Graphique des valeurs $I_{c_énergie}$ des projets selon leur système de chauffage	31
Figure 16:	Graphique de répartition des typologies (gauche) et graphique de répartition des matériaux de structure (droite)	32
Figure 17:	Nombre de projets en isolation biosourcée ou non biosourcée en fonction du type de structure.....	32
Figure 18:	Graphiques des isolants utilisés en structure béton (gauche) et bois (droite)	33
Figure 19:	Graphique du nombre de projets selon son choix de matériau en structure et isolation et selon sa typologie	33
Figure 20:	Proportion des différents systèmes de chauffage dans l'échantillon de projets	34

Figure 21: Nombre de projets selon le choix du système de chauffage et la typologie du projet.....	34
Figure 22: Demande de chauffage moyenne selon le système principal utilisé	35
Figure 23: Graphique des émissions de CO2 par lots.....	39
Figure 24: Types de fiches FDES renseignées dans le projet.....	40
Figure 25: Répartition des émissions carbone du lot 13 panneaux PV	40
Figure 26: Répartition de l'impact CO2 du lot Façades et menuiseries (gauche) et répartition du sous-lot ouvertures en façades (droite)	41
Figure 27: Répartition des émissions carbone du lot superstructure	41
Figure 28: Répartition de l'impact carbone des différents isolants	42
Figure 29: résultats Pléiades sur les indicateurs RE2020 après correction du projet	42
Figure 30: Répartition de l'impact carbone des isolants biosourcés	46
Figure 31: Extrait Pléiades _composition du mur extérieur pour variante non biosourcé	47
Figure 32: Répartition des émissions CO2 du lot superstructure et maçonnerie	47
Figure 33: Répartition des émissions CO2 sur tous les lots du projet	48
Figure 34: Nombre de fiches FDES dans la base INIES selon les années.....	50
Figure 35: part des différents types de fiches INIES sur le projet	50
Figure 36: Part des différents lots dans l'impact carbone de la variante.....	51
Figure 37: Résultats Pléiades sur la variante DED	51
Figure 38: Graphique de la proportion (%) des bâtiments respectant les seuils Ic_construction selon les zones climatiques.....	53
Figure 39: Synthèse des scores Ic_construction selon les variantes les plus impactantes	56

Liste des Tableaux

Tableau 1: Récapitulatif des critères et des principes constructifs correspondants, recommandés par l'institut ...	18
Tableau 2: Récapitulatif des caractéristiques des deux outils de calcul RE2020 et PassivHaus	21
Tableau 3: Synthèse des domaines d'exigences des labels PassivHaus, Bâtiment Biosourcé, et RE2020	23
Tableau 4: Données sur les indicateurs RE2020 pour des maisons individuelles ou accolées en zone H1b	25
Tableau 5: Valeurs moyennes des indicateurs RE2020 en fonction du matériau structurel	26
Tableau 6: Valeurs moyennes des indicateurs RE2020 en fonction du complexe structure/isolant	27
Tableau 7: Indicateurs RE2020 selon l'installation de chauffage du projet	29
Tableau 8: Synthèse des données de l'observatoire RE2020 et PassivHaus	35
Tableau 9: Caractéristiques de la maison passive biosourcée RE2020	36
Tableau 10: Résultats critères PHPP	37
Tableau 11: Résultats sur les indicateurs RE2020 en fonction des exigences 2022-2025	37
Tableau 12: Résultats futurs seuils RE2020 et Bâtiment Biosourcé.....	38
Tableau 13: Synthèse de l'impact carbone du projet initial et de la variante sur le lot 13	43
Tableau 14: Composition du triple vitrage du projet et du double vitrage proposé en variante	43
Tableau 15: Comparaison des résultats PHPP en projet initial et variante avec double vitrage	44
Tableau 16: Synthèse des résultats de l'impact CO2 des deux solutions	44
Tableau 17: Remplacement de l'isolant non biosourcé en dalle de sol	45
Tableau 18: Remplacement de l'isolant non biosourcé sur vide sanitaire.....	45
Tableau 19: Remplacement de l'isolant non biosourcé sous les combles	46
Tableau 20: Comparaison du score Ic_DED du projet avec la moyenne des maisons individuelles H1b	48
Tableau 21: Impact des coefficients de sécurité sur les scores carbones de produits par défaut dans la base INIES	49
Tableau 22: Synthèse de l'impact DED sur les projets conformes au seuil 2028.....	52
Tableau 23: Composition structurelle du projet comparatif	53
Tableau 24: Comparaison d'indicateurs carbone sur les deux projets	53
Tableau 25: Valeurs de Ic_composant [kg eq CO2/m2] pour chaque lot	54
Tableau 26: comparatif des valeurs RE2020 du projet par rapport à la moyenne en maison individuelle H1b.....	54

Tableau 27: Comparatif des valeurs RE2020 du projet par rapport à des projets utilisant le même système de chauffage 55

Tableau 28: Comparatif des résultats Cep et Cep,nr moyens pour d'autres systèmes de chauffage..... 55

Glossaire

ACV : Analyse de Cycle de Vie. Elle calcule l'impact sur le climat des bâtiments neufs en prenant en compte l'ensemble des émissions du bâtiment sur son cycle de vie, de la phase de production, à la fin de vie, en passant par la phase de construction et d'exploitation. Elle regarde aussi les bénéfices et charges au-delà du cycle de vie du bâtiment (potentiel de réutilisation, recyclage etc.). Elle permet d'une part d'inciter à des modes constructifs qui émettent peu de gaz à effet de serre ou qui permettent d'en stocker, tels que le recours aux matériaux biosourcés. D'autre part, la consommation de sources d'énergie décarbonées est encouragée. L'ensemble des données utilisables pour réaliser une ACV dans le cadre de la RE 2020 sont rassemblées dans la base de données INIES.

Base INIES : INformations sur les Impacts Environnementaux et Sanitaires. Base de données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment et la RE2020.

Biosourcé : Les matériaux biosourcés sont issus de la matière organique renouvelable (biomasse), d'origine végétale ou animale. Ils peuvent être utilisés comme matière première dans des produits de construction et de décoration, de mobilier fixe et comme matériau de construction dans un bâtiment.

DED : Données environnementales par défaut. Données de substitution utilisées en l'absence de données spécifiques (FDES ou PEP) pour l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) des bâtiments. Répertoire dans la base INIES.

Eaux grises : On regroupe sous l'appellation « eaux grises » ou « eaux usées » toutes les sources d'eau domestique souillée à l'exclusion de la chasse d'eau des toilettes. Le terme peut donc inclure l'eau drainée des lavabos, la douche et la machine à laver (généralement pas les eaux issues de l'évier de cuisine, ni du lave-vaisselle, contenant graisses et matières organiques).

Economie circulaire : L'économie circulaire consiste à produire des biens et des services de manière durable en limitant la consommation et le gaspillage des ressources et la production des déchets. Il s'agit de passer d'une société du tout jetable à un modèle économique circulaire.

ECS : Eau Chaude Sanitaire. Fait référence à l'eau utilisée dans les foyers pour diverses tâches domestiques, telles que la douche, la vaisselle, ou encore la lessive.

Effet Joule (ou électricité directe) : Dégagement de chaleur provoqué par le passage d'un courant électrique dans un matériau conducteur lui opposant une résistance. Utilisé pour le chauffage avec des appareils comme les radiateurs électriques, sèche-serviettes, planchers chauffants.

Efficacité énergétique : La notion d'efficacité (ou efficience) énergétique d'un système, en physique, se définit par le rapport entre le niveau d'énergie utile qu'il délivre et celui de l'énergie consommée, nécessaire à son fonctionnement. Plus largement, le concept désigne un ensemble de solutions techniques et/ou logistiques permettant de réduire la consommation énergétique d'un système pour un service rendu identique voire supérieur, ainsi que leurs procédures d'évaluation.

Empreinte carbone : L'empreinte carbone d'un bâtiment, qu'il soit résidentiel ou tertiaire, se définit comme la mesure précise et complète des émissions de gaz à effet de serre tout au long de son cycle de vie. Elle prend en compte non seulement les émissions directes liées à l'utilisation d'énergie dans le bâtiment, mais également les émissions indirectes provenant de l'extraction des matériaux de construction, de leur fabrication, du transport, ainsi que de la gestion des déchets et de la fin de vie du bâtiment.

Enveloppe thermique d'un bâtiment : L'enveloppe thermique d'un bâtiment est la barrière physique qui sépare l'intérieur de l'extérieur, régulant ainsi les échanges de chaleur. Elle est composée de matériaux isolants, de murs, de toits et de fenêtres conçus pour optimiser l'efficacité énergétique.

Fiche FDES : Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire. Déclaration environnementale de type III au sens de la norme ISO14025. Elle contient les résultats de l'Analyse de Cycle de Vie d'un produit ainsi que des informations sanitaires dans la perspective notamment du calcul de la performance environnementale et sanitaire du bâtiment pour son éco-conception.

GES : Gaz à Effet de Serre. Gaz d'origine naturelle (vapeur d'eau) ou anthropique (liée aux activités humaines) absorbant et réémettant une partie des rayons solaires (rayonnement infrarouge), phénomènes à l'origine de l'effet de serre.

ITE : Isolation thermique par l'Extérieur. Regroupe l'ensemble des techniques permettant de traiter, par l'extérieur, l'enveloppe du bâtiment afin d'en limiter les déperditions thermiques.

ITI : Isolation Thermique par l'Intérieur. Ensemble des procédés techniques mis en œuvre à l'intérieur d'une surface habitable pour améliorer sa performance énergétique.

MOB : Mur à Ossature Bois. Technique de construction qui consiste à utiliser du bois comme matériau principal pour la structure de la paroi. Contrairement aux murs en béton ou en brique, les murs à ossature bois sont composés de montants et de traverses en bois, qui sont ensuite recouverts d'un parement extérieur et intérieur.

PAC : Pompe à chaleur. Appareil qui utilise un dispositif thermodynamique, qui permet de transférer de la chaleur provenant d'un milieu froid vers un lieu à chauffer.

PHI : Passive House Institut. Institut indépendant de recherche qui a élaboré et développé la démarche PassivHaus.

PHPP : Passive House Planning Package. Outil de modélisation énergétique basé sur Excel, utilisé pour concevoir des bâtiments passifs et à faible consommation d'énergie.

RCU : Réseau de Chaleur Urbain. Système de distribution de chaleur produite de façon centralisée, permettant de desservir plusieurs usagers. Il comprend une ou plusieurs unités de production de chaleur, un réseau de distribution primaire dans lequel la chaleur est transportée par un fluide caloporteur, et un ensemble de sous-stations d'échange, à partir desquelles les bâtiments sont desservis par un réseau de distribution secondaire.

RSEE : Récapitulatif standardisé d'étude énergétique et environnementale. Fichier au format xml qui récapitule les résultats énergétiques et environnementaux des indicateurs RE2020 d'une étude menée par un bureau d'études spécialisé sur un logiciel de calcul évalué.

RSET : Récapitulatif standardisé d'étude thermique. Fichier au format xml qui récapitule les résultats thermiques des indicateurs RT2012 d'une étude menée par un bureau d'études spécialisé sur un logiciel de calcul évalué.

RT Ex : Réglementation thermique en vigueur pour les bâtiments existants. Elle s'applique aux bâtiments résidentiels et tertiaires existants, avec des exigences variant selon l'importance des travaux et la taille du bâtiment.

Th-BCE : La méthode de calcul Th-B-C-E a pour objet de décrire le calcul réglementaire. Elle n'a cependant pas vocation à faire le calcul des consommations réelles, compte tenu des conventions retenues, notamment pour les apports extérieurs de chaleur, les températures de consigne et les horaires d'occupation.

INTRODUCTION

Le secteur du bâtiment est l'un des principaux contributeurs d'émissions de gaz à effet de serre (GES) en France, représentant environ 25% des émissions nationales [2]. Or, dans un contexte de changement climatique, la réduction des émissions de GES et l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments sont devenues des priorités. Par ailleurs, les ressources naturelles s'amenuisent, renforçant la nécessité d'une transition vers des matériaux et des pratiques de construction durables. En 2019 avec la loi Energie-Climat, la France s'engage à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Le développement et la mise en œuvre de réglementations comme la Réglementation Environnementale 2020 (RE2020) s'inscrivent dans cette dynamique. Cette dernière, entrée en vigueur en janvier 2022 vise non seulement à réduire la consommation d'énergie des bâtiments neufs, mais aussi à limiter leur impact environnemental global, notamment en matière d'empreinte carbone tout au long de leur cycle de vie. Les labels, contrairement aux réglementations qui *imposent* des exigences sur la conception des bâtiments, sont des démarches volontaires, se voulant plus exigeantes que la réglementation. Le label PassivHaus par exemple, d'origine allemande, se distingue par sa rigueur en termes de sobriété énergétique et de confort thermique, avec une consommation maximale de chauffage fixée à 15 kWh/m²/an.

La Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) agit en tant qu'interface entre le niveau national et les acteurs locaux sur la mise en œuvre des politiques publiques en matière de transition énergétique et écologique. Elle appuie le développement de projets, sensibilise sur le sujet et porte les politiques publiques à cet égard. Ce projet représente une opportunité pour consolider les connaissances au sein de la DREAL sur les performances énergétiques et environnementales réelles de bâtiments certifiés, et pourra permettre d'éclairer les choix des professionnels et des décideurs sur les certifications et labels en vigueur, le tout en faveur de la transition énergétique dans le secteur du bâtiment en France.

Ce rapport vise à décrypter les objectifs et exigences de la RE2020, et les confronter avec ceux de labels reconnus pour leurs résultats de performances énergétiques (comme PassivHaus) et environnementaux (BBCA et Bâtiment biosourcé). Il s'agira d'identifier leurs démarches et exigences relatives afin de répondre aux questions suivantes : ***Existe-t-il des tendances en construction neuve qui permettent d'atteindre les différents seuils carbone RE2020 et ainsi de tendre vers la neutralité carbone fixée pour 2050 dans le secteur du bâtiment ? Comment se placent les bâtiments passifs du parc bâti du grand-est en termes d'impact carbone, et comment la RE2020 et des labels de la construction durable permettent-ils de le quantifier ?***

Ce travail permettra ainsi d'outiller les professionnels pour anticiper de futures évolutions réglementaires, et d'éclairer les agents gouvernementaux sur les performances des bâtiments passifs et/ou réglementés RE2020.

Le rapport s'articule en trois grandes parties. La première partie est consacrée au cadre théorique, avec une exploration des bases réglementaires de la RE2020 et des labels liés à la construction durable en France. Le mémoire se focalise sur le label PassivHaus, pionnier dans l'évaluation des performances énergétiques des bâtiments, et apporte des précisions sur l'impact carbone des projets liés aux matériaux, grâce au label Bâtiment Biosourcé. Une seconde partie se focalise sur des données concrètes. Des bases de données, recensant des bâtiments passifs et des bâtiments réglementés RE2020, permettront de faire émerger différentes philosophies et principes constructifs de la construction passive, la confronter avec l'utilisation de matériaux biosourcés pour limiter l'empreinte carbone des projets, et quantifier cet impact grâce aux indicateurs RE2020. Ces statistiques permettront de mettre en évidence le projet passif « type » à étudier concrètement. Ce projet est le cœur de la troisième et dernière partie : le but est d'évaluer ses résultats réglementaires, notamment d'un point de vue carbone, afin de comprendre comment se place ce projet passif par rapport à la RE2020 et ses exigences sur l'ACV, puis de proposer des variantes selon les performances observées.

2 Réduire l'impact carbone des bâtiments ; Cerema, 2024 : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/reduire-impact-carbone-batiments-mode-emploi-synthetique-du>

1. CADRE THEORIQUE : LABELS ET RE2020

Cette première partie permet de présenter la réglementation environnementale française concernant les bâtiments neufs: la RE2020, en comprendre l'utilité et les spécificités. Elle définit aussi la notion de Label, et apporte des précisions sur deux labels de la construction durable : PassivHaus, et Bâtiment Biosourcé. Le but est d'identifier leurs complémentarités et les champs d'action communs avec la RE2020, tout en évaluant les exigences de chacun.

1.1 Réglementation

1.1.1 Définition d'une réglementation

La réglementation correspond aux obligations imposées par la loi : les programmes immobiliers neufs doivent se conformer aux normes en vigueur. Depuis le 1^{er} janvier 2022, les maisons ou les immeubles dont les permis de construire ou déclarations préalables ont été déposés à partir de cette date doivent respecter la nouvelle réglementation environnementale 2020 (RE2020) qui remplace la RT2012. La mise en vigueur de la RE2020 est progressive, séquencée par typologie, il reste donc encore à ce jour quelques typologies non couvertes par la RE2020 et qui dépendent de la RT 2012. (Voir paragraphe : qui est concerné par la RE2020) [3].

1.1.2 Contexte de la RE2020

En 2020, la France passe d'une réglementation thermique, la RT2012, à une réglementation environnementale, la RE2020, plus ambitieuse et exigeante pour la filière construction. La RE 2020 est la nouvelle réglementation énergétique et environnementale de l'ensemble de la construction neuve. Elle prend dorénavant en compte non seulement les consommations d'énergie, mais aussi les émissions de carbone, y compris celles liées à la phase de construction du bâtiment. L'enjeu est donc de concevoir et construire les bâtiments neufs en poursuivant trois objectifs majeurs : un objectif de sobriété énergétique et une décarbonation de l'énergie ; une diminution de l'impact carbone ; une garantie de confort en cas de forte chaleur. Cette nouvelle réglementation a été précédée par l'expérimentation E+/C- (Energie positive et Réduction carbone), qui a mobilisé l'ensemble des acteurs de la construction pour concevoir et tester un référentiel énergie-carbone, visant principalement à réduire l'empreinte carbone des bâtiments.

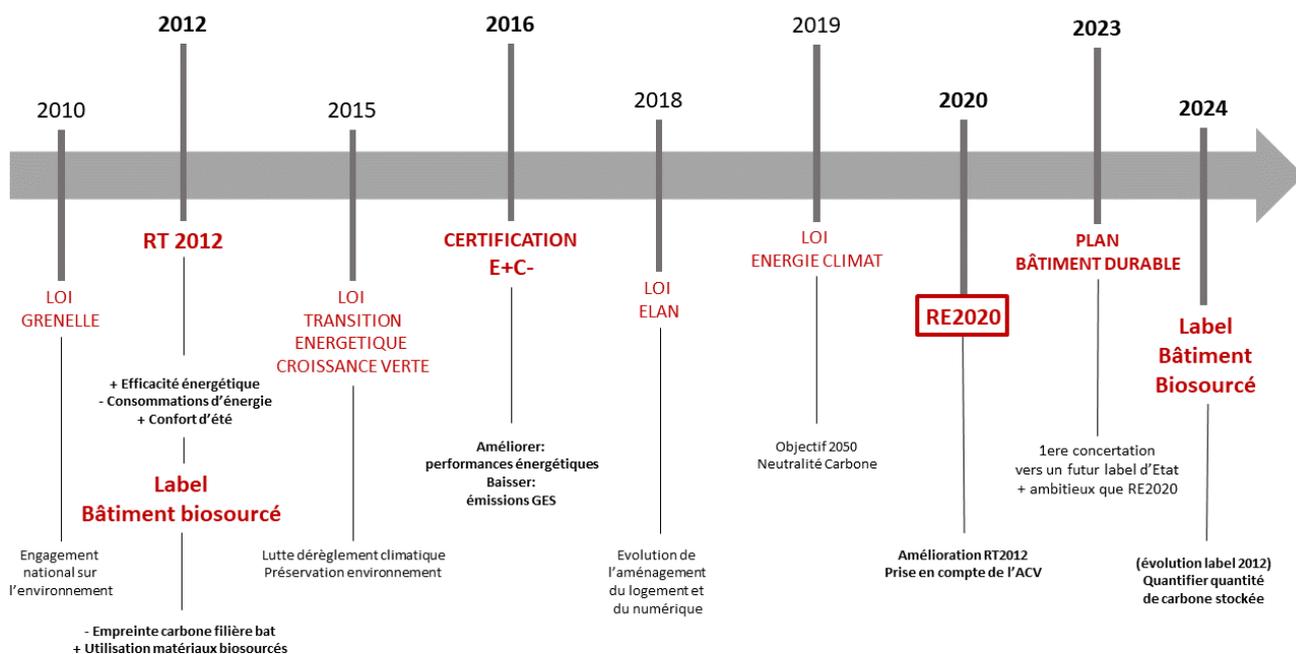


Figure 1: Frise chronologique des avancées réglementaires françaises

3 Certification, label, réglementation, normes... Quelles différences ? ; NF-Habitat, 2022 : <https://www.nf-habitat.fr/actualites/certification-label-reglementation-normes-differences/>

1.1.3 Qui est concerné par la RE2020 ?

La RE2020 concerne uniquement les constructions neuves construites à partir de Janvier 2022. Une réglementation existe pour la rénovation de l'existant : c'est la RT Existant. Celle-ci date de 2008 [4], même si des arrêtés plus récents la complètent depuis. Plus spécifiquement, la RE2020 s'applique initialement à la construction de bâtiments ou parties de bâtiments à usage d'habitation (maisons individuelles et logements collectifs). Quelques mois plus tard, elle est étendue aux bâtiments ou parties de bâtiment à usage de bureaux, ou d'enseignement primaire ou secondaire. Depuis janvier 2023 elle s'applique aux constructions et extensions de petites surfaces d'habitation, de bureaux ou d'enseignement primaire ou secondaire, ainsi qu'aux constructions ne requérant pas de permis de construire ou de déclaration préalable et pour les constructions provisoires. Enfin, dans un troisième temps depuis Janvier 2025 seulement, elle concerne les bâtiments tertiaires spécifiques : hôtels, commerces, gymnases, ...

1.1.4 Méthode d'évaluation

L'évaluation du respect des exigences RE2020 d'un bâtiment est effectuée lors du **permis de construire**. C'est donc une évaluation au niveau du bâtiment et de la parcelle. La **période d'étude** de référence sur un bâtiment est de **50 ans** après sa construction (période d'exploitation)[5]. Les **données d'entrée** du projet sont :

- Des éléments qui caractérisent le bâtiment et son environnement : dimensions exactes, surfaces, orientation, masques solaires, performance thermique des matériaux... ;
- Des éléments qui définissent les équipements : système de chauffage, éclairage, ventilation... ;
- Des données conventionnelles relatives aux données climatiques, à l'occupation et à l'usage de bâtiment (données météorologiques, scénarios d'occupation ...).
- L'ensemble des données utilisables pour réaliser une ACV [6] (Analyse de Cycle de Vie).

Plusieurs **indicateurs** sont calculés de manière à quantifier la réalisation des 3 objectifs (performance énergétique, performance environnementale, confort d'été). Les **indicateurs** permettant de mesurer la **performance énergétique** sont :

- Le coefficient du besoin bioclimatique : Bbio

Il caractérise la capacité de la conception d'un bâtiment à réduire passivement les besoins de chauffage en hiver, de refroidissement en été et d'éclairage artificiel (grâce à son orientation, exposition, compacité, occultations etc.).

- Le coefficient d'énergie primaire : Cep

Relatif aux consommations d'énergies primaires du bâtiment, il comptabilise uniquement les énergies importées (renouvelables ou pas) nécessaires à la couverture des besoins du bâtiment. L'indicateur ne comptabilise donc pas les énergies renouvelables captées sur la parcelle du bâtiment.

- Le nouveau coefficient d'énergie primaire non renouvelable : Cep,nr

Il représente la consommation d'énergie primaire non renouvelable du bâtiment sur les mêmes usages que le Cep. Avec ce nouvel indicateur, la RE 2020 diffère de la RT 2012 et incite au recours aux énergies renouvelables via un seuil maximal ambitieux de consommation d'énergie primaire non renouvelable.

Les **indicateurs** permettant de mesurer la **performance environnementale** sont les indicateurs Ic, reposant sur la méthode de l'analyse de cycle de vie. Cinq catégories composent le bâtiment : les composants, l'énergie, le chantier, l'eau, et la parcelle. Les impacts environnementaux de chaque contribution ne concernent pas forcément toutes les phases du cycle de vie (par exemple la contribution énergie ne se retrouve qu'en phase d'exploitation, tandis que la contribution chantier se trouve en phase construction). La somme des impacts de chaque contributeur

4 FAQ 157 – Quelle est la date d'application de la RT existant globale ? ; Gouvernement – RT-RE-bâtiment, 2024 : <https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/157-quelle-est-la-date-d-application-de-la-rt-a402.html>

5 Guide RE2020-réglementation environnementale ; écologie.gouv, 2024:

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/guide_re2020_version_janvier_2024.pdf

6 Voir Glossaire pour définition et explication du calcul.

mesure l'impact global du bâtiment : $Ic_{bâtiment}$ (cet indicateur ne fait pas l'objet d'une exigence de la réglementation) :



Figure 2: Calcul de l'indicateur carbone bâtiment

Les contributeurs « Composants » (couplé avec « Chantier ») et « Energie », ont les impacts sont les plus lourds, et pour cela, bénéficient d'indicateurs et donc d'exigences spécifiques pour calculer leur impact :

- L'indicateur $Ic_{énergie}$

Cet indicateur évalue l'impact sur le changement climatique de la consommation des énergies pendant l'utilisation du bâtiment sur toute sa durée de vie (soit 50 ans). C'est à la fois un indicateur énergétique et environnemental. Il est mesuré en kg de CO₂ équivalent émis dans l'environnement par m².

- L'indicateur $Ic_{construction}$

De la même manière que pour $Ic_{énergie}$, $Ic_{construction}$ mesure l'impact des contributions « Composants » et « Chantier ». C'est le focus sur les produits de construction et équipements et leur mise en œuvre.

Enfin, l'indicateur permettant de mesurer le confort d'été est :

- Le degré-heure (DH)

Il permet d'évaluer l'inconfort et s'exprime en °C.h. Il représente le niveau d'inconfort perçu par les occupants. Plus concrètement, cet indicateur s'apparente à un compteur qui cumule, sur l'année, chaque degré inconfortable de chaque heure. Voici ci-dessous (figure 3) un tableau récapitulatif des indicateurs :

Energie	Bbio [points]	Besoins bioclimatiques	Évaluation des besoins de chaud, de froid (que le bâtiment soit climatisé ou pas) et d'éclairage.	
	Cep [kWhep/(m ² .an)]	Consommations d'énergie primaire totale	Évaluation des consommations d'énergie renouvelable et non renouvelable des 5 usages RT 2012 : chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire, éclairage, ventilation et auxiliaires +	EVOLUTION
	Cep,nr [kWhep/(m ² .an)]	Consommations d'énergie primaire non renouvelable	<ol style="list-style-type: none"> 1. éclairage et/ou de ventilation des parkings 2. éclairage des circulations en collectif 3. électricité ascenseurs et/ou escalators 	NOUVEAU
Carbone	$Ic_{énergie}$ [kg eq. CO ₂ /m ²]	Impact sur le changement climatique associé aux consommations d'énergie	Introduction de la méthode d'analyse du cycle de vie pour l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des énergies consommées pendant le fonctionnement du bâtiment, soit 50 ans.	NOUVEAU
	$Ic_{construction}$ [kg eq. CO ₂ /m ²]	Impact sur le changement climatique associé aux « composants » + « chantier »	Généralisation de la méthode d'analyse du cycle de vie pour l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des produits de construction et équipements et leur mise en œuvre : l'impact des contributions « Composants » et « Chantier ».	NOUVEAU
Confort d'été	DH [°C.h]	Degré-heure d'inconfort : niveau d'inconfort perçu par les occupants sur l'ensemble de la saison chaude	Évaluation des écarts entre température du bâtiment et température de confort (température adaptée en fonction des températures des jours précédents, elle varie entre 26 et 28°C).	NOUVEAU

Figure 3: Tableau des indicateurs RE2020

Les logiciels habilités aux calculs RE2020 permettent de sortir des fichiers récapitulatifs standardisés d'étude thermique (RSET), et des fichiers standardisés d'étude énergétique et environnementale (RSEE). Pour attester de la prise en compte de la RE2020 sur un projet, il faut fournir deux documents, établis à deux moments clés du processus de construction : au dépôt de la demande de permis de construire, et à l'achèvement des travaux de construction d'un bâtiment. De manière synthétique, la RE2020 définit trois objectifs, dont découlent 5 critères :

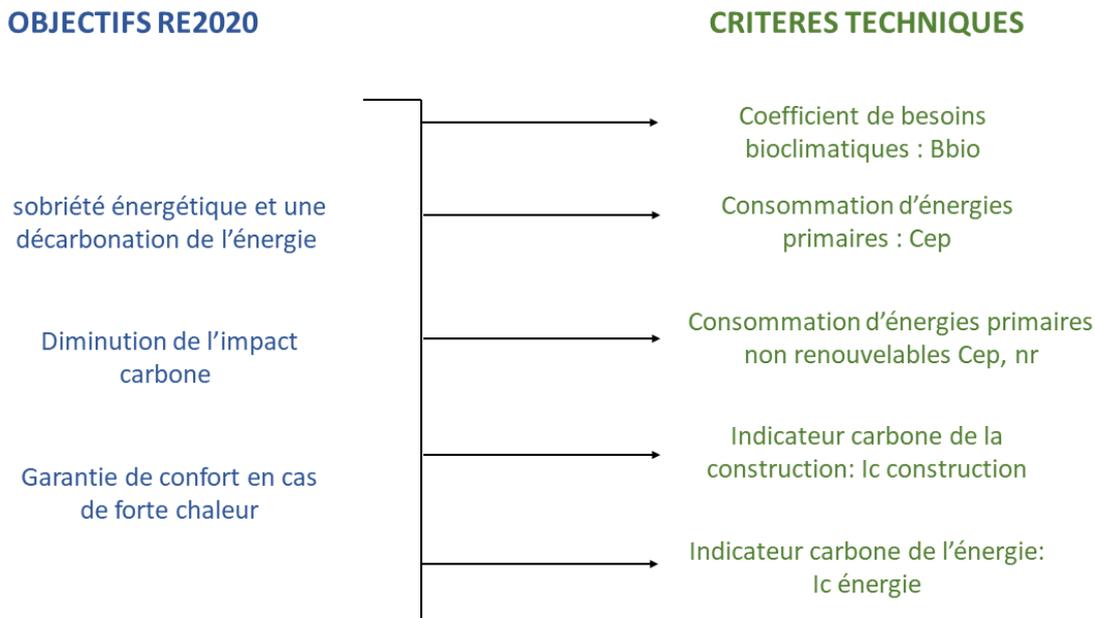


Figure 4: Objectifs et critères RE2020

1.1.5 Exigences

Les indicateurs ont des valeurs cibles maximum à ne pas dépasser : ce sont les exigences. Ces exigences sont déterminées en fonction de la typologie du bâtiment (ce n'est pas la même valeur si le projet est une maison individuelle ou un bâtiment tertiaire). Pour certains indicateurs, ils sont échelonnés par seuils (2022-2025, 2025-2028, 2028-2031). A chaque seuil, les exigences deviennent plus strictes. Le détail des exigences est développé en annexe.

1.2 Labels

1.2.1 Définition d'un label

Un label est un moyen d'information du public sur les propriétés et les qualités objectives d'un ouvrage, d'un environnement, d'une information, d'un bâtiment, d'une procédure, etc. **Démarche volontaire**, le label garantit ainsi la qualité et la conformité de l'élément étudié, avec les **exigences définies par un cahier des charges**, ou référentiel, regroupant des critères à respecter [7]. Dans le domaine de la construction, un label reconnaît la qualité d'un bâtiment dans un domaine spécifique [8]. Ce sont des démarches vertueuses dont le but est **d'aller au-delà des normes et règlements en vigueur** imposés par la loi. La certification est la procédure d'évaluation de la conformité de l'ouvrage grâce au référentiel [9].

1.2.2 Qui attribue les labels ?

7 Labels et certifications environnementales du bâtiment ; AICVF, 2021 : <https://aicvf.org/wp-content/uploads/2024/07/Dossier-Labels-certifications-environnementales-du-batiment.pdf>

8 Certification, label, réglementation, normes... Quelles différences ? ; NF-Habitat, 2022 : <https://www.nf-habitat.fr/actualites/certification-label-reglementation-normes-differences/>

9 La certification environnementale des bâtiments ; Prestaterre, ND : <https://www.prestaterre.eu/la-certification-des-batiments>

Les labels sont apposés volontairement, créés par un syndicat de professionnels, un organisme parapublic, une entreprise ou encore une association [10]. Le certificateur est accrédité, indépendant et impartial.⁴ En France, il existe quatre certificateurs habilités par un **Comité français d'accréditation (Cofrac)**: *Cerqual Qualitel Certification*, *Certivea*, *Prestaterre Certifications* et *Promotelec Services* [11]. Il est possible qu'un label soit décerné par un organisme tiers indépendant *non* accrédité par le COFRAC dans le cadre d'un label privé.

1.2.3 Label d'Etat ou label privé ?

Un label peut être privé ou d'Etat. Un label d'Etat est délivré et/ou reconnu par les pouvoirs publics de l'Etat. Il peut être réglementaire s'il est encadré par une réglementation, ou non réglementaire. Un label d'Etat est forcément délivré par un organisme tiers indépendant accrédité par le COFRAC. Un label privé est créé par une organisation indépendante et définit ses propres exigences. On distingue les labels privés décernés par des certificateurs accrédités par le COFRAC, de ceux qui sont fondés sur une charte à respecter, sans vérification par un tiers.

1.2.4 Catégories de labels de la construction durable en France

Dans le domaine de la construction, il existe plusieurs catégories de labels attestant des qualités environnementales du bâtiment. Il peut y avoir des labels généralistes, dont le cahier des charges comprend un grand nombre de thématiques autour de la durabilité. D'autres sont plus spécifiques et se spécialisent dans un des domaines ci-dessous :

Economie circulaire : ils facilitent la bonne intégration des principes de l'économie circulaire à la construction et la rénovation de bâtiments, au-delà des exigences désormais imposées par la filière REP Bâtiment.

Connectivité : Ils sont tournés vers les enjeux de connexion aux réseaux, tant pour le déploiement de la domotique que les enjeux énergétiques (autoproduction et consommation, pilotage de la consommation).

Biodiversité : Ils sont tournés vers les enjeux de biodiversité, tant pour le bâti intrinsèque que pour la gestion d'espaces végétalisés, comme les jardins d'entreprises.

Confort/bien-être : ils visent la satisfaction des besoins matériels et psychologiques des occupants (luminosité, confort thermique, services proposés, matériel adapté, etc.).

Energie-climat : ce sont ceux qui nous intéressent dans le cadre d'une comparaison avec le label allemand PassivHaus et la réglementation française RE2020. Ces labels et certifications traitent essentiellement des enjeux de l'atténuation du changement climatique par l'impact carbone de la construction et la performance énergétique, ainsi que l'adaptation au changement climatique. Il s'agit de la famille regroupant les labels Effinergie (Effinergie RE2020, BBC Effinergie rénovation, et Expérimental Effinergie rénovation), des Labels Bas Carbone (Label Bas Carbone, BBCA, E+C, le label Bâtiment biosourcé), le label ActiveScore, et enfin les certifications internationales, dont fait partie la certification PassivHaus [12]. Une liste non exhaustive de labels de la construction durable est rédigée en annexe. Voir Tableau Excel « Tableau Labels Construction Durable ».

1.2.5 Le label PassivHaus

Le label PassivHaus, d'origine allemande, revêt un intérêt particulier pour la région Grand-Est, en raison de sa proximité géographique avec l'Allemagne et de l'influence transfrontalière sur les pratiques de construction. Reconnu mondialement pour ses exigences élevées en matière de performance énergétique, il constitue une référence importante en France et notamment dans cette région. Si les performances énergétiques des bâtiments passifs sont reconnues, l'impact carbone n'est cependant pas un de ses domaines d'actions, d'où l'intérêt d'évaluer l'impact carbone de projets passifs sous le biais des indicateurs RE2020, mais aussi sous celui de labels approfondissant spécifiquement l'impact du biosourcé en construction avec le label Bâtiment Biosourcé.

10 Labels et certifications environnementales du bâtiment ; AICVF, 2021 : <https://aicvf.org/wp-content/uploads/2024/07/Dossier-Labels-certifications-environnementales-du-batiment.pdf>

11 Tout savoir sur les labels et certifications dans l'immobilier ; AFEDIM, 2024 : <https://www.afedim.fr/fr/actualites-et-conseils/tout-savoir-sur-les-labels-et-certifications-dans-l-immobilier.html>

12 Guide des labels et certifications ; TALOEN, 2024 : https://resources.taloen.fr/resources/documents/818_OID_-_Guide_labels_et_certifications_2024_-_Version_complee.pdf

1.2.5.1 Origine du label

Le label PassivHaus est créé en 1996 par le Passive House Institute, institut de recherche indépendant dont le premier projet pilote a vu le jour à Darmstadt en 1990. C'était une maison multifamiliale avec une consommation d'énergie inférieure à 10 kWh/m²a. Cette consommation est stable depuis la construction du bâtiment. Le passif vise à utiliser au mieux les apports de chaleur solaires et internes et à les conserver à l'intérieur par une isolation renforcée. L'objectif est d'offrir des lieux de vie sains, confortables thermiquement sans système traditionnel de chauffage ou de climatisation [13]. L'institut propose plusieurs labels :

- Le label Bâtiment Passif/PassivHaus pour les bâtiments neufs. Il est déclinable selon trois niveaux d'exigence. Le label Classic convient aux bâtiments passifs tandis que les certifications Plus et Premium valorisent la génération d'énergie renouvelable et une moindre consommation d'énergie primaire.
- Le label BASE (BAtiment Sobre en Energie) pour les bâtiments basse consommation performants.
- Le label EnerPHit pour les bâtiments rénovés [14].

Il n'existe pas de label français pour certifier les bâtiments passifs, cependant de nombreuses associations se servent et promeuvent ce label allemand. Un bâtiment passif a pour point de départ de conception le **confort de l'occupant**, définit par « un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement perçu » [15]. Les principales composantes du confort sont : la température de l'air, la température des surfaces environnantes, «la température radiante », la vitesse de l'air et des turbulences, l'humidité de l'air.

Ces composantes de confort permettent de fixer des objectifs et critères au label.

1.2.5.2 Objectifs et critères

Le label se fixe 3 objectifs globaux, dont découlent 5 critères/exigences techniques :

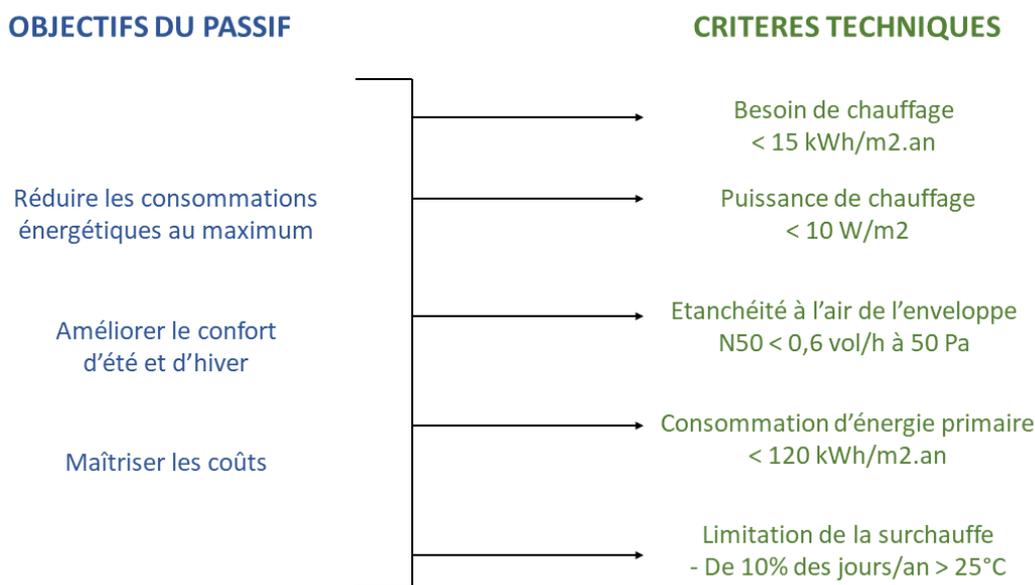


Figure 5: Objectifs et critères du passif

Remarques : Un seul des deux critères entre besoin de chauffage et de puissances de chauffe doit être rempli de manière à valider le label. En rénovation, compte tenu de la difficulté de traiter l'existant, le critère de besoin de

13 Site du PassivHaus Institut, PassivHaus Insitut, ND : <https://passivehouse.com/>

14 Critères pour la labellisation Bâtiment passif, Enerphit et Base ; La Maison Du Passif, 2019 : <https://lamaisondupassif.fr/wp-content/uploads/2023/03/CriteresDeCertification-mai-2021.pdf>

15 Confort de l'occupant ; Energie+, 2021 : <https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-d15/>

chauffage est moins exigeant que pour les bâtiments neufs, et dépend de la zone climatique. Le critère de perméabilité à l'air est de $n50 \leq 1.0 \text{ h}^{-1}$ [16].

1.2.5.3 Démarche du label

Afin d'atteindre ces exigences, l'approche passive agit sur différents aspects de conception dans un ordre chronologique constant, priorisant ainsi les premiers points sur lesquelles elle travaille. Une étude passive s'effectue donc toujours dans cet ordre :

Compacité → Bioclimatisme → Isolation des parois → Performances des menuiseries → Ventilation → Détails.

Le bureau d'étude Terranergie apporte quelques informations supplémentaires sur la conception passive. Le passif promeut une méthode applicable sur tous types de bâtiments et sur toutes typologies : neuf ou rénovation, tertiaire ou résidentiel, et approprié dans tous les climats. Le bureau d'étude Energelio affirme aussi que Les bâtiments passifs sont des projets pérennes, adaptés aux logements sociaux puisque les consommations faibles sont synonymes de faibles coûts, durables dans le temps malgré l'inflation. De plus, l'approche passive est souvent une approche plus globale, combinant d'autres démarches, d'autres labels.

1.2.5.4 Critères et principes constructifs

Ces critères se traduisent par des principes constructifs [17] : ce sont des recommandations/préconisations et non des obligations de mise en œuvre. Elles sont à moduler en fonction du projet en question, du climat, de l'usage etc. : il n'est par exemple pas possible d'éviter TOUS les ponts thermiques. L'objectif du passif est de les éviter au maximum afin de ne pas avoir de moisissure et de condensation dans les parois. Enfin, il est important de noter que la construction passive a des exigences de résultats et non des exigences de moyens, d'où le fait que ces principes constructifs soient des recommandations et non des obligations, et d'où le fait que des bâtiments passifs puissent être réalisés avec des matériaux, systèmes énergétiques très différents selon les projets et les concepteurs.

Tableau 1: Récapitulatif des critères et des principes constructifs correspondants, recommandés par l'institut

			CRITERES TECHNIQUES				
			Besoin de chauffage < 15 kWh/m2.an	Puissance de chauffage < 10 W/m2	Etanchéité à l'air de l'enveloppe N50 < 0,6 vol/h à 50 Pa	Consommation d'énergie primaire < 120 kWh/m2.an	Limitation de la surchauffe - De 10% des jours/an > 25°C
PRINCIPES CONSTRUCTIFS RECOMMANDÉS	ISOLATION DE L'ENVELOPPE	Isolation thermique performante: Uparois < 0,15 W/(m2.K)	V	V			
		Eviter les ponts thermiques	V	V			
		Utiliser des matériaux inertiques	V	V			V
	PERFORMANCES DES FENÊTRES	Triple vitrage: Uw < 0,8 W/(m2.K) et g = 50%	V	V			
	ETANCHEITE A L'AIR	Pare vapeur efficace			V		
		Mesure de pression de l'air: n50< 0,6 vol/h à 50 Pa			V		
	VENTILATION	Ventilation double flux			V		
	RECUPERATION DE LA CHALEUR SORTANTE	Echangeur de chaleur de ventilation double flux avec un taux de récupération de la chaleur de l'air sortant > 75%			V	V	
		Récupération des eaux grises sortantes pour préchauffer les eaux entrantes				V	
	CHAUFFAGE ET EAU CHAUDE SANITAIRE	Systèmes simples et peu énergivores venant en appoint de la production d'énergie gratuites				V	
	COMPACTITE DE L'ENVELOPPE	Moins de surfaces déperditives possibles	V	V			
	ORIENTATION DU BÂTI	maximiser les apports solaires gratuits				V	
		Systèmes d'occultations performants pour gérer la surchauffe					V
	DEPENSES ENERGETIQUES	appareils économes en énergie: classe énergétique type A				V	

1.2.5.5 Données d'entrée et processus de labellisation :

16 Critères pour la labellisation Bâtiment passif, Enerphit et Base ; La Maison Du Passif, 2019 : <https://lamaisondupassif.fr/wp-content/uploads/2023/03/CriteresDeCertification-mai-2021.pdf>

17 Principes et définition ; La Maison du Passif, ND, <https://lamaisondupassif.fr/le-passif-definition-principes/>

La labellisation passive s'obtient par la réalisation d'un dossier détaillé comprenant de nombreuses pièces écrites : plans, coupes, caractéristiques des matériaux et des systèmes (ventilation, chauffage, menuiseries, étanchéité...), ainsi que des données précises sur les performances thermiques et énergétiques du projet. L'outil central de cette démarche est le **PHPP**. Sous forme de tableur Excel, il permet de vérifier le respect des critères passifs tout en optimisant la conception du bâtiment. C'est à la fois un outil d'évaluation et d'aide à la conception, intégré dès le début du projet.

415 bâtiments passifs sont recensés dans la base de l'institut PassivHaus. Sur les 415, 47 sont du Grand-Est-ce qui représente 11% de l'échantillon. Ce recensement n'est pas exhaustif puisqu'il n'y a aucune obligation de le faire par les maîtres d'œuvre.

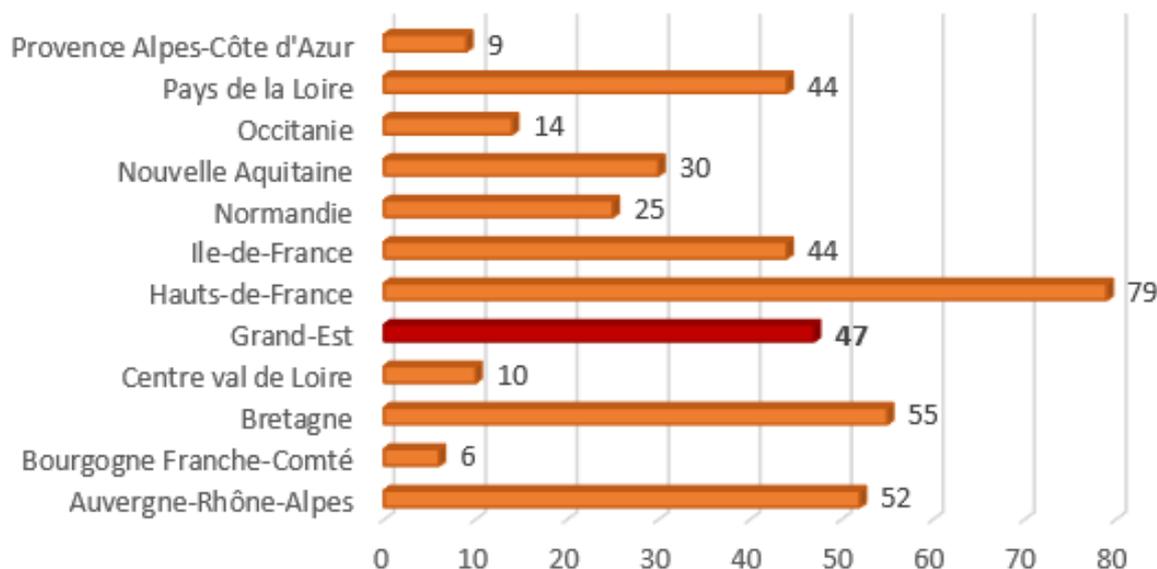


Figure 6: Nombre de projets passifs selon la Région en France métropolitaine [18]

1.2.6 Le label Bâtiment Biosourcé

Le label Bâtiment Biosourcé est un label d'Etat. Inauguré en 2012, son objectif principal est de favoriser l'utilisation de matériaux biosourcés dans la construction neuve (résidentiel et tertiaire), le but étant de limiter l'empreinte écologique de la filière du bâtiment [19].

1.2.6.1 Objectifs et critères

En 2012, les objectifs du label se traduisaient par un critère sur la quantité de matière biosourcée utilisée dans la construction. Depuis 2024, les critères ont changé. Le label certifie désormais le respect d'une quantité minimale par unité de surface d'incorporation de produits de construction biosourcés dans le bâtiment pendant toute sa durée de vie, exprimée en **quantité de carbone biogénique stocké par mètre carré** (kg C/m² de SHAB ou SU). C'est l'indicateur StockC des calculs RE2020. Le carbone biogénique stocké se définit par le carbone issu de l'atmosphère, capté par la biomasse (matière d'origine biologique) et stocké dans un produit biosourcé. En d'autres termes, plus un bâtiment intègre des matériaux biosourcés, plus il stocke du carbone issu de la réaction de photosynthèse des végétaux qui le composent. La quantité de carbone biogénique intégré dans un produit est un indicateur qui représente deux caractéristiques environnementales importantes : le caractère renouvelable du produit, et la quantité de CO₂ capté dans l'atmosphère. Des exigences de **mixité relatives à la fonction des produits de construction biosourcés mis en œuvre** sont aussi requises.

18 Passive House Database ; PassivHaus Institut, ND : https://passivehouse-database.org/index.php?lang=en#s_c40cb3fd694ed7189c8ffecb15d7293e

19 Nouveau Label « Bâtiment Biosourcé » applicable à partir du 1^{er} septembre 2024 ; Préfet de la région Normandie-DREAL Normandie, 2024 : <https://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/nouveau-label-batiment-biosource-2024-applicable-a-a5926.html>

OBJECTIFS DU LABEL

CRITERES D'EVALUATION

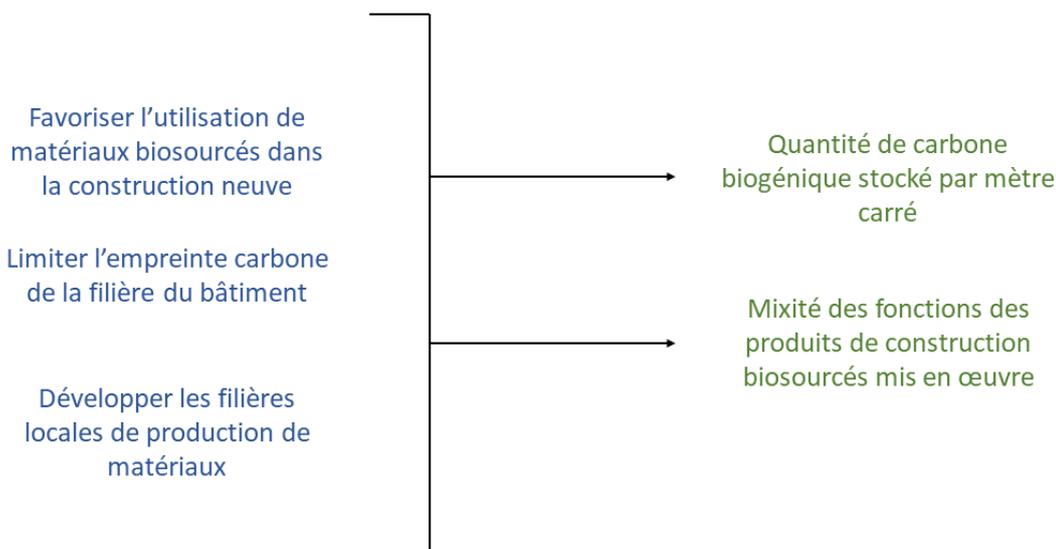


Figure 7: Objectifs et critères du label Bâtiment Biosourcé

1.2.6.2 Exigences du label

Le label comporte trois niveaux de performance : 1^{er} niveau 2024, 2^e niveau 2024, 3^e niveau 2024. La quantité minimale de carbone biogénique stocké dépend de l'usage principal auquel le bâtiment est destiné. Chaque niveau du label requiert que le bâtiment incorpore des produits de construction biosourcés contenant une quantité minimale de carbone biogénique stocké par unité de surface, exprimée en kgC/m² de surface de référence. Le détail d'attribution des niveaux du label est développé en annexe.

1.2.6.3 Données d'entrée et processus de labellisation

Le dossier de demande du label Bâtiment Biosourcé, tout comme PassivHaus, comprend de nombreuses pièces écrites détaillant l'architecture du projet, le choix des matériaux et les hypothèses prises sur ceux-ci, ainsi que les preuves que les produits de construction biosourcés entrant dans le calcul de la quantité de carbone biogénique stocké répondent aux critères d'attribution du label. Label d'Etat, il est délivré par un organisme accrédité par le Comité français d'accréditation (COFRAC) ou tout autre organisme d'accréditation suivant la norme NF EN ISO/IEC 17065 : 2012. La demande de label se fait par le maître d'ouvrage, et se traduit par la remise d'une attestation par cet organisme au maître d'ouvrage. La recevabilité du dossier est contrôlée pendant la phase d'études, et une phase de vérification des données et caractéristiques des produits est effectuée lors de la phase de fin de réalisation. Deux contrôles de conformité précèdent l'attribution de l'attestation.

Ce label paraît être un bon indicateur des performances de stockages des matériaux utilisés en construction. C'est un **label spécifique et précis, axé sur l'utilisation de matériaux biosourcés**. Il ne prend en outre pas en compte l'ensemble de l'empreinte carbone du bâtiment durant son cycle de vie, ne se focalisant que sur la partie construction. L'analyse d'un autre label travaillant sur les performances carbone peut donc s'avérer utile. Le label BBCA en est un bon exemple [20].

1.3 Synthèse théorique : utiliser les labels dans un cadre réglementaire

Cet axe vise à synthétiser mes recherches sur la complémentarité entre la réglementation environnementale et ces deux labels spécifiques : PassivHaus et Bâtiment Biosourcé. Plusieurs ressources sont utilisées : une formation de deux jours intitulée « Stratégie de conception passive : le passif biosourcé comme levier d'action » m'a permis

20 L'analyse de ce label est détaillée en annexe. La suite du mémoire se focalise sur les maisons individuelles ou accolées, or ce label ne concerne pas ces typologies, il n'est donc pas développé ici. Il est néanmoins un bon outil de vérification de l'impact carbone global d'un bâtiment pour toute autre typologie.

d'approfondir mes connaissances sur le Label et m'a montré une philosophie spécifique du passif prônée par le bureau d'étude thermique Terranergie. Terranergie est un bureau d'études spécialisé dans la construction passive, fondé en 2007 par Vincent Pierré, ingénieur en mécanique thermique. L'entreprise se distingue par une approche centrée sur la recherche de solutions environnementales adaptées au secteur du bâtiment, en développant des systèmes constructifs innovants basés sur des matériaux végétaux, tout en intégrant des compétences en thermique dynamique, énergies renouvelables et fluides. En complément de cette formation, l'association française La Maison du Passif propose de nombreuses ressources sur ce sujet, notamment un dossier « Comparatif Passif et RE2020 », sur lequel j'ai pu m'appuyer. La Maison du Passif est une association spécialisée dans le domaine de la sobriété énergétique du bâtiment. Elle suit la méthode de construction/rénovation Bâtiments Passifs proposée par l'Institut allemand PassivHaus [21].

1.3.1 Vérifications et contrôles des démarches

« La méthode de calcul Th-BCE a pour objet le calcul réglementaire des coefficients Bbio, Cep, Cep,nr, et DH. Elle n'a pas pour vocation de faire un calcul de consommation réelle compte tenu des conventions retenues. » [22]

Cette affirmation est la première phrase de l'introduction de la méthode de calcul RE2020. D'après celle-ci, le but de la RE2020 n'est pas d'apporter une approche réaliste des performances énergétiques et carbone du projet étudié, au contraire du label PassivHaus qui se donne comme objectif d'optimiser aussi bien énergétiquement qu'économiquement les performances du projet. Pour cela, les calculs propres au label, effectués en phase conception, se veulent le plus proche possible des performances réelles du bâtiment en phase d'exploitation. Afin de vérifier cela, des contrôles sont effectués. Pour le label PassivHaus, trois étapes sont requises, une vérification théorique via la PHPP en phase conception, suivie d'un minimum de deux contrôles en phase chantier et réception avec deux tests d'étanchéité obligatoires. Il en va de même pour le label Bâtiment Biosourcé, avec le dépôt d'un dossier de labellisation en phases conception, suivi d'un contrôle sur chantier et un en phase réception. Pour la RE2020, la première vérification consiste au rendu du fichier RSEE en phase conception, suivi d'un seul contrôle obligatoire en phase réception avec un test d'étanchéité. Le manque de contrôle entre chantier et réception peut engendrer des défauts futurs dans l'exploitation du bâtiment, avec des résultats de performances parfois trois fois plus élevés qu'en phase d'exploitation. 50% des bâtiments RT2012 vérifiés en phase d'exploitation étaient ainsi non conformes à la réglementation. Les labels sont donc bien des outils de conception, intégrés dès le début du projet, tandis que la RE2020 repose sur une logique de « garde-fous » : les calculs réglementaires sont effectués afin de justifier la conformité aux seuils exigés : c'est un cadre normatif vérifiant la conformité réglementaire d'un bâtiment. Le tableau ci-dessous (Tableau 2) compare les objectifs de la démarche PassivHaus par rapport à la RE2020 sur le processus que chaque démarche engage :

Tableau 2: Récapitulatif des caractéristiques des deux outils de calcul RE2020 et PassivHaus

	Caractéristiques des outils de calcul	RE2020 RE Th BCE	Passif PHPP
CONCEPTION	Outil de co-conception Archi-Ingé		
	Outil de conception BET		
	Outil prédictif des performances		
	Outil de vérification des performances		
	Outil d'optimisation technico-économique		
	Outil de communication MOE/MOA		
	Outil de décision à chaque phase de projet		
CONTRÔLE	Justification pour dépose du PC		
	Justification pour conformité en réception		
ENJEUX	Exigences déterminées pour privilégier le confort de l'habitant		

21 Comparatif entre le standard passif et RE2020, La Maison du passif, 2022 : <https://lamaisondupassif.fr/le-passif-comparatif-re2020/>

22 Méthode de calcul détaillée Th-BCE 2020 : https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/annexeiii_arrete_4_aout_2021_scenariosre2020_compressed.pdf

	Exigences déterminées par et pour les acteurs du bâtiment		
CRITERES	Seuils carbone		
	Seuils énergétiques		
RESULTATS	1 Résultat englobant tout le bâtiment par critère		
	Résultats détaillés par zones du bâtiment		

Remarque : Pour un projet passif et RE2020, il n'est pas possible d'effectuer un seul et même test de contrôle d'étanchéité à l'air, puisque les méthodes de calcul sont différentes. Le projet doit donc cumuler les différents tests propres à chaque démarche.

1.3.2 Stabilité ou évolutivité des démarches ?

La réglementation française travaille de manière évolutive dans le temps. Ses critères s'affinent avec les différentes réglementations en vigueur, les exigences augmentent via des seuils. Le label Bâtiment Biosourcé a lui aussi évolué depuis sa création, et cherche à améliorer sa méthode de calcul en passant d'une mesure de la quantité de matériaux biosourcés à la prise en compte du carbone biogénique stocké. Le but est ici de mieux évaluer l'impact environnemental des matériaux, en priorisant la réduction des émissions de CO₂ plutôt que la quantité de matière utilisée. Le label PassivHaus lui n'a pas (ou très peu) évolué depuis sa création. Ses modifications récentes valorisent les démarches ENR, mais les seuils et critères de labélisation restent les mêmes. En effet, l'exigence sur les critères est quantifiée de manière optimale afin de valoriser autant le confort d'hiver que d'été. Par exemple, rechercher une limite du besoin de chauffage plus faible que 15 kWh/m² risquerait d'avoir des conséquences sur le confort estival, et donc de provoquer des surcouts en refroidissement. Les vitrages, l'épaisseur de l'isolant aux murs, en dalle et toitures prennent compte de cet optimum entre confort d'été et d'hiver. Cela confirme encore une fois la finalité de ce label comme un outil de conception et de dimensionnement : les critères à atteindre garantissent la qualité des performances énergétiques du bâtiment, tandis que les seuils réglementaires accompagnent graduellement une décarbonation et une sobriété énergétique future du parc bâti français.

1.3.3 Evolution entre RT2012 et RE2020 : quel impact sur le passif ?

La transition de la RT2012 à la RE2020 marque un tournant en intégrant pleinement la dimension carbone dans l'évaluation des bâtiments. Alors que la RT2012 se concentrait principalement sur la performance énergétique, la RE2020 introduit un calcul dynamique du cycle de vie des bâtiments, imposant des seuils d'émissions carbone progressifs (entre 2022 et 2031). Cette évolution impacte particulièrement les maisons individuelles, dont l'utilisation d'énergies fossiles sera progressivement restreinte, voire rendue impossible après le seuil 2025. Pour la construction passive, l'approche énergétique reste la même, quelle que soit la réglementation en vigueur : maximiser la sobriété et l'efficacité énergétique. Cependant, leur dépendance à l'électricité (chauffage d'appoint, ventilation, ECS) peut pénaliser leur score Cep et Cep,nr en raison du facteur de conversion élevé de l'électricité en énergie primaire. De plus, l'ajout du critère carbone oblige à repenser certains choix, notamment sur les matériaux isolants. Selon les stratégies adoptées, certains projets passifs restent fortement minéralisés (béton, faible recours aux biosourcés), tandis que d'autres intègrent davantage de matériaux bas-carbone. La RE2020 pousse donc le passif à évoluer, en conjuguant plus étroitement performance énergétique et impact environnemental global. Ces conclusions sont issues d'une étude menée par le bureau d'études Energelio et l'association La Maison du Passif, qui ont analysé l'évolution des exigences réglementaires entre la RT2012 et la RE2020 et leur impact sur la conception des bâtiments passifs.

1.3.4 Synthèse des domaines d'exigence des démarches

Au final, ces trois démarches sont très différentes, tant sur leur méthode d'évaluation, de contrôle, ou encore sur les phases du projet sur lesquelles elles rentrent en action. Malgré ces différences, leur but commun est d'évaluer les performances du projet en question. Chacune va se focaliser sur des objectifs de performances, parfois communs entre ces démarches, parfois spécifiques.

Tableau 3: Synthèse des domaines d'exigences des labels PassivHaus, Bâtiment Biosourcé, et RE2020

Objectifs		Label PassivHaus	Label Bâtiment Biosourcé	RE2020
ENERGIE	Réduction des besoins de chauffage			
	Réduction de la puissance de chauffage			
	Amélioration de l'étanchéité à l'air des bâtiments			
	Réduction de l'utilisation d'énergies primaires			
	Valorisation de l'utilisation d'énergies renouvelables			
Confort d'été	Limitation de la surchauffe dans le bâtiment			
IMPACT CARBONE	Favoriser l'utilisation de matériaux biosourcés			Via l'analyse de cycle de vie
	Valoriser la mixité d'utilisation de matériaux biosourcés			
	Réduire les émissions de GES pendant le cycle de vie du bâtiment			
	Favoriser le réemploi et la déconstruction sélective de l'existant			Via l'analyse de cycle de vie

Objectifs de PassivHaus Objectifs de Bâtiment Biosourcé Objectifs de la RE2020

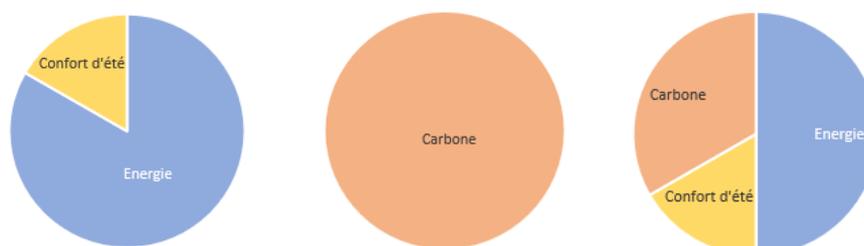


Figure 8: Schémas des domaines d'étude de chaque démarche en fonction du nombre d'exigence dans ces domaines

Ces visuels (Tableau 3 et Figure 8) montrent que le label PassivHaus se concentre sur deux domaines principaux, liés à l'énergie et au confort d'été, avec un focus majoritaire sur les objectifs énergétiques. Le label Bâtiment biosourcé ne travaille que sur l'aspect carbone, spécifiquement à l'échelle du matériau choisi. D'autres labels pourraient être étudiés pour quantifier l'impact carbone d'un projet à une échelle plus globale. C'est le cas du label BBCA qui se base sur les critères RE2020 et augmente les seuils d'exigence sur l'aspect, tout en rajoutant des critères d'Innovation Climat. La RE2020 quant à elle se donne pour objectifs de travailler sur ces trois axes, avec une part majoritaire d'objectifs sur l'énergie, et ensuite sur la décarbonation de la filière. Le confort d'été est étudié de manière plus réduite avec un seul indicateur. Cette analyse permet de conclure que la RE2020 balaie un large champ de critères d'étude. Les niveaux d'exigence d'atteinte de ces objectifs ne sont en outre pas détaillés. **De plus, les seuils d'exigence des objectifs ne sont pas calculés de la même manière pour chaque démarche, les phases du projet sur lesquelles elles sont utilisées sont différentes, la finalité des démarches est différente. Il est donc impossible de les comparer analytiquement.** L'étude concrète de projets labellisés et réglementés est donc appropriée pour évaluer les tendances, et les facteurs influençant l'impact carbone d'un projet.

2. STATISTIQUES SUR DES PROJETS PASSIFS ET REGLEMENTAIRES

La cadre théorique a permis de sortir des objectifs globaux sur les différentes démarches. Le travail qui suit va permettre d'affiner cette analyse afin d'identifier comment ces objectifs sont mis en œuvre en pratique. L'analyse statistique des bases de données de l'Institut PassivHaus et de l'Observatoire RE2020 sera l'occasion d'identifier les tendances constructives et les performances réelles des bâtiments passifs et réglementés. En exploitant ces données, il devient possible de dégager des enseignements sur l'adéquation des pratiques actuelles aux exigences futures de la RE2020 et aux objectifs de neutralité carbone. Ce travail précède l'étude d'un projet concret, qui viendra décortiquer les choix techniques de matériaux et de systèmes sur un projet passif réglementé, pour en comprendre les résultats en termes d'impact carbone et énergétiques.

2.1 Etude de l'observatoire RE2020

L'analyse des données de l'Observatoire RE2020, qui recense les résultats des projets RE2020 et leurs performances par rapport aux différents indicateurs, est essentielle pour comprendre l'impact des évolutions de la réglementation. Ces données permettent d'étudier les résultats obtenus par les bâtiments vis-à-vis des exigences de la RE2020, notamment les indicateurs de consommation énergétique, d'empreinte carbone, et de performance thermique. En comparant les résultats actuels avec les futurs seuils prévus pour 2025, 2028 et 2031, il devient possible d'identifier les tendances, de mesurer les écarts et d'anticiper les adaptations nécessaires pour répondre aux objectifs de neutralité carbone. Ces statistiques fournissent une base pour orienter les choix des professionnels du bâtiment et les préparer aux futures exigences réglementaires.

2.1.1 Généralités sur la base de données

Les données à disposition pour cette étude sont classées dans un tableau Excel fourni par le ministère. Cet Excel contient 45 574 lignes, soit présumément 45 574 projets. De manière à fiabiliser ces données, une démarche de nettoyage de cette base est effectuée. Plusieurs étapes sont suivies, notamment : supprimer les lignes vides, les doublons, et la suppression de valeurs extrêmes traduisant des erreurs de saisie sur les indicateurs RE2020. Le détail de cette démarche, de l'origine et de la qualité des données est répertorié en annexe. Les conclusions tirées de cette analyse statistique démontrent la pertinence d'utiliser la moyenne comme outil d'analyse. **Ce tri fait passer la base de données de 45 574 à 45 416 lignes, 158 projets sont donc supprimés. La base de données recense 5 typologies bâties différentes : bureaux, enseignement primaire, enseignement secondaire, logement collectif, et maison individuelle ou accolée. 98% des projets sont des maisons individuelles ou accolées (soit 44 536 projets sur le total).** Pour cette étude, les données sont filtrées pour ne travailler qu'avec des projets de la zone climatique H1b, correspondant à la zone climatique du Grand-Est et de cinq autres départements juxtaposés [23]. Les données climatiques étant des hypothèses d'entrée qui ont une influence importante sur les résultats, il est nécessaire de comparer des projets sur cette même base. Le choix de travailler sur l'échantillon des projets en zone H1b et non en Région Grand-Est permet d'avoir accès à plus de projets à analyser, ce qui fiabilise les statistiques. En outre, les résultats RE2020 sont pratiquement semblables entre l'échantillon du Grand-Est et celui de la zone H1b (moins de 0.5% d'écart sur les différents indicateurs). Sur les 45 416 projets recensés, seulement **2 742 sont en zone H1b**, équivalent à 6% des statistiques nationales. Dans cet échantillon **les maisons individuelles ou accolées sont largement majoritaires : 2659 projets**, et aucun projet d'enseignement secondaire n'est recensé.

23 Voir annexe « Zones climatiques en France métropolitaine ».

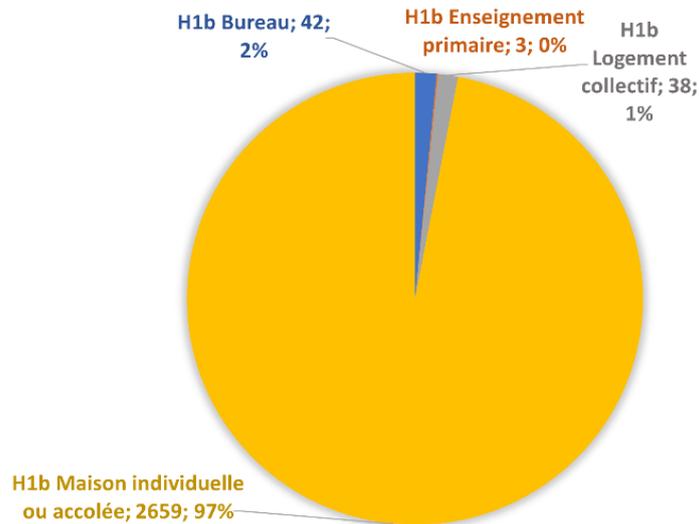


Figure 9: Part des différentes typologies recensées en zone H1b

Fidèle aux statistiques nationales, 97% des projets RE2020 sont des maisons individuelles ou accolées. Cette majorité s'explique notamment par le phasage de la RE2020, qui a d'abord été disponible exclusivement pour les maisons individuelles et logements collectifs en Janvier 2022, puis dans un second temps seulement pour les bureaux et établissements scolaires. La faible part de logements collectifs est en outre étonnante, il semblerait que ces constructions se soient arrangées pour être encore couvertes par la RT2012. Il faut cependant faire la distinction entre bâtiments de logements collectifs et nombre de logements dans du collectif : ici les statistiques montrent le nombre de bâtiments. La surface moyenne de référence (Sref = SHAB) de ces maisons individuelles est de 107 m². Les résultats moyens des exigences RE2020 sur les 2418 projets de maisons individuelles ou accolées en zone H1b sont les suivants :

Tableau 4: Données sur les indicateurs RE2020 pour des maisons individuelles ou accolées en zone H1b

	Bbio	Cep	Cep,nr	DH	Ic_constru	Ic_énergie
Unité	[points]	[kWh/(m2.an)]	[kWh/(m2.an)]	[°.h]	[kgeqCO2/m2]	[kgeqCO2/m2]
Minimums maison individuelle H1b	36.40	27.00	26.70	45.70	326.90	34.10
Moyenne maison individuelle H1b	70.55	49.74	47.95	382.93	605.88	62.07
Médiane maison individuelle H1b	70.1	47.5	47	363	603.3	59.2
Maximums maison individuelle H1b	101.40	110.10	90.20	976.70	936.00	134.90
Moyenne des seuils max	74.75	79.21	58.09	1250	660.39	170.93
Gain %	-5.52	-37.08	-17.09	-69.36	-8.25	-63.68

Les moyennes et médiane sont toutes inférieures aux valeurs seuil, avec une plus ou moins grande marge selon les indicateurs. Les médianes et moyennes restent proches, ce qui démontre d'échantillons assez équilibrés (autant de valeurs basses que hautes). L'exigence sur le confort d'été (DH) est très large par rapport au seuil, mais il faut prendre en compte qu'il existe aussi une valeur seuil de 350 °C, au-dessus de laquelle le projet est toujours conforme mais doit ajouter un forfait refroidissement [24]. La moyenne est ainsi supérieure à cette seconde valeur seuil, ce qui veut dire que de nombreux projets doivent ajouter ce forfait. Ic_énergie a beaucoup de marge entre sa valeur moyenne et son maximum, ce qui correspond au constat du bureau d'étude Energelio, analysé

24 Voir Annexe « Exigences RE2020 ».

précédemment : cet indicateur est peu restrictif. Par rapport à l'exigence lié au label Bâtiment Biosourcé : le stock C de carbone biogénique du projet, les résultats sont les suivants en zone H1b (Figure 10) :

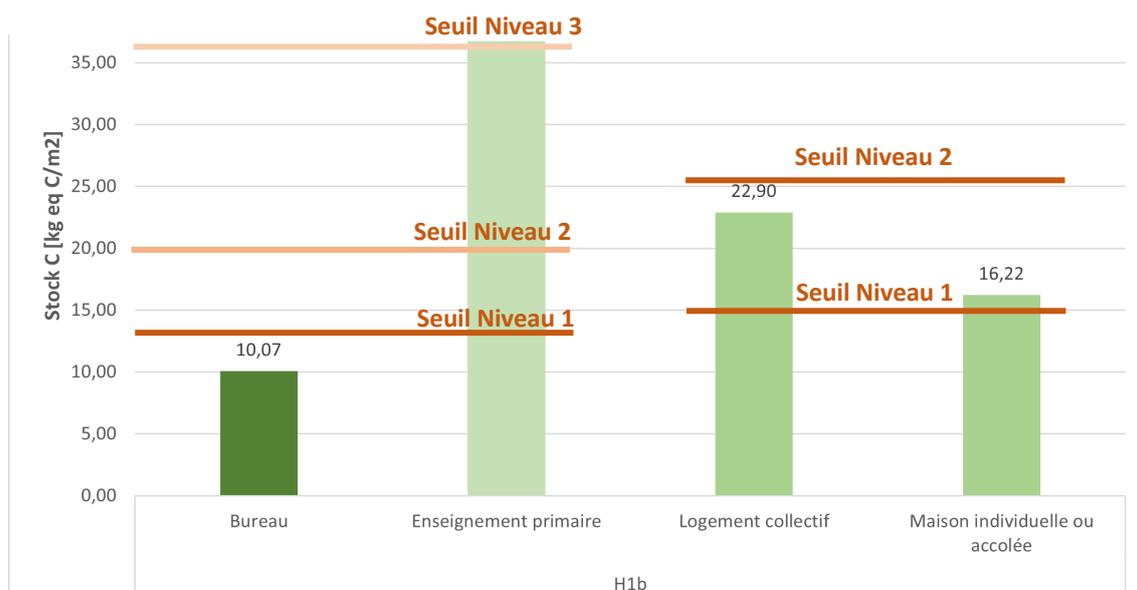


Figure 10: Graphique des valeurs moyennes de stock C en zone H1b selon les typologies bâties

Les bureaux atteignent en moyenne le niveau 1 du label, tout comme les maisons individuelles ou accolées et logements collectifs. Les projets d'enseignement primaire semblent très performants d'un point de vue biosourcé en atteignant le niveau 3. En revanche leur faible nombre (3) ne permet pas de montrer une réelle tendance sur cette typologie. De plus les exigences de moyens ne sont ici pas détaillées : nous ne savons pas si ces projets ont répondu aux attendus de mixité des matériaux de construction.

Face à ces premiers constats, tentons de spécifier ces statistiques afin de sortir des tendances sur les systèmes constructifs et énergétiques en fonction de ces seuils. Pour la suite, nous filtrons les données sur des maisons individuelles ou accolées en zone H1b, qui constituent la presque totalité des données.

2.1.1 Tendances constructives

2.1.1.1 Tendances structurelles

Comment se comportent les exigences RE2020 en fonction des matériaux utilisés en structure ? Le tableau ci-dessous (Tableau 5) répertorie les valeurs moyennes des projets de maisons individuelles en zone H1b en fonction de leur matériau structurel principal.

Tableau 5: Valeurs moyennes des indicateurs RE2020 en fonction du matériau structurel

Matériau structurel	Nombre de projets	Bbio	Cep	Cep,nr	DH	Ic_c	Ic_e
Acier	10	71,62	82,18	82,18	839,34	693,50	98,14
Autre	2147	71,03	49,63	47,84	373,30	605,25	62,05
Béton	229	67,79	50,19	48,89	455,43	600,85	62,38
Béton cellulaire	6	73,27	40,50	40,50	238,37	668,95	51,02
Bois massif	31	71,89	57,01	46,72	501,12	560,58	69,82
Bois massif reconstitué	15	71,71	55,99	49,96	502,08	555,43	68,56
Mixte : bois-béton	3	76,57	55,67	55,67	496,07	637,47	68,43
Terre crue	3	75,07	45,13	45,13	448,33	669,87	56,13
Terre cuite	214	68,10	47,58	46,66	355,37	620,85	58,97

La première observation est que, malheureusement, 2147 projets sur les 2659 (soit 80% de l'échantillon) ont été indiqués comme « autre » matériau structurel dans le logiciel, ce qui ne permet pas de tirer de conclusion sur cette

catégorie. Les trois autres catégories prépondérantes sont sans grande surprise le béton, mais aussi la terre cuite et le bois massif. La terre cuite, relative aux constructions en briques, présente les meilleurs résultats sur la globalité des indicateurs tandis que les constructions en acier présentent les pires. En termes d'impact carbone, cela s'explique par le fait que la terre cuite demande beaucoup moins de mise en œuvre dans son extraction et sa production que l'acier. Ce dernier va donc avoir une ACV dégradée sur ces deux modules de son cycle de vie, ce qui va affecter de manière globale les résultats sur le projet. Le béton est aussi assez performant de façon multicritères, même si le béton cellulaire présente la pire valeur de $Ic_{\text{construction}}$. Ce résultat est critiquable : en comparaison du béton classique, le béton cellulaire contient moins de ciment, il est donc moins lourd, nécessitant moins d'énergie de fabrication et de transport, son impact devrait donc être plus faible ce qui n'est pas le cas ici. Ces valeurs sont cependant les valeurs des projets utilisant ces matériaux, et non celles des matériaux seuls, d'autres facteurs entrent donc en jeu. En affinant l'analyse aux trois matériaux structurels prépondérants (en excluant « autre »), regardons l'impact des types d'isolants sur les exigences RE2020.

2.1.1.2 Tendances pour l'isolation de l'enveloppe

En **structure béton**, 96 projets sur 229 ont encore remplis « autre » comme type d'isolation, soit 42 % des projets. Ces fortes proportions empêchent une analyse réaliste sur l'utilisation des matériaux en façade. Les deux isolants renseignés les fréquemment utilisés sont le polystyrène expansé (68 projets : 29.6 %) et la laine de verre (60 projets : 26%). La structure béton + laine de bois sort les résultats RE2020 les moins favorables. Avec une structure béton, c'est le projet en paille qui sort de manière globale les meilleurs résultats. En outre, son caractère singulier ne permet pas de conclure sur une tendance propre à ce système constructif.

En **bois massif**, les projets sont moins nombreux, et au global moins performants sur les exigences RE2020 que les projets en béton, sauf pour l'indicateur $Ic_{\text{construction}}$ qui est 5 à 10% plus faible. La laine de verre donne des bons résultats avec une structure en bois massif, sauf sur les impacts carbonés, pour lesquels la laine de bois est plus performante. Le faible nombre de projets dans cet échantillon ne permet en outre pas de tirer de réelles conclusions sur cette technique constructive.

C'est la **structure en terre cuite** qui donne en moyenne les meilleurs résultats par rapport aux projets béton et bois. Près de la moitié de ces projets utilisent l'isolation en polystyrène expansé, qui pourtant n'offre pas les meilleurs résultats, comparés à des matériaux biosourcés divers ou de la laine de bois ou chanvre. Cette dernière semble la plus performante de façon homogène sur tous les critères. En revanche le faible taux de projets l'utilisant (seulement deux) ne permet pas d'en faire une généralité. Un projet utilisant du polystyrène expansé offre de meilleurs résultats en terre cuite qu'en béton, et un projet en laine de bois offre de meilleures performances en structure bois ou terre cuite plutôt qu'en béton. Face à cette analyse, il semble que les projets construits en structure et isolation biosourcés ou géosourcés présentent de meilleurs résultats vis-à-vis des exigences RE2020.

Tableau 6: Valeurs moyennes des indicateurs RE2020 en fonction du complexe structure/isolant

Isolants en façade	Nombre de projets	Bbio	Cep	Cep,nr	DH	Ic_c	Ic_e
Structure Béton	229	67,79	50,19	48,89	455,43	600,85	62,38
Autre	96	65,70	51,01	49,78	463,99	631,72	63,57
Laine de bois	1	72,40	67,00	67,00	277,10	630,30	83,60
Laine de roche (LR)	2	63,90	39,90	39,90	201,20	665,60	49,40
Laine de verre (LV)	60	68,19	50,29	48,04	466,64	566,76	62,07
Paille	1	66,80	43,80	43,80	428,00	515,50	53,70
Polystyrène Expansé (PSE)	68	70,39	49,10	48,45	441,83	586,85	61,20
Polystyrène Extrudé (XPS)	1	70,90	49,40	49,40	600,60	561,50	60,20
Structure Bois massif	31	71,89	57,01	46,72	501,12	560,58	69,82
Autre	2	81,40	47,65	47,65	646,45	592,15	59,85

Laine de bois	3	77,07	60,70	51,53	620,17	531,50	75,03
Laine de verre (LV)	9	70,83	53,37	45,39	392,79	560,03	65,51
Ouate de cellulose	9	62,54	63,37	38,96	706,80	506,18	75,04
Structure Terre cuite	214	68,10	47,58	46,66	355,37	620,85	58,97
Autre	14	70,03	58,29	55,69	441,31	604,70	71,31
Autre matériaux biosourcés	1	63,10	38,30	38,30	603,50	538,50	46,60
Laine de bois	2	78,90	44,80	44,80	336,80	515,15	56,50
Laine de chanvre	2	73,00	41,30	41,30	190,65	576,90	51,90
Laine de roche (LR)	1	70,70	42,60	42,60	437,40	628,60	53,40
Laine de verre (LV)	51	66,33	47,47	45,94	393,12	595,31	58,75
Polystyrène Expandé (PSE)	100	68,71	47,08	46,73	321,76	633,31	58,21
Polystyrène Extrudé (XPS)	10	64,69	50,72	45,96	261,89	623,03	62,21

En ciblant l'analyse sur l'indicateur $I_{c_construction}$, qui nous intéresse particulièrement dans cette étude pour quantifier l'impact carbone du projet, les résultats sont les suivants (Figure 11) :

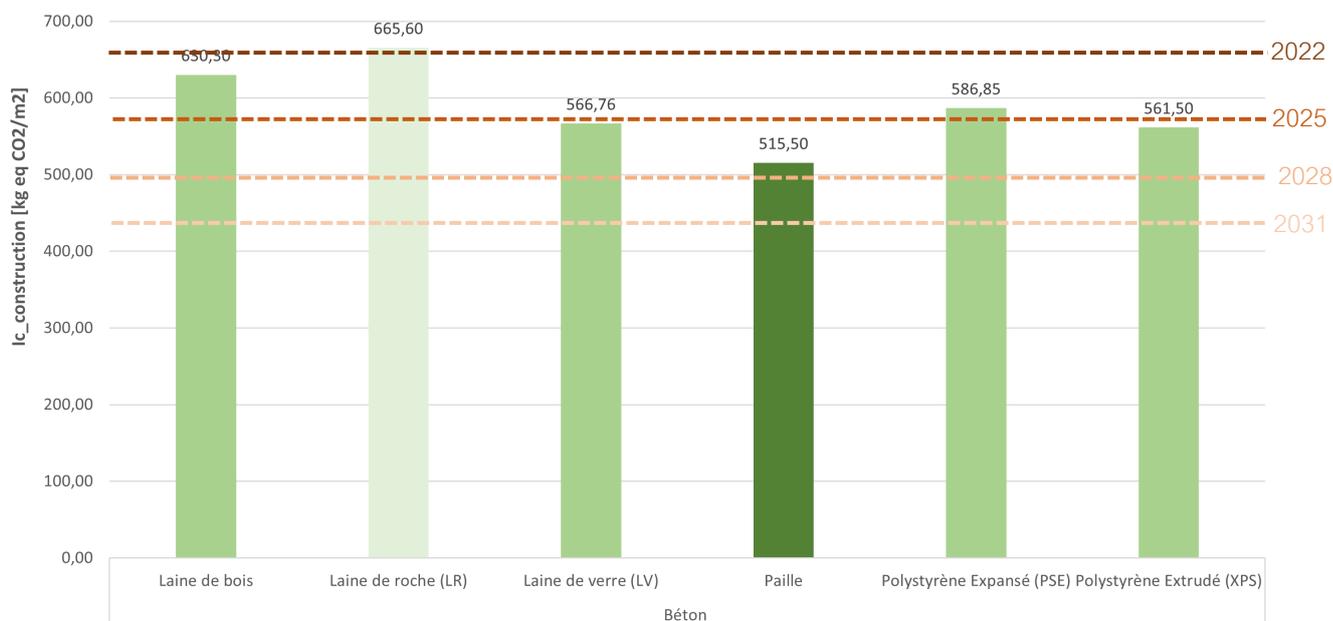


Figure 11: $I_{c_construction}$ selon l'isolant pour une construction béton

L'échantillon étudié se base sur les 229 projets de maisons individuelles en zone H1b en structure béton. Tous les isolants utilisés permettent d'être réglementaire 202, mais c'est l'isolation paille offre le meilleur résultat pour atteindre les seuils RE2020 plus exigeants, et la laine de roche le pire. En effet, la paille, isolant biosourcé et local partout aura un impact carbone très faible, comparé à la laine de roche qui n'est pas biosourcé et dont l'extraction lui confère un impact carbone élevé [25].

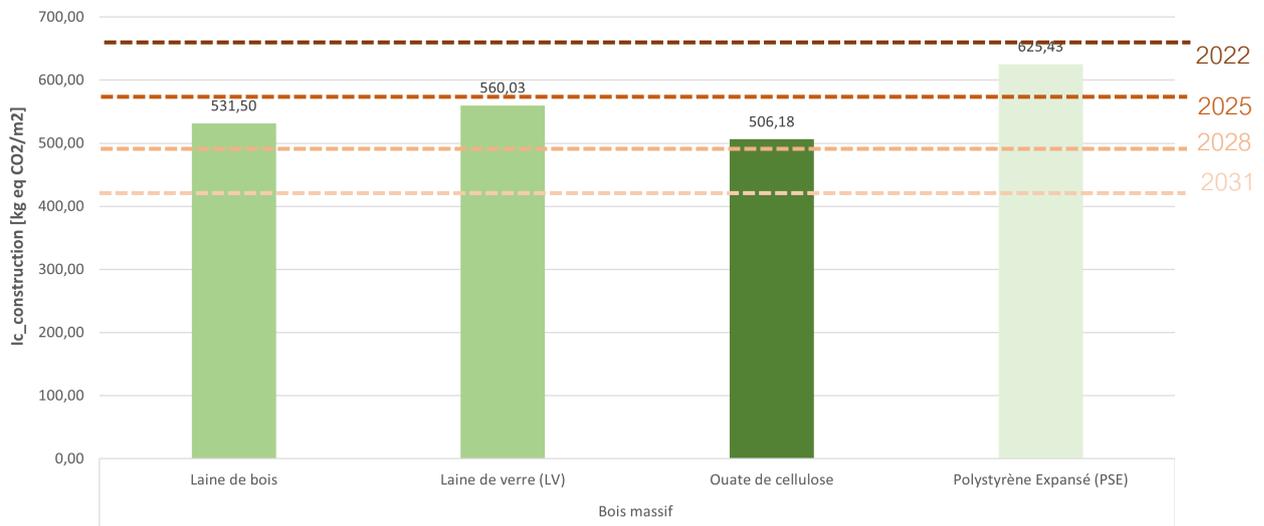


Figure 12: Ic_construction selon l'isolant pour une construction bois massif

L'échantillon étudié (Figure 12) se base sur les 31 projets de maisons individuelles en zone H1b en structure bois. Les mêmes conclusions peuvent être tenues qu'en structure béton : la ouate de cellulose, matériau biosourcé, a le plus faible résultat tandis que le polystyrène expansé donne le résultat le plus élevé, dû à l'étape de production du polystyrène dans son ACV. En outre, seuls les isolants biosourcés passent le seuil 2025 avec ce type de structure.

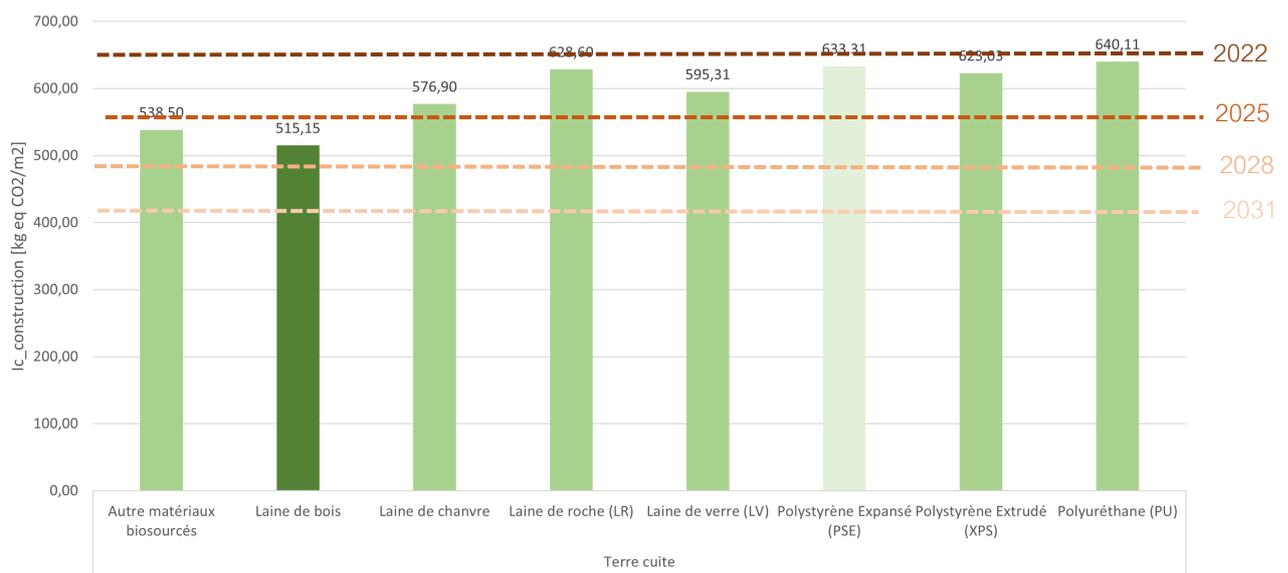


Figure 13: Ic_construction selon l'isolant pour une construction terre cuite

L'échantillon étudié (Figure 13) se base sur les 214 projets de maisons individuelles en zone H1b en structure terre cuite. Là encore, le matériau à la plus faible valeur Ic_construction est un isolant biosourcé, la laine de bois. Les autres matériaux biosourcés le suivent, et le matériau au plus fort impact est encore une fois le polystyrène expansé. La conclusion est la même que pour le bois, seuls les isolants biosourcés permettent d'avoir un score Ic_construction inférieur au seuil 2025.

2.1.2 Tendances des systèmes énergétiques

Comment se comportent les exigences RE2020 en fonction des installations de chauffage des projets recensés ? Le tableau ci-dessous répertorie les valeurs moyennes des projets de maisons individuelles en zone H1b en fonction de leur installation de chauffage principale.

Tableau 7: Indicateurs RE2020 selon l'installation de chauffage du projet

Étiquettes de lignes	Nb de projets	Bbio	Cep	Cep,nr	DH	Ic_c	Ic_e	Ic_e_max
Chaudière bois granulés	1,00	73,30	73,50	28,50	298,00	683,40	87,90	169,50
Chaudière bois granulés Effet joule instantané	1,00	91,90	79,20	49,50	384,50	744,60	95,20	231,10
Effet joule instantané	1	64,20	47,00	47,00	576,00	572,60	58,20	138,90
Installation solaire thermique	1	79,80	36,00	36,00	802,00	431,60	45,30	184,70
PAC air / air	33	65,32	46,52	46,52	330,04	554,03	58,00	158,09
PAC air / air Effet joule instantané	242	72,82	55,90	55,90	415,94	623,14	70,43	179,24
PAC air / air PAC air / eau	9	62,92	45,71	45,71	342,68	586,40	57,08	143,81
PAC air / air Poêle / Insert	2	60,95	58,50	47,80	264,20	635,15	71,30	152,05
PAC air / eau	258	69,83	48,53	48,53	411,03	603,39	60,31	176,53
PAC air / eau Effet joule instantané	1964	70,40	47,30	47,29	371,26	605,01	59,17	169,06
PAC air / eau Poêle / Insert	10	62,27	50,90	38,85	457,13	569,38	62,03	153,67
PAC eau / eau	2	60,65	37,30	37,30	246,80	597,65	45,55	150,95
PAC eau / eau Effet joule instantané	1	69,20	41,60	41,60	341,00	618,80	52,90	157,50
Poêle / Insert	4	64,65	64,58	34,93	636,35	593,03	76,03	178,80
Poêle / Insert Effet joule instantané	130	72,78	77,99	44,14	444,87	609,10	94,55	179,18
Total général	2659	70,55	49,74	47,95	382,93	605,88	62,07	170,93

D'après ces données (Tableau 7 et Figure 14), la majorité des projets de maisons individuelles dans cette zone climatique ont installé des PAC air/eau : 1964 projets les couplent avec de l'effet joule instantané, et 258 les utilisent seules. Ce système de chauffage présente de bons résultats vis-à-vis des exigences RE2020, avec une marge sur tous les indicateurs. Le système de chauffage le plus vertueux sur tous les indicateurs est la PAC eau/eau, même si leur faible nombre ne permet pas de réelle conclusion.

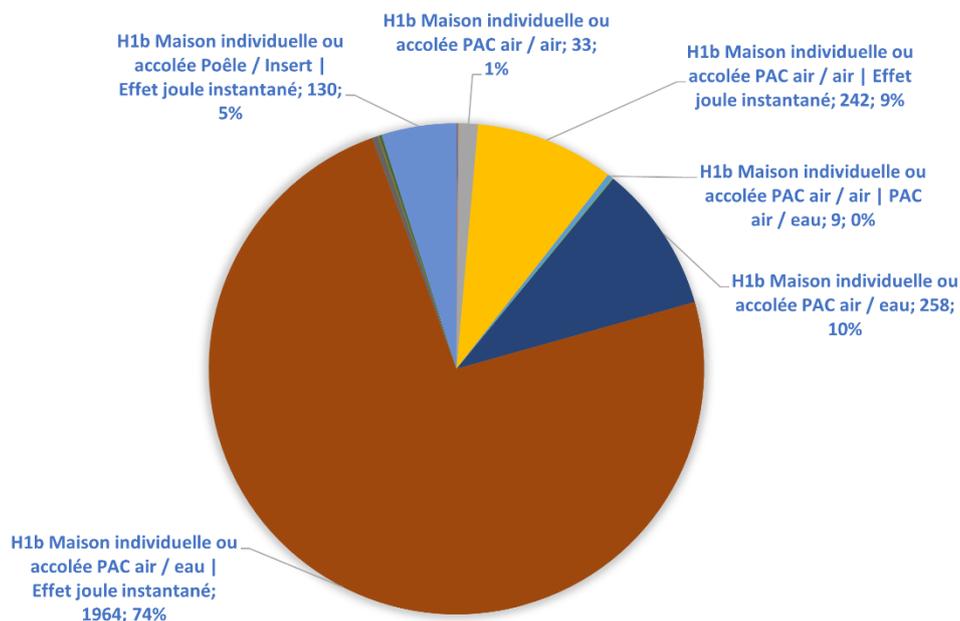


Figure 14: Part des systèmes énergétiques en maison individuelle zone H1b

Aucun projet ne référence l'utilisation de chaudière gaz dans cet échantillon de maisons individuelles de zone H1b. Ce système énergétique est en effet très contraint par la réglementation, les seuils 2022 en empêchant l'utilisation. Il existe en fait bel et bien des projets référencés avec des chaudières gaz, mais ils n'apparaissent pas dans la base nettoyée car les valeurs Ic_énergie sont jugées aberrantes (en moyenne égales à 276,12 kg eq CO2/m2, ce qui est bien plus élevé que l'exigence). Les autres systèmes thermiques passent les seuils. Le graphique ci-dessous (Figure

15) représente les valeurs de $Ic_énergie$ des projets de maisons individuelles en zone H1b selon les systèmes de chauffage.

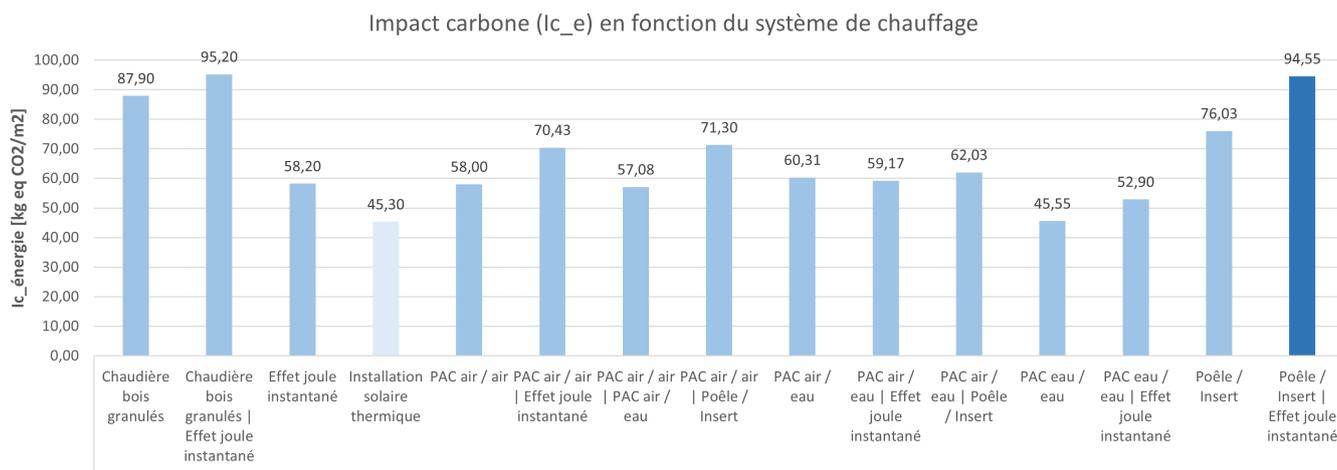


Figure 15: Graphique des valeurs $Ic_énergie$ des projets selon leur système de chauffage

Les systèmes énergétiques qui provoquent le score $Ic_énergie$ le plus élevé sont les poêles couplés avec de l'effet joule instantané, tandis que les plus vertueux sont les installations solaires thermiques suivies de près par les PAC eau/eau.

2.1.3 Conclusions sur les tendances et principes constructifs RE2020

Cet observatoire RE2020 permet de tirer plusieurs conclusions sur les tendances et principes constructifs des projets recensés, le but étant de mettre en valeur les tendances au plus faible impact carbone. Sur l'ensemble de l'observatoire, 6% des projets seulement proviennent de la zone climatique H1b dans laquelle se situe la région Grand-Est. Le résultat est le même à cette échelle et à celle nationale : **97% des projets recensés sont des maisons individuelles ou accolées**. Cette majorité est notamment causée par des coûts et techniques de construction plus appropriables à cette échelle. En zone H1b, plus de 80% des maisons n'ont malheureusement pas renseigné leur matériau structural principal. Sur les 20 % restants, **le béton reste majoritaire (9%)**, suivi par la terre cuite et le bois. Ces deux types de structure présentent de meilleurs résultats que le béton d'un point de vue carbone (quantifié par l'indicateur $Ic_construction$), surtout si elles sont couplées à des isolations biosourcées. **Le système de chauffage le plus utilisé est la PAC air/eau à 74%**. Cette solution énergétique est plutôt favorable sur tous les critères, même si la PAC eau/eau donne de meilleurs résultats. En revanche **les chaudières gaz sont contraintes par les exigences** et ne passent plus les seuils $Ic_énergie$. La majorité de projets de maison individuelle dans cette base de données confirme l'intérêt de se pencher sur une étude de cas de cette typologie.

2.2 Etude des bâtiments du Grand-Est certifiés PassivHaus

L'analyse de la base de données de l'Institut PassivHaus [26], focalisée sur les projets du Grand-Est, offre une opportunité d'étudier les performances et les choix constructifs selon les critères PHPP. Bien que les résultats ne puissent être directement comparés aux exigences RE2020, ces données permettent de dégager des tendances sur des aspects clés tels que la consommation énergétique, la qualité de l'enveloppe, les matériaux utilisés et donc la part de biosourcé, et l'intégration des énergies renouvelables. Ces statistiques offrent des pistes de réponse pour promouvoir des pratiques alignées sur les objectifs de neutralité carbone dans le secteur du bâtiment.

2.2.1 Généralités sur la base de données

La base de données de l'institut PassivHaus recense 46 projets dans la région Grand-Est, dont les années de construction varient de 2009 à 2021. 7 projets sont construits entre 2020 et 2021. Cependant, la RE2020 n'étant

26 Passive House Database ; PassivHaus Institut, ND : https://passivehouse-database.org/index.php?lang=en#s_c40cb3fd694ed7189c8ffecb15d7293e

mise en application qu'à partir de 2022, tous ces projets sont donc réglementés RT2012. Cette analyse va donc servir à étudier les performances des bâtiments passifs de la région indépendamment de la RE2020. Il sera ensuite intéressant de voir si les tendances qui en ressortent sont toujours appliquées sur le projet passif RE2020, étudié en troisième partie de ce mémoire. Sur ces 46 projets, cinq typologies se distinguent : bureaux, scolaire, santé, logements collectifs et maison individuelles ou accolées.

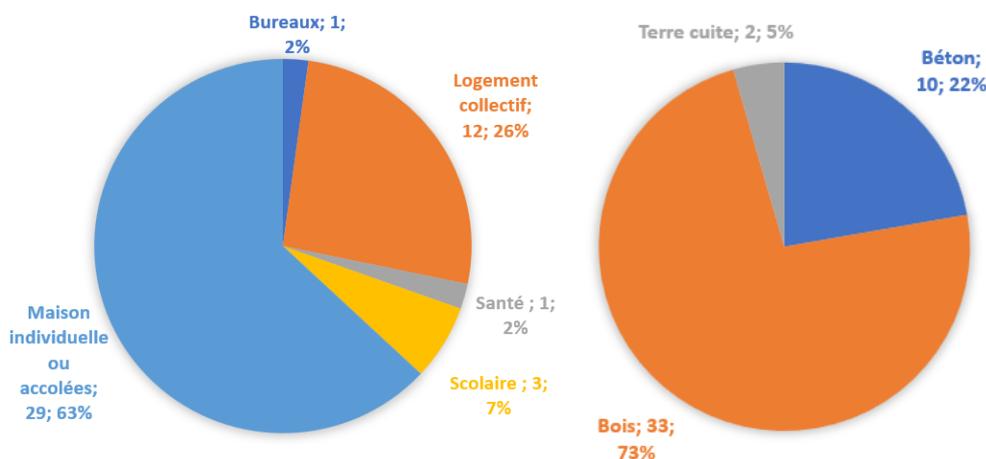


Figure 16: Graphique de répartition des typologies (gauche) et graphique de répartition des matériaux de structure (droite)

63% des projets sont des maisons individuelles ou accolées. Sur la totalité des projets recensés, **73% sont construits en structure bois.** Le reste est en majorité construit en béton, et quelques-uns en briques de terre cuite.

2.2.2 Tendances constructives

45 projets sur 46 détaillent leurs choix de matériaux en façade. Les statistiques suivantes sont donc effectuées sur les 45 projets les ayant renseignés. **Sur les 45 projets, 33 sont en structure bois : 73%, 2 sont en terre cuite : 3% et 10 en béton : 22%. En structure non biosourcée (béton ou briques de terre cuite), les isolants sont en majorité non biosourcés : à 83%, tandis qu'en structure biosourcée (bois), les projets utilisent des isolants en majorité biosourcés, à 63%.**

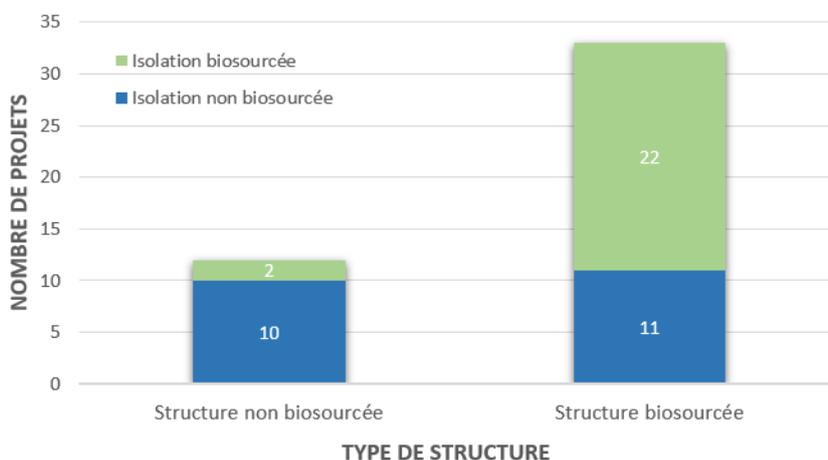


Figure 17: Nombre de projets en isolation biosourcée ou non biosourcée en fonction du type de structure

Les deux matériaux structurels les plus fréquemment utilisés par ces constructions passives sont le bois, puis le béton. Alors qu'en structure béton, une prépondérance (à 50%) des projets sont en polystyrène, le choix de l'isolant en bois est vaste et plus réparti. Les trois isolants les plus fréquents sont la ouate de cellulose, la laine de verre et la laine de bois.

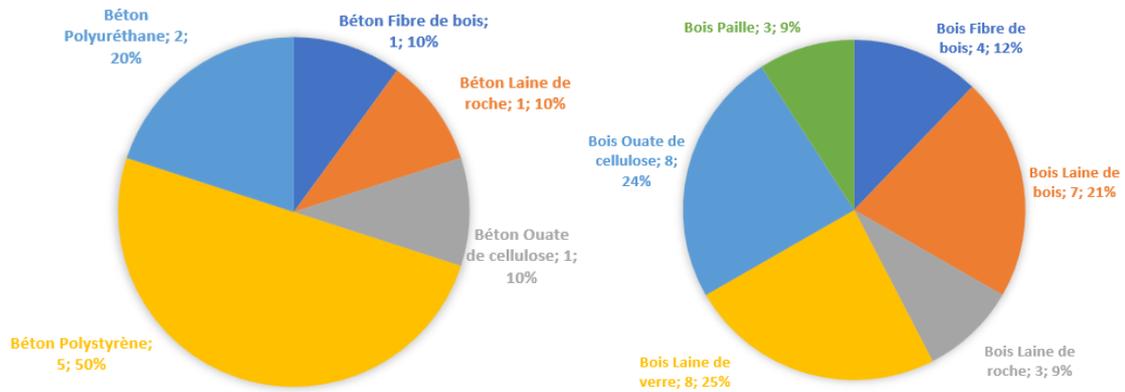


Figure 18: Graphiques des isolants utilisés en structure béton (gauche) et bois (droite)

La majorité des projets en structure bois sont de la construction individuelle : 25 sur les 33 projets bois, soit 83%. 7 autres sont des logements collectifs et le dernier est un projet d'établissement scolaire. Tous les autres bâtiments qui ne sont pas du logement sont en béton. Le graphique ci-dessous synthétise les choix de matériaux de structure et d'isolation en fonction de la typologie du projet :

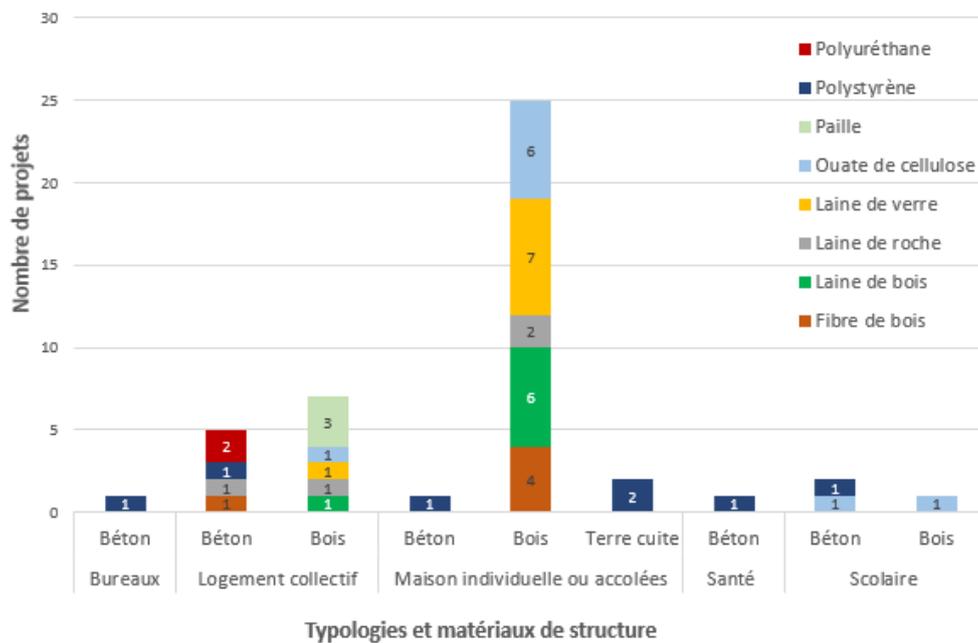


Figure 19: Graphique du nombre de projets selon son choix de matériau en structure et isolation et selon sa typologie

En conclusion, le bois est donc largement utilisé en construction passive pour la structure des projets dans le Grand-Est. Cela peut s'expliquer par le marché du bois qui est assez développé dans la région. En revanche l'utilisation de biosourcés en isolation n'est pas un réflexe : elle concerne 24 projets sur 46, donc un peu plus de la moitié tout de même. Le reste utilise du polystyrène, polyuréthane, ou laines minérales.

2.2.3 Tendances des systèmes énergétiques

Dans cet échantillon, les systèmes de chauffage sont renseignés sur 43 des 46 projets, et 7 systèmes de chauffage différents sont représentés. Le chauffage par électricité directe est le plus représenté, à 28%. Faisant référence à un chauffage électrique fonctionnant sans fluide intermédiaire, ce système se réfère à l'effet Joule répertorié dans les statistiques de l'observatoire RE2020. Il peut concrètement être utilisé avec des radiateurs électriques, des plafonds rayonnants ou des planchers chauffants. Ces systèmes peuvent sembler surprenant en constructions passives car leur efficacité est limitée par rapport à des pompes à chaleur par exemple. Il est cependant probable que ces systèmes soient une solution d'appoint ponctuel. En effet les bâtiments passifs étant des projets à très faible besoin de chauffage (<15 kWh/(m2.a)), des appoints peuvent suffire. Dans ce cas, l'électricité directe est

une solution simple et peu coûteuse. Ils sont en outre dans la plupart des cas couplés avec des PAC ou des panneaux photovoltaïques pour la production d'ECS en autoconsommation. Le deuxième système de chauffage le plus utilisé est la chaudière bois pour 21% des projets et en troisième, à 18%, les pompes à chaleur.

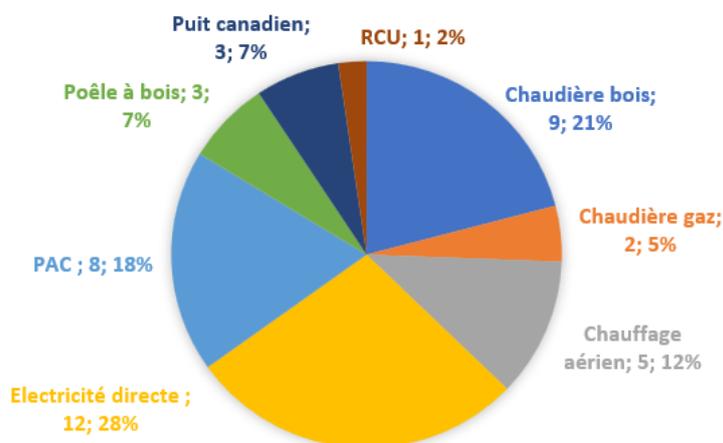


Figure 20: Proportion des différents systèmes de chauffage dans l'échantillon de projets

Dans cette base de données, peu de projets précisent s'il s'agit d'une pompe à chaleur air/air, air/eau, ou eau/eau. Les projets spécifiant le type de PAC sont minoritaires et précisent qu'il s'agit soit d'une PAC air/eau ou bien eau/eau, nous pouvons donc supposer que les projets non spécifiés sont les PAC air/air, plus fréquemment utilisées, mais sans en être sûrs pour autant. Nous ne tirerons donc pas de conclusions sur le choix du type de PAC en conception passive. Le chauffage aérien, utilisé par 5 projets sur les 43, peut être compris comme une diffusion de chaleur via l'air, soit intégrée à une VMC double flux, soit à une PAC air/air. Tous les projets sont d'ailleurs équipés d'une ventilation double flux, celle-ci étant à 72% du temps couplée à un récupérateur de chaleur. 60% des projets utilisent des PAC pour l'ECS, et 11% du solaire thermique. Ce ne sont en outre que des projets de logements, les bureaux, écoles et établissements de santé sont alimentés en ECS par des ballons électriques ou bien des chaudières gaz ou bois. Le graphique ci-dessous (Figure 21) synthétise les choix de système de chauffage en fonction de la typologie du projet :

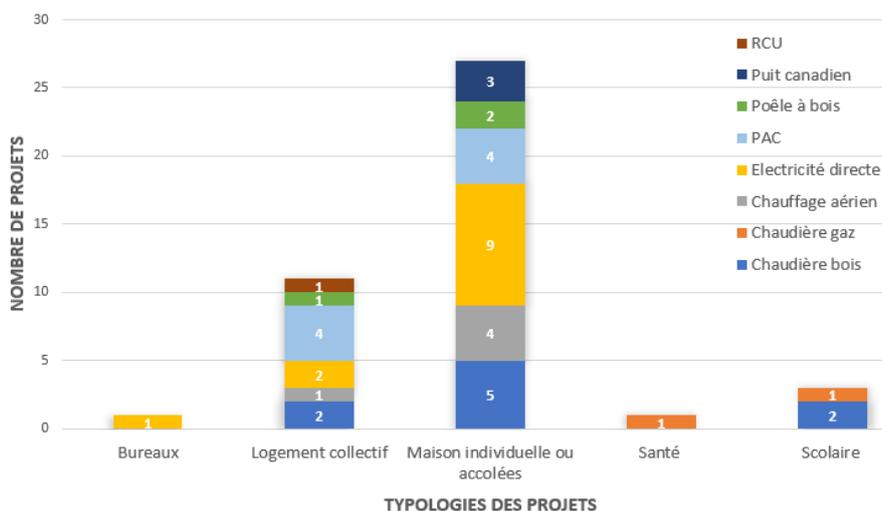


Figure 21: Nombre de projets selon le choix du système de chauffage et la typologie du projet

En moyenne, les chaudières gaz provoquent la plus grande demande de chauffage du bâtiment, à hauteur de 15 kWh/m², la limite passive, tandis que les systèmes de puits canadiens, fonctionnant par préchauffage de l'air avant le soufflage par VMC DF limitent le mieux la demande de chauffage, à 10,3 kWh/m² en moyenne. Ces choix de systèmes démontrent en outre des partis pris dans la démarche du projet : les projets avec puit canadien sont sans doute des projets qui ont poussé la conception de l'enveloppe de manière à être la plus performante possible, pour ne nécessiter que très peu de besoins de chauffage ou de refroidissement, ce qui permet d'utiliser des systèmes

d'appoint comme le puit canadien, au contraire des projets avec des chaudières gaz. Graphe démonstrateur ci-dessous (Figure 22) :

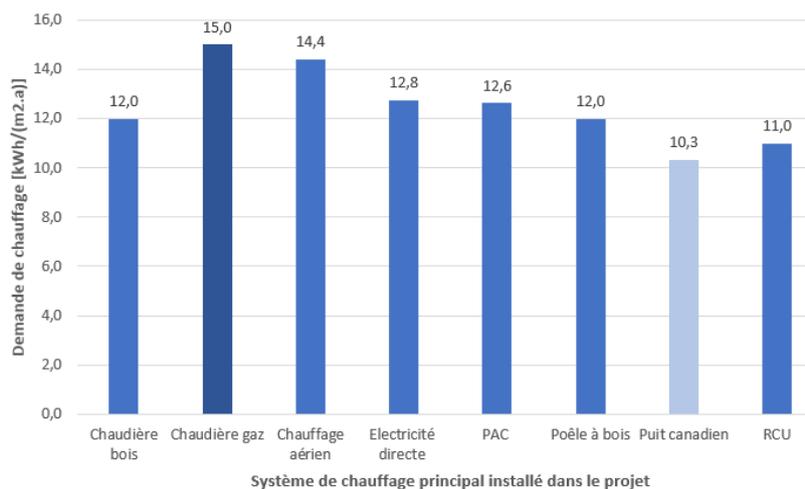


Figure 22: Demande de chauffage moyenne selon le système principal utilisé

2.2.4 Conclusions sur les tendances et principes constructifs passifs

89% des projets passifs du Grand-est sont des projets de logements, dont 63% de l'individuel. La majorité est en structure bois, avec tout de même une proportion non négligeable en béton. Les matériaux d'isolation sont plus variés, avec presque autant d'utilisation de biosourcés (52%) que d'isolants non biosourcés (48%). En logement individuel, 1/3 des projets se chauffe avec un système électrique. Les autres systèmes sont des systèmes ENR comme des PAC, chaudières bois, puits canadien ou encore chauffage aérien. Quelques installations de chaudières gaz subsistent en établissements de santé et scolaires. Il n'y a pas de grande tendance qui se dessine, que ce soit pour le choix de systèmes constructifs ou celui énergétique, si ce n'est l'utilisation majoritaire du bois en structure, et de la VMC Double-flux pour la ventilation, voire le chauffage et l'ECS. La majorité de projets de maison individuelle confirme l'utilité de travailler sur un projet de cette typologie comme étude de cas.

2.3 Synthèse sur les statistiques des bases de données RE2020 et PassivHaus

Tableau 8: Synthèse des données de l'observatoire RE2020 et PassivHaus

	Observatoire RE2020	Observatoire PassivHaus
Typologie majoritaire	Maison individuelle ou accolée = 97%	Maison individuelle ou accolée = 63%
Matériau structurel majoritaire	"Autre" = 80% puis Béton = 8,6%	Bois = 73%
Isolation en biosourcé majoritaire ?	Non	Oui (mais presque 50-50)
Système de chauffage majoritaire	PAC air/eau + système électrique	Système électrique d'appoint
Système de ventilation	VMC simple flux = 97,5%	VMC double flux = 100% (+ souvent couplé à récupérateur de chaleur)

L'analyse croisée des bases de données RE2020 et PassivHaus permet de dégager à la fois des tendances communes et des spécificités propres à chaque démarche. Tout d'abord, ces deux référentiels mettent en avant une forte représentation des maisons individuelles, confirmant l'utilité de travailler sur un projet de ce type comme étude de cas. Dans la base RE2020, les maisons individuelles de la zone H1b sont majoritairement en béton ou terre cuite, avec une très faible déclaration des matériaux utilisés, rendant difficile l'analyse fine de l'impact carbone des choix constructifs. En revanche, la base PassivHaus montre une nette prédominance du bois en structure et une utilisation plus équilibrée entre isolants biosourcés et non biosourcés. Cette tendance met en lumière l'approche plus optimisée du standard PassivHaus pour réduire les consommations énergétiques et l'empreinte carbone dès

la conception. D'un point de vue énergétique, les deux bases confirment la montée en puissance de la pompe à chaleur, en particulier le modèle air/eau dans la base RE2020. Les projets labellisés PassivHaus révèlent une diversité plus marquée, intégrant des solutions alternatives comme le chauffage aérien ou l'électricité directe comme appoint. Enfin, la ventilation est encore un point de divergence : si la double flux est intégrée pour tous les systèmes passifs, en mettant souvent en place de la récupération de chaleur, les projets strictement réglementaires utilisent encore largement la simple flux. Ces comparaisons mettent en évidence des approches différentes : alors que la RE2020 vise principalement à encadrer les performances environnementales des bâtiments, le standard PassivHaus se concentre sur une réduction drastique des besoins énergétiques, en s'appuyant sur une conception plus poussée et des choix constructifs optimisés dès l'amont du projet. Cette analyse statistique pose ainsi les bases pour l'étude approfondie d'un projet concret : une maison individuelle biosourcée, passive dans le Grand-Est. Ce cas réel permettra d'examiner quels facteurs influencent les performances énergétiques et environnementales en croisant les exigences des deux référentiels.

3. ETUDE D'UN PROJET REEL : la maison individuelle passive biosourcée

L'étude d'un cas d'usage type vient compléter les analyses statistiques. Cette étude, portée sur un projet de maison individuelle passive et biosourcée, permet de rentrer dans les détails de calculs des exigences de la RE2020 mais aussi du label Bâtiment Biosourcé, de comprendre les démarches en les expérimentant, et de permettre l'élaboration de variantes de ce cas d'usage, dans le but de confirmer ou réfuter certains résultats obtenus par statistiques. Cette partie permettra de répondre à la question : la RE2020 peut-elle être discriminante pour un projet passif ?

3.1 Analyse du projet

Le cas d'usage est une maison individuelle neuve, en cours de labellisation PassivHaus (au critère Standard) et réglementaire RE2020. Construite en R+1, c'est une maison compacte de 122 m² de surface au sol selon le PHPP, dimensionnée pour 2 à 3 occupants. Conçue avec frugalité et une bonne part de matériaux biosourcés, cela semble être l'exemple parfait de la maison passive à faible impact carbone. La mise à disposition par la conceptrice du projet et donc des fichiers RSEE/RSET et PHPP permet l'étude approfondie du projet.

3.1.1 Caractéristiques générales du projet

Les caractéristiques principales de la maison sont visualisables ci-dessous (Tableau 9) :

Tableau 9: Caractéristiques de la maison passive biosourcée RE2020

Structure des murs	Mur à ossature bois (Montants bois massif)	Structure traversante
Isolation des parois extérieures	Ouate de cellulose	Fibre de bois
Plancher	Poutrelles-hourdis	Vide sanitaire sous plancher bas
Isolation du plancher	Polystyrène expansé	
Toiture	Liteaux de bois	Tuiles
Isolation de toiture	Combles isolés en ouate de cellulose.	Une partie des combles en laine minérale [27]
Fondations	Semelles filantes	
Menuiseries	Triple vitrage	PVC
Protections des menuiseries	Volets roulants	Moustiquaires intégrées
Chauffage	Pompe à chaleur air/air	Ballon ECS et récupérateur de chaleur sur eaux grises
Electricité	Panneaux photovoltaïques sur toit	

27 Cette partie est dû à un oubli de chiffrage par le charpentier sur la ouate de cellulose, et a donc été isolée sans frais par laine minérale. L'option initiale était l'isolation complète des combles en ouate de cellulose.

De premières remarques peuvent être tirées de ces choix de conception. La structure des murs en ossature bois et l'isolation par ouate de cellulose et fibre de bois sont des solutions performantes pour répondre aux objectifs de faible bilan carbone : l'ossature bois assure une faible déperdition thermique grâce à son faible coefficient de conductivité et ses performances hygrométriques, tandis que la ouate de cellulose, biosourcée, contribue efficacement à l'isolation thermique et acoustique, tout en ayant un bon bilan carbone. L'isolation du plancher en polystyrène expansé par contre est moins vertueuse que d'autres options biosourcées comme le liège. Cette hypothèse devra être vérifiée par le calcul ACV de la RE2020, et une attention particulière sera donc portée sur cette partie. Il serait aussi possible d'envisager une isolation de la dalle de sol par radier avec du verre cellulaire plutôt qu'un vide sanitaire. Le triple vitrage en PVC permet de répondre aux exigences de faible déperdition thermique et d'étanchéité des maisons passives. Toutefois, le PVC, bien que durable, est moins favorable d'un point de vue écologique comparé à des menuiseries en bois ou en aluminium à rupture de pont thermique [28]. Les volets roulants offrent une bonne protection solaire d'autant plus qu'ils sont automatisés pour le confort d'été, mais des brise-soleils pourraient être une alternative plus adaptée (bien que plus coûteuse) pour moduler l'apport solaire et la lumière naturelle. Une alternative de volets manuels en bois serait une option bas carbone. Il est probable que les choix de certains matériaux, comme le polystyrène expansé, la laine minérale ou le PVC, aient été dictés par des contraintes budgétaires ou de disponibilité. L'auto construction d'une partie du projet (2nd œuvre) pourrait également expliquer certains compromis. Pour ce qui est des systèmes énergétiques, la combinaison d'une pompe à chaleur air/air et d'une VMC double flux est efficace pour garantir le confort thermique et la récupération de chaleur. Il pourrait être envisageable de proposer une pompe à chaleur géothermique, et une PAC air/eau pourrait offrir un rendement encore supérieur en climats froids, tout en limitant le recours à l'électricité en périodes de pointe. Ces propositions sont toutefois des variantes plus coûteuses, un juste milieu entre sobriété énergétique, environnementale et économique semble donc avoir été optimisé ici.

3.1.2 Résultats PHPP, RE2020 et label Bâtiment biosourcé

Tableau 10: Résultats critères PHPP

Critères de validation du label Passivhaus				
	Unité	Projet	Valeur seuil	Validation du seuil
Surface au sol SRE	m ²	122,2	-	-
Demande de chauffage	[kWh/(m ² .a)]	11,30	15,49	OUI
Puissance de chauffage	[W/m ²]	10,3	10,49	OUI
Etanchéité à l'air critère n50	[l/h]	0,3	0,6	OUI
Demande en énergie primaire	[kWh/(m ² .a)]	70	120	OUI
Demande en énergie primaire renouvelable	[kWh/(m ² .a)]	32,7	60	OUI
fréquence de surchauffe	%	1,06	10	OUI

Tous les critères passifs sont respectés. Dans un second temps, l'utilisation de Pléiades éditeur avec les modules RE2020 énergie et RE2020 ACV a permis de lancer les calculs RE2020 à partir du fichier RSEE en format xml fourni par la conceptrice du projet. Le fichier RSEE est en annexe. La synthèse des résultats est présentée ci-dessous :

Tableau 11: Résultats sur les indicateurs RE2020 en fonction des exigences 2022-2025

Exigences des indicateurs RE2020				
	Unité	Projet	Seuil 2022-2025	Validation du seuil

Surface au sol SHAB	m2	110	-	-
Étanchéité à l'air critère Q4	[m3/(h.m2)]	0,13	0,6	OUI
Bbio	-	34,60	73,4	OUI
Cep	[kWh/m2.a]	55,1	77	OUI
Cep,nr	[kWh/m2.a]	55,1	56,4	OUI
DH	[°C.h]	325,1	350	OUI
Ic_construction	[kgeq. CO2/m2]	703,9	692,00	NON
Ic_énergie	[kgeq. CO2/m2]	64,8	162,20	OUI

Les exigences RE2020 ne sont pas remplies. Certaines valeurs sont proches du seuil réglementaire, notamment la valeur de l'indicateur Cep,nr. En outre Ic_construction n'est pas validé, dépasse le seuil 2022, et donc aussi tous les futurs seuils. Cette valeur paraît assez surprenante. En effet, de par les choix constructifs et de systèmes énergétiques, le projet est censé être un cas « modèle », avec une faible empreinte carbone et demande en énergie. Si la partie énergie paraît réussie puisqu'elle valide non seulement les exigences RE2020 sur ce volet (Cep, Cep,nr, Bbio) mais valide aussi largement les critères PassivHaus, la partie carbone construction pose question. Le calcul des exigences du label Bâtiment biosourcé peut apporter un premier élément de réponse. Le tableau ci-dessous (Tableau 12) montre que le projet valide le troisième niveau de performance du label :

Tableau 12: Résultats futurs seuils RE2020 et Bâtiment Biosourcé

		Exigences des futurs seuils RE2020						
		Projet	Seuil 2025-2028	Validation du seuil	Seuil 2028-2031	Validation du seuil	Seuil ap 2031	Validation du seuil
Ic_construction	[kgeq. CO2/m2]	703,9	635,20	NON	592,20	NON	534,20	NON
Ic_énergie	[kgeq. CO2/m2]	64,8	162,2	OUI	162,2	OUI	162,2	OUI
		Exigences du label Bâtiment Biosourcé						
		Projet	Niveau 1	Validation du seuil	Niveau 2	Validation du seuil	Niveau 3	Validation du seuil
StockC	[kgeq. C/m2]	72,9	15	OUI	25	OUI	45	OUI

Pour le 3^e niveau, il est exigé la mise en œuvre de produits de construction biosourcés remplissant au moins trois fonctions différentes dont l'isolation [29]. Cette exigence de moyens est validée avec l'utilisation de ouate de cellulose en isolation des faux-plafonds et murs, la fibre de bois et l'ossature bois. Le projet paraît donc bel et bien performant d'un point de vue biosourcé. Il faut garder en mémoire que, au contraire du label Bâtiment Biosourcé qui étudie spécifiquement les matériaux utilisés dans l'enveloppe du projet, l'indicateur Ic_construction représente l'impact des contributions « Composants » et « Chantier » du projet, la contribution « Composants » détaillant les produits de construction et équipements et leur mise en œuvre, y compris les réseaux et espaces de parkings du bâtiment, sur tout leur cycle de vie, et la contribution « Chantier » couvrant quant à elle les consommations d'énergie du chantier de construction, les rejets et l'évacuation des déchets, ainsi que les composants utilisés pour réaliser des ouvrages provisoires nécessaires au chantier. L'indicateur Ic_construction est donc vaste et prend en compte de nombreux facteurs. Il est nécessaire de rentrer dans le détail des calculs ACV afin de comprendre ce résultat. Le graphique ci-dessous synthétise les émissions de CO2 produites par les différents lots du projet.

Rq : Cette analyse se basera sur les exigences PHPP, RE2020 et Label Bâtiment Biosourcé. Il n'est pas possible de faire subir le calcul BBCE à ce projet puisque ce label s'applique exclusivement aux logements collectifs et à des constructions tertiaires ou de bureaux.

3.1.3 Analyse ACV globale

L'interface de Pléiades Editeur présente des synthèses graphiques des éléments ACV renseignés. Un graphique synthétise la part des émissions de CO2 par lot du projet (visualisable ci-dessous (Figure 23. Remarque : les graphiques sortis de Pléiades sont réédités sur Excel afin de les rendre plus lisibles). Il faut cependant noter que Les bénéfices et charges du module D de l'ACV ne sont pas pris en compte dans les graphiques. Ils sont évalués au

29 Nouveau Label « Bâtiment Biosourcé » applicable à partir du 1^{er} septembre 2024 ; Préfet de la région Normandie-DREAL Normandie, 2024 : <https://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/nouveau-label-batiment-biosource-2024-applicable-a-a5926.html>

lancement du calcul. Le graphique ne présente donc pas tout à fait la même valeur d'émissions de CO₂ que l'indicateur Ic_composant à la sortie du calcul.

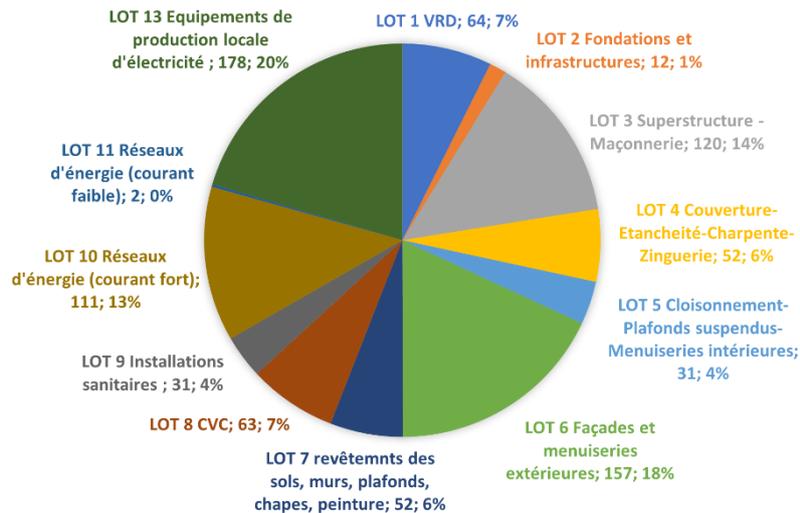


Figure 23: Graphique des émissions de CO₂ par lots

Les 4 lots les plus émetteurs sont dans l'ordre :

- LOT 13 : Equipements de production locale d'électricité : il s'agit du lot renseignant les caractéristiques des composants des panneaux photovoltaïques. Il provoque l'émission de 178 kg eq CO₂/m², c'est-à-dire 20% des émissions totales du projet.
- LOT 6 : Façades et menuiseries : c'est le lot dans lequel sont renseignés les revêtements de façades, mais aussi toutes les caractéristiques des vitrages et de leurs cadres. Il représente 157 kg eq CO₂/m² d'émissions carbone, soit 18 % des émissions totales.
- LOT 3 : Superstructure et maçonnerie : ce sont tous les éléments verticaux et horizontaux qui constituent la structure du bâtiment. Ce lot émet 120 kg eq CO₂/m² et est donc à l'origine de 14% des émissions totales.
- LOT 10 : Réseaux d'énergie (courant fort) : il s'agit de tous les réseaux électriques de la maison. Avec 111 kg eq CO₂/m² émis, cela représente 13% des émissions du projet.

Plusieurs variables peuvent influencer les résultats ACV, et notamment le type de fiches FDES rentrées dans Pléiades. Les fiches FDES sont des déclarations environnementales contenant les résultats de l'ACV d'un produit. Elles sont répertoriées dans la base INIES et il en existe 4 types :

- Les déclarations **individuelles** sont des fiches spécifiques à un produit, et détaillent précisément ses caractéristiques.
- Les déclarations **collectives** regroupent des gammes de produits aux caractéristiques communes.
- Les **données conventionnelles**, qui sont des données donnant des valeurs conventionnelles liées aux exigences RE2020, non modifiables dans certains lots.
- Les **données environnementales par défaut**. Ce sont des données construites par la base INIES à utiliser dans le cas où il n'y a aucune déclaration individuelle ou collective. Elles permettent une approximation des valeurs mais sont moins précises que les fiches individuelles ou collectives. Construites en faisant les moyennes des résultats sorties de FDES individuelles de composants semblables, les valeurs sont toujours pondérées par un coefficient de sécurité. Celui sert à couvrir l'incertitude sur la performance environnementale du produit installé en l'absence de donnée spécifique, ce qui les rend plus contraignantes sur leurs valeurs d'émission carbone du produit.

Ces quatre types fournissent des données plus ou moins précises en fonction de leur origine. Afin d'être le plus précis possible dans une ACV, les données individuelles et collectives sont à privilégier. Le pourcentage de ces types de fiches dans le cas du projet étudié est détaillé ci-dessous (Figure 24) :

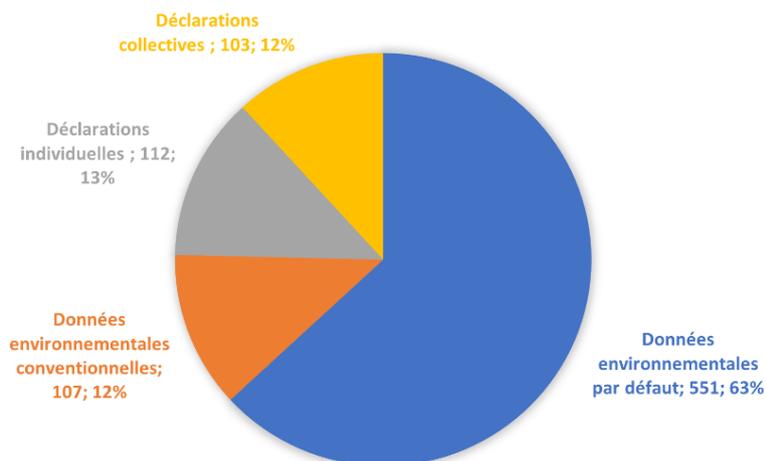


Figure 24: Types de fiches FDES renseignées dans le projet

L'analyse des données révèle une large prédominance des fiches environnementales par défaut : 63%, tandis que les déclarations individuelles (13%), collectives (12%) et conventionnelles (12%) sont nettement moins représentées. Cette situation peut refléter l'utilisation importante de matériaux biosourcés en auto construction, pour lesquels il n'existe pas de fiches spécifiques à un fabricant, ou bien l'avancée du projet lors de la réalisation du dossier RE2020 (Il peut arriver que le choix de la marque d'un matériau n'ait pas encore été établi). Bien que les données par défaut permettent une évaluation approximative, elles manquent de précision et peuvent surestimer les impacts réels à cause du coefficient de sécurité imposé. Cela limite la capacité à représenter fidèlement les performances environnementales du projet, notamment en termes d'empreinte carbone, et apporte un nouvel élément de réponse au résultats élevé de l'indicateur $Ic_{\text{construction}}$. Afin de vérifier si d'autres facteurs entrent en jeu, il est nécessaire d'analyser les lots les plus défavorables en termes d'impact carbone. Cela va permettre de comprendre quels composants spécifiques impactent aussi lourdement les émissions de CO₂ du projet.

3.1.4 Analyse des 4 lots les plus émetteurs de carbone

3.1.4.1 Equipements de production locale d'électricité

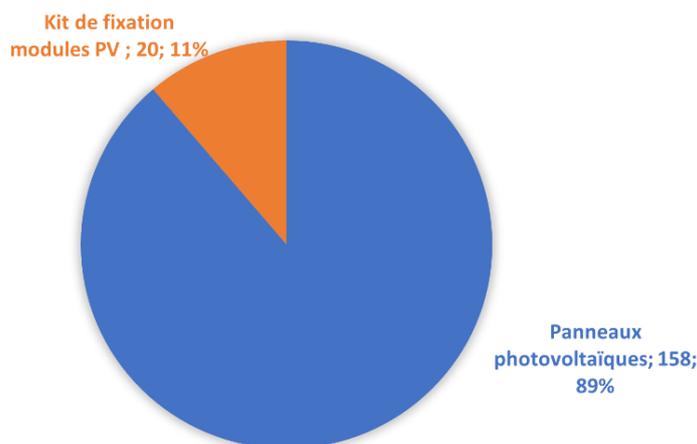


Figure 25: Répartition des émissions carbone du lot 13 panneaux PV

Dans ce lot, ce sont les modules photovoltaïques monocristallins qui émettent le plus de CO₂. D'une part, c'est une donnée environnementale par défaut, son impact CO₂ est donc dégradé par rapport à une fiche individuelle. Ensuite, le détail de l'ACV dans la fiche INIES du produit permet de se rendre compte que c'est la production et le processus de construction du module qui génère autant d'impact [30]. En effet l'extraction des matériaux fossiles nécessaires à la production demande de gros moyens de mise en œuvre, tout comme la construction du module.

30 Module photovoltaïque silicium monocristallin en surimposition [surface 5,38 m²] - DONNEE ENVIRONNEMENTALE PAR DEFAULT (v.1.3) ; Base INIES, 2024 : <https://base-inies.fr/infos-produit/40659>

En outre, il n'y a aucun bénéfice au-delà de l'utilisation du produit : son éventuel réemploi n'est pas valorisable. Il existe dans la base de données INIES des modules photovoltaïques bas-carbone, il sera donc intéressant de voir la différence d'impact que peuvent avoir ce genre de produit.

3.1.4.2 Façades et menuiseries

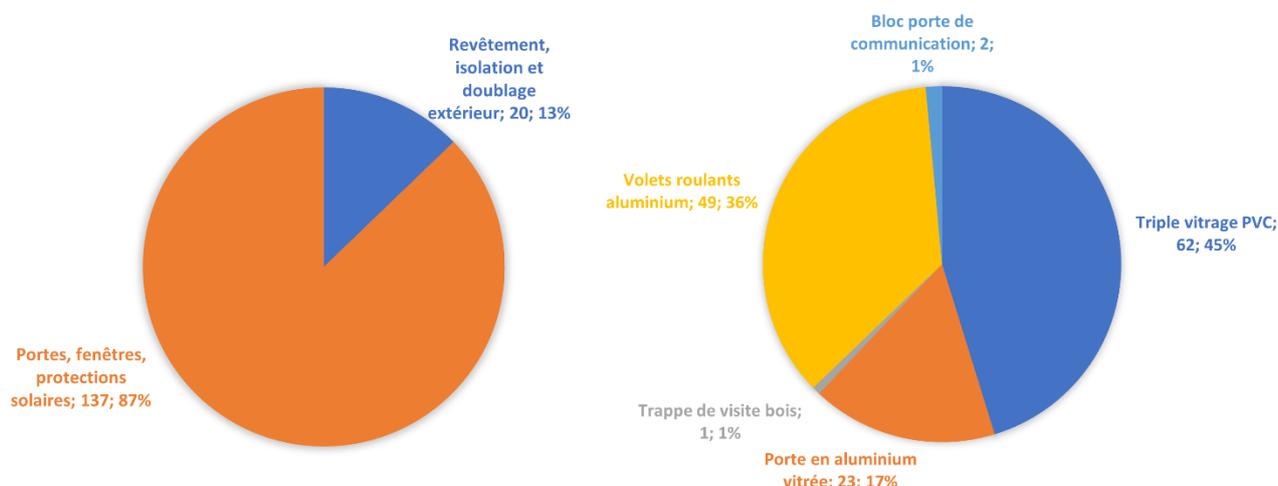


Figure 26: Répartition de l'impact CO2 du lot Façades et menuiseries (gauche) et répartition du sous-lot ouvertures en façades (droite)

Dans le lot 6, les compositions de façades ont peu d'impact par rapport à celui des ouvertures. En regardant plus précisément, ce sont les triples vitrages qui ont le plus fort impact carbone dans ce lot, ainsi que les volets roulants. Ces composants sont encore une fois des données environnementales par défaut, or en recherchant dans la base INIES, la fiche FDES individuelle du triple vitrage renseigné dans le PHPP est disponible. Il s'agit probablement d'une erreur lors de la réalisation de l'ACV sur ce projet. En outre, le triple vitrage nécessite plus de matière que le double vitrage pour sa fabrication, et la conception de verre a un fort impact carbone, comme le démontre le détail ACV du composant, visible sur sa fiche FDES dans la base INIES [31]. Il sera intéressant d'étudier la différence d'impact CO2 entre un double et un triple vitrage. Les performances énergétiques du triple vitrage par rapport à un double vitrage pourront être vérifiées grâce au PHPP tandis que l'impact carbone pourra être vérifié avec Pléiades et l'outil ACV.

3.1.4.3 Superstructure et maçonnerie

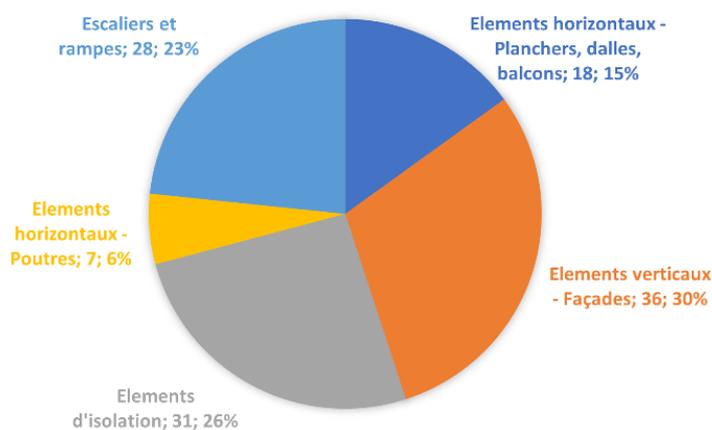


Figure 27: Répartition des émissions carbone du lot superstructure

Ce graphe (Figure 27) montre que ce sont les éléments verticaux de façades qui ont le plus d'impact (30% du lot), et les éléments d'isolation (26%). Ces résultats ne sont pas étonnants : les éléments verticaux correspondent aux murs en béton du vide sanitaire, quant aux isolants, le détail est ci-dessous (Figure 28) :

31 Fenêtre triple vitrage en PVC - DONNEE ENVIRONNEMENTALE PAR DEFAUT (v.1.2) ; Base INIES, 2022 : <https://base-inies.fr/infos-produit/32090>

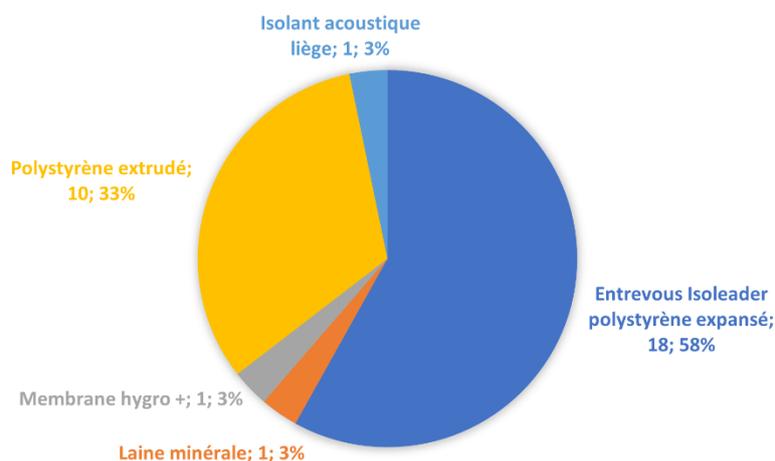


Figure 28: Répartition de l'impact carbone des différents isolants

Les isolants biosourcés ne sont pas représentés puisque leur impact carbone est positif avec les données utilisées pour cette simulation : ils stockent le carbone et permettent donc de contre-balancer en partie les forts impacts des isolants non biosourcés. Les isolants aux plus forts impacts (représentant 59% et 32% du sous-lot isolant) sont deux types de polystyrènes servant à isoler la dalle. C'est leur phase de production qui leur vaut une aussi mauvaise ACV. De plus, leur recyclage ou réemploi est très compliqué. Il sera intéressant différentes variantes de compositions de parois, afin de se rendre compte du poids du biosourcé dans l'impact carbone global.

3.1.4.4 Réseaux d'énergie (courant fort)

Le lot 10 comme le lot 11 sont des lots forfaitaires en RE2020. Ils sont censés soit être renseignés à 100% par des données conventionnelles, soit à 100% par des fiches individuelles détaillant les composants. Ce n'est pas le cas de ce lot : si 88% de composants font l'objet de données conventionnelles et sont donc non modifiables, 12% sont aussi des données environnementales (trois fiches). Il s'agit à priori d'une erreur de réalisation de l'ACV sur ce lot, impactant ce lot de 13 kg eq CO₂/m² supplémentaires.

3.1.5 Correction ACV

Suite à l'analyse des lots les plus émetteurs sur le projet, deux erreurs ont été relevées. La première est l'utilisation d'une donnée par défaut pour le triple vitrage alors que la fiche FDES individuelle du composant existe dans la base INIES. En utilisant une donnée par défaut, le triple vitrage a un impact de 61.6 kg eq CO₂/m². En utilisant la fiche individuelle du fabricant (marque Saint-Gobain, modèle CLIMATOP), l'impact passe à 14.6 kg eq CO₂/m². La seconde erreur est le renseignement de données par défaut dans le lot 10, appartenant en réalité au lot 11 (télécommunication). Ces données par défaut sont dans tous les cas en trop dans l'ACV puisque ces lots ont été renseignés comme forfaitaires. En supprimant ces données, l'impact de ce lot passe de 111 à 98 kg eq CO₂/m². Au final, les résultats RE2020 sont les suivants (Figure 29) :

Bbio (pts)	Cep (kWhEp/m ² .an)	Cep nr (kWhEp/m ² .an)	DH (°C.h)	Ic énergie (kg eq CO ₂ /m ²)	Ic construction (kg eq CO ₂ /m ²)
✓ 34.6 / 73.4	✓ 55.1 / 77.0	✓ 55.1 / 56.4		✓ 64.8 / 162.2	✓ 643.9 / 669.6
34.6 / 73.4	55.1 / 77.0	55.1 / 56.4		64.8 / 162.2	643.9 / 669.6
34.6 / 73.4	63.9 / 77.0		✓ 325.1 / 1250.0		

Figure 29: résultats Pléiades sur les indicateurs RE2020 après correction du projet

Ic_construction baisse à 643.9 kg eq CO₂/m², le projet est donc réglementaire au seuil 2022. Il ne passe en outre pas le seuil 2025, mais s'en rapproche : celui-ci est fixé à 622.8 kg eq CO₂/m².

Remarque : En modifiant la fiche INIES du triple vitrage, l'impact carbone lié aux données par défaut baisse (- 4% de DED sur le projet). Cela a une conséquence sur l'exigence $Ic_{\text{construction}}$: la valeur seuil diminue elle aussi, passant de 692 à 669.6 kg eq CO₂/m². En fait, les différents seuils d'exigences RE2020 sont pondérés par des modulateurs [32]. L'un de ces modulateurs : Mi_{DED} est spécifique au poids des données environnementales par défaut du projet. Il accompagne les échelons RE2020 : jusqu'en 2024, il intervient comme un bonus en étant ajouté au seuil $Ic_{\text{construction_max_moyen}}$. Par conséquent, quand le projet a *plus* d'impact DED, le seuil augmente, et inversement. Avec cette variante, l'impact DED diminue car une fiche par défaut est remplacée par une fiche individuelle, le seuil diminue donc aussi [33]. Cette variation de la valeur seuil sur $Ic_{\text{construction}}$ sera présente sur le reste des variantes ci-dessous.

3.2 Propositions de variantes

Suite à ce travail d'analyse, plusieurs propositions de variantes sont déjà envisageables parmi les lots ayant un fort impact carbone dans le projet initial. Une variante sera étudiée par lot fortement émetteur de CO₂ : panneaux photovoltaïques, vitrages et composition des parois. Le point de départ de ces variantes est le projet avec l'ACV corrigée, dont l'indicateur $Ic_{\text{construction}}$ est à 643.9 kg eq CO₂/m². Le but de ces variantes est de chercher à abaisser encore ce score afin de comprendre comment atteindre des seuils RE2020 plus ambitieux.

3.2.1 Variante sur les panneaux photovoltaïques

L'étude du lot 13 de production locale d'électricité a montré que les modules photovoltaïques ont un fort impact CO₂. La base INIES propose des modules présentés comme bas-carbone. Etudions si sur ce type de solution permet de réellement diminuer les émissions de CO₂ du projet. L'impact des modules photovoltaïques utilisés dans le projet initial est de 158.3 kg eq CO₂/m². Le score CO₂ des modules photovoltaïques V-SYS bas-carbone de la base de données INIES est de 34.6 kg eq CO₂/m². Leur impact est donc divisé par plus de 4. Au total sur le lot 13, les émissions passent de 178 kg eq CO₂/m² à 54 kg eq CO₂/m², ce qui **fait baisser l'indicateur $Ic_{\text{construction}}$ de 643.9 à 588.7 kg eq CO₂/m²**. Si l'impact carbone total du projet réduit de plus de 55.2 kg eq CO₂/m² ce qui n'est pas négligeable pour l'empreinte environnementale du bâtiment, le seuil 2025 (abaissé à 555.5) n'est pas atteint.

Tableau 13: Synthèse de l'impact carbone du projet initial et de la variante sur le lot 13

	Unité	Projet initial	Variante bas-carbone
Impact CO ₂ du module	kg eq CO ₂ /m ²	158.3	34.6
Impact CO ₂ du lot 13	kg eq CO ₂ /m ²	178	54
$Ic_{\text{construction}}$ final	kg eq CO ₂ /m ²	643.9/669.6	588.7/657.5

3.2.2 Variante sur les vitrages

L'analyse de l'impact CO₂ sur le lot 6 Façades et menuiseries a montré que les triples vitrages sont en grande partie responsables du score important sur cette partie du projet. Regardons la différence de performances entre un double et triple vitrage. Le triple vitrage utilisé et rentré dans le PHPP est un verre de la marque Saint Gobain, modèle CLIMATOP ECLAZ. Son équivalent de même marque en double vitrage est décrit dans le tableau ci-dessous (Tableau 14) [34] :

Tableau 14: Composition du triple vitrage du projet et du double vitrage proposé en variante

	Double Vitrage CLIMAPLUS ECLAZ	Triple Vitrage CLIMATOP ECLAZ
Composition du vitrage		

32 Voir Annexe : Exigences RE2020.

33 Données par défaut et modulation des seuils : un gage de qualité de l'ACV ? ; Vizcab Campus, 2022 : <https://blog.vizcab.io/fr/donnees-par-defaut>

34 CLIMAPLUS – CLIMATOP ; Saint-Gobain, 2025 : <https://www.saint-gobain-glass.fr/fr/produits/climaplus-climatop#performances>

Verre 1	PLANICLEAR 4 mm	ECLAZ 4 mm
Intercalaire 1	Argon 90% 16 mm	Argon 90% 18 mm
Verre 2	ECLAZ LUMI 4 mm	PLANICLEAR 4 mm
Intercalaire 2		Argon 90% 18 mm
Verre 3		ECLAZ LUMI 4 mm
Facteur solaire g [-]	0.71	0.6
Transmission thermique Ug [W/(m2.K)]	1.1	0.525

Le coefficient Ug mesure la déperdition thermique du vitrage (sans les menuiseries). Celui du double vitrage est deux fois plus élevé que celui du triple vitrage, les pertes sont donc plus importantes. Le facteur solaire, qui détermine la part de rayonnement solaire transmis par le vitrage, est aussi plus élevé pour le double vitrage que le triple. Une valeur élevée reflète une plus grande transmission solaire par le vitrage, ce qui est favorable en période hivernale, car procure des apports gratuits, mais peut être à l'origine de plus de surchauffe en été. Le triple vitrage est donc à préconiser pour gérer le confort d'été. En rentrant les caractéristiques de ce double vitrage dans le PHPP à la place de celles du triple, les résultats sont les suivants (Tableau 15) :

Tableau 15: Comparaison des résultats PHPP en projet initial et variante avec double vitrage

Critères de validation du label PassivHaus					
	Unité	Projet	VARIANTE DV	Valeur seuil	Validation du seuil
Surface au sol SRE	m2	122,2	122,2	-	-
Demande de chauffage	[kWh/(m2.a)]	11,3	13,50	15	OUI
Puissance de chauffage	[W/m2]	10,3	11,9	10	NON
Etanchéité à l'air critère n50	[l/h]	0,3	0,3	0,6	OUI
Demande en énergie primaire	[kWh/(m2.a)]	70	71	120	OUI
Demande en énergie primaire renouvelable	[kWh/(m2.a)]	32,7	33,3	60	OUI
fréquence de surchauffe	%	1,06	1,17	10	OUI

Les seuils restent respectés malgré l'augmentation des valeurs des différents critères. La demande de chauffage augmente de 2 kWh/(m2.a) ce qui est significatif. La fréquence de surchauffe augmente aussi légèrement, ce qui corrobore l'analyse des facteurs solaires des deux solutions. Le triple vitrage a donc bel et bien un impact positif non négligeable sur les performances énergétiques du bâtiment. Le réel enjeu de ce composant est son analyse de cycle de vie. En effet, en utilisant la fiche FDES du double vitrage CLIMAPLUS à la place de celle du triple dans Pléiades, **le score CO2 des vitres passe de 14.6 à 9.8 kg eq CO2/m2**. Pour le lot façades et menuiseries, l'impact CO2 descend donc de 110 à 105 kg eq CO2/m2, pour obtenir **un indicateur Ic_construction de 639 au lieu de 643.9 kg eq CO2/m2**. Le score baisse, mais de peu et ne permet pas de valider les futurs seuils RE2020 (2025, 2028, 2031). Il semble que les performances énergétiques priment donc sur cette légère dégradation de l'impact CO2 que provoque l'utilisation de triple vitrage.

Tableau 16: Synthèse des résultats de l'impact CO2 des deux solutions

	Unité	Projet initial	Variante double vitrage
Impact CO2 du vitrage	kg eq CO2/m2	14.6	9.8
Impact CO2 du lot 6	kg eq CO2/m2	110	105
Ic_construction final	kg eq CO2/m2	643.9/669.6	639/669.6

3.2.3 Variantes sur les compositions de parois

La composition des parois du projet est intéressante : elle démontre une pratique réaliste de l'utilisation de biosourcé dans le bâtiment, se traduisant par le choix des biosourcés en façade et en partie en toiture, mais aussi

en optant pour des matériaux moins vertueux pour l'environnement, mais moins chers, dans les dalles par exemple, de manière à faire baisser les prix. Focalisons-nous ici sur les systèmes d'isolations, dont les composants non biosourcés (polystyrènes et laine de verre) impactent le plus le lot 3 de superstructure du bâti. Envisageons deux variantes : une pour laquelle le projet est construit avec seulement des isolants biosourcés, et l'autre avec des parois non biosourcés (péto-sourcés ou minéraux).

3.2.3.1 Variante 100% isolants biosourcés

Dans le projet initial, des isolants non biosourcés sont utilisés en dalle de sol, en toiture sous combles et sur le mur du vide sanitaire. Cette variante analyse pourquoi ces choix ont été faits et quel matériau biosourcé peut les remplacer.

- Isolation de la dalle de sol

La composition de la dalle de sol d'origine est composée de polystyrène extrudé et expansé entre poutrelles béton. Le détail de composition est développé en annexe. Le polystyrène est utilisé en tant qu'isolant thermique, en support de chape et protège de l'humidité en agissant comme barrière contre les remontées capillaires. L'isolant choisi pour le remplacer est le panneau de liège, pour sa qualité imputrescible, ce qui permet son usage en zone humide comme une dalle de sol ou un vide sanitaire [35]. Le polystyrène expansé quant à lui est compris en partie entre des poutrelles béton, et en dessous de celles-ci. Le liège vient ici aussi remplacer le matériau non biosourcé, avec un autre panneau de liège en dessous (Tableau 17).

Tableau 17: Remplacement de l'isolant non biosourcé en dalle de sol

Isolant initial non biosourcé	Isolant biosourcé de remplacement
Polystyrène extrudé	Liège en panneaux
Polystyrène expansé entre poutrelles	Liège en vrac

Remarque : Afin de garder les mêmes propriétés thermiques que la dalle d'origine pour ne pas modifier les performances énergétiques du bâtiment passif, les épaisseurs d'isolant devront varier. Le polystyrène extrudé est de 9 cm en dessous de la chape, et de conductivité 0,03 W/m.K [36]. Sa résistance thermique est donc de :

$$R = \frac{e}{\lambda} = \frac{0.09}{0.03} = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

La conductivité du liège en panneaux a un ordre de grandeur de 0.04 W/m.K. Afin de garder une résistance thermique équivalente au projet initial, l'épaisseur de l'isolant devient :

$$E = R * \lambda = 3 * 0.04 = 0.12 = 12 \text{ cm.}$$

Le choix du liège par rapport à du polystyrène extrudé rajoute 3 cm de matière, ce qui n'est pas négligeable et donc nécessaire à prendre en compte dans le cadre d'un changement réel sur un projet. Cette valeur est cependant approximative puisque la conductivité précise du liège varie en fonction du fabricant.

- Isolation du mur du vide sanitaire

Les vides sanitaires ne sont généralement pas isolés. Ici, une faible épaisseur d'isolant recouvre les murs afin d'éviter les ponts thermiques. Cela montre l'attention des maisons passives sur cet enjeu, dont le poids est énorme dans les dépenses énergétiques d'un bâtiment. Le mur est composé de béton et de 8cm de polystyrène expansé. La composition est détaillée en annexe. Pour un mur en parpaing béton sur vide sanitaire donc propice à l'humidité, le matériau biosourcé préconisé reste ici aussi le panneau de liège, pour ses mêmes vertus qu'en dalle de sol.

Tableau 18: Remplacement de l'isolant non biosourcé sur vide sanitaire

Isolant initial non biosourcé	Isolant biosourcé de remplacement
Polystyrène expansé	Liège en panneaux

35 Fiche isolants géo et biosourcés - Liège en panneau et en vrac ; Envirobat Grand-Est, 2025.

36 Toutes les données du projet d'origine sortent du PHPP.

- Isolation de la toiture

La toiture est en charpente bois isolée en grande partie en ouate de cellulose. Une faible part de l'isolation sous combles est effectuée en laine minérale, dû à une erreur de chiffrage du charpentier. La laine minérale est donc ici remplacée par de la ouate (comme sur le reste de la toiture), un matériau biosourcé intéressant en toiture pour ses capacités d'isolation thermiques et acoustiques, hygroscopiques, et pour sa facilité de mise en œuvre en combles en étant insufflée en caissons ou soufflée en vrac.

Tableau 19: Remplacement de l'isolant non biosourcé sous les combles

Isolant initial non biosourcé	Isolant biosourcé de remplacement
Laine minérale	Ouate de cellulose

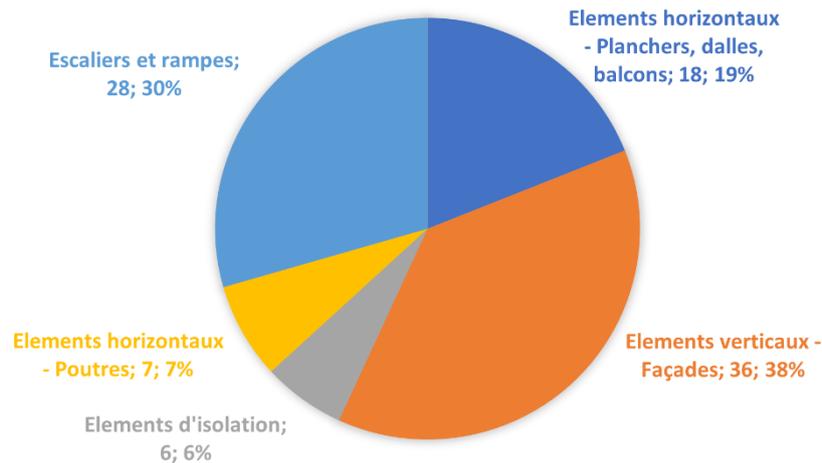


Figure 30: Répartition de l'impact carbone des isolants biosourcés

En remplaçant les isolants non biosourcés dans Pléiades par les fiches FDES correspondantes à leurs variantes biosourcées détaillées ci-dessus, l'impact CO₂ du sous-lot isolation passe de 31 kg eq CO₂/m² à 6 kg eq CO₂/m². **L'indicateur Ic_construction baisse aussi, passant de 643.9/669.6 à 617.3/666.9 kg eq CO₂/m², ce qui permet de valider le seuil RE2025, fixé à 621.1.** L'indicateur stock C s'élève aussi maintenant à 74.6 kg eq C/m² au lieu de 72.9. Le projet initial était déjà au seuil le plus favorable du label Bâtiment Biosourcé, cette valeur permet simplement de vérifier qu'avec un plus fort taux de matériaux biosourcés dans la construction, la quantité de carbone biogénique stockée augmente aussi. Les fiches du polystyrène expansé étaient une déclaration individuelle, et celle du polystyrène extrudé une donnée par défaut. Aucune fiche individuelle n'a été trouvée pour les panneaux de liège, c'est donc une donnée par défaut que les remplace. La fiche de la ouate de cellulose est une fiche individuelle du même fabricant que celle utilisée pour la ouate de cellulose des murs. Les choix étant effectués pour garder les mêmes résistances thermiques sur les différentes solutions, les résultats de performances énergétiques restent inchangés, le calcul sous PHPP n'est donc pas nécessaire, c'est l'impact sur les émissions de CO₂ qui est ici étudié.

3.2.3.2 Variante défavorable : projet non biosourcé

Quel est l'impact carbone de ce projet si celui-ci est constitué de matériaux non-biosourcés ? Quelle est la conséquence sur l'indicateur Ic_construction ? Afin de répondre à ces questions, une variante de composition des murs extérieurs est proposée, suivant les principes constructifs les plus fréquemment retrouvés en construction passive non biosourcée [37]. La ouate de cellulose utilisée dans les plafonds suspendus est aussi remplacée par du polystyrène expansé. Ces hypothèses sont formées sur les données extraites des statistiques de la base de données de l'institut PassivHaus. La composition initiale du mur en ossature bois et isolée par de la ouate de cellulose est détaillée en annexe. Le mur proposé pour une variante non biosourcée est quant à lui en structure béton, avec une isolation par l'extérieur en polystyrène expansé. Le détail de sa composition est ci-dessous (Figure 31) :

37 Sur base des projets recensés de l'institut PassivHaus.

Composants	T	cm	kg/m ³	λ	R	Extérieur
Mortiers ciment ou chaux (750 < ρ ≤ 1000)	↕	2.000	18	0.4	0.05	↓ Intérieur
Polyuréthane	↕	5.5	2	0.03	1.83	
Polystyrène expansé	↕	26.5	7	0.039	6.79	
Parpaing de 20	↕	20.00	260	1.053	0.19	
Placoplatre BA 13	↕	1.30	11	0.325	0.04	
Total		55.3	298		8.9	

Figure 31: Extrait Pléiades _composition du mur extérieur pour variante non biosourcé

Le but ici est de garder les mêmes propriétés thermiques, afin de ne pas faire varier les performances énergétiques : la résistance thermique du mur est donc aussi ramenée à 9 m².K/W, et le projet reste passif. Les variables changeant dans le module ACV de Pléiades sont les suivantes :

- Lot 3.3 : Eléments verticaux : Ajout de 190 m² [38] de murs en parpaing de 20 cm, et suppression des éléments verticaux de l'ossature bois des murs initiaux.
- Lot 3.7 : Eléments d'isolation : Remplacement de l'isolant Biofib pour les vides techniques (murs et toiture) par du polyuréthane ; Remplacement de la ouate de cellulose par du polystyrène expansé (murs et toiture).
- Lot 6.1 : Revêtement extérieur : Remplacement de l'enduit sur isolation ETICS par du mortier ciment.
- Lot 7.2 : Revêtement intérieur : Remplacement de l'enduit artisanal terre-crue non stabilisée par du plâtre.

Quelques éléments biosourcés sont conservés : l'escalier en bois (lot 3), la charpente de toiture (lot 4), et le parquet en bois (lot7) : ces éléments sont conservés dans leur matériau d'origine car ils sont jugés comme fréquemment utilisés dans ce matériau, et reflètent la réalité d'un projet. L'impact principal de ces modifications est sur le lot 3 : Superstructure et Maçonnerie (Figure 32) :

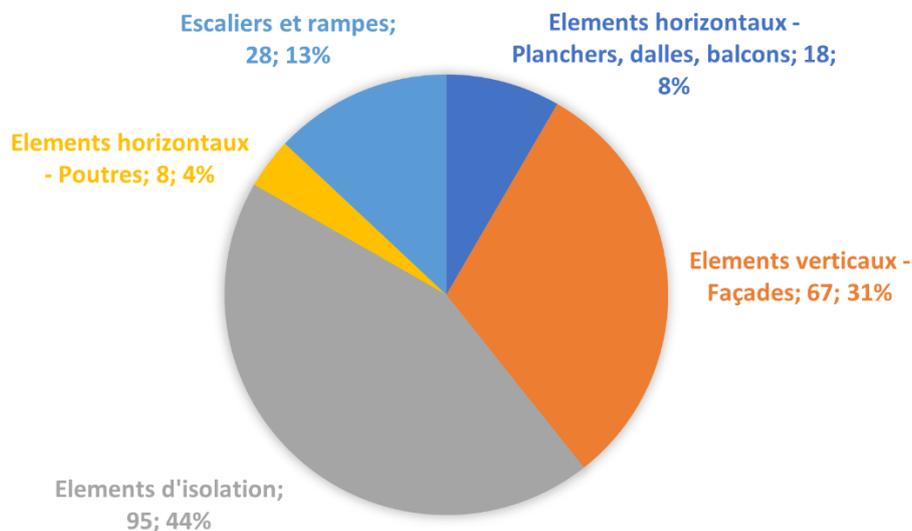


Figure 32: Répartition des émissions CO2 du lot superstructure et maçonnerie

Sa valeur carbone double presque, passant de 120 à **216 kg eq CO2/m²**. Les éléments d'isolation, sans surprise, sont les plus impactant, causant 44 % des émissions. Au global sur le projet, les émissions passent de 813 à 911 kg eq CO2/m², soit une **augmentation de 10,7% sur le score carbone**.

38 Cette quantité est estimée par la modélisation simplifiée de l'enveloppe du projet sur le logiciel SketchUp, permettant d'identifier les surfaces des murs extérieurs, et confirmée par le PHPP. Image du modèle en annexe.

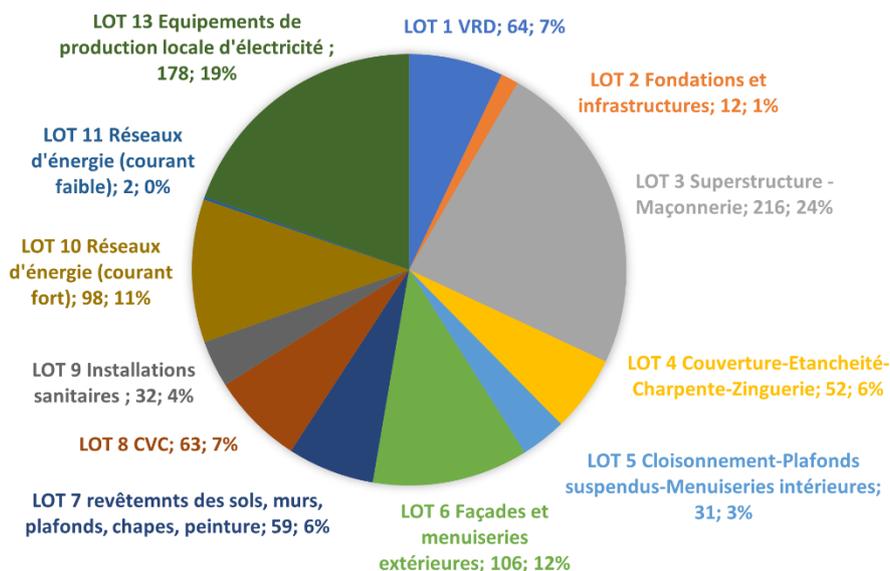


Figure 33: Répartition des émissions CO2 sur tous les lots du projet

Les lots les plus émetteurs restent les mêmes que pour le projet initial, mais le lot 3 prend une plus grande part, passant de 15% à 24% des émissions totales du projet. En conséquence, **le score Ic_construction passe à 797.1/675.3 kg eq CO2/m2, largement supérieur au seuil RE2022. Avec cette variante, le projet n'est pas réglementaire.** La variante de composition des parois en matériaux non biosourcés fait augmenter de plus de 100 kg eq CO2/m2 l'indicateur Ic_construction, qui passe de 643.9 à 797.1 kg eq CO2/m2. Les matériaux biosourcés ont donc un fort impact sur cet indicateur. En regardant le score de stock C, nous remarquons cependant que sa valeur atteint tout de même 27.5 kg eq C/m2, permettant d'atteindre la valeur seuil du niveau 2 du label Bâtiment biosourcé (plafonné à un minimum de 25), et ce, grâce à la construction de la toiture en charpente bois, du parquet et des escaliers intérieurs en bois également. Cependant l'exigence de mixité d'usage du niveau 2 n'est pas validée, car aucun de ces trois composants ne remplit la fonction d'isolation. Le projet valide ainsi le niveau 1, qui ne nécessite pas l'utilisation d'isolant biosourcé.

3.2.4 Variante sur les données environnementales par défaut

Même après la première correction ACV, la valeur de l'indicateur Ic_construction du projet initial paraît assez élevée pour un projet conçu pour être passif et en majorité biosourcé. Cherchons à comprendre pourquoi.

L'observatoire recense 2659 projets de maisons individuelles ou accolées en zone climatique H1b (dont fait partie Ottersthal, où se situe le projet). Sur ces 2659 projets, l'indicateur Ic_construction est de 605.88/660.39 kg eq CO2/m2. En comparaison, **la valeur sur le projet est de 643.9/669.6 kg eq CO2/m2.** Le projet a donc un impact CO2 de 6% plus élevé que la moyenne sur les projets de l'observatoire. L'observatoire comptabilise seulement 13 projets de maisons individuelles en zone H1b en structure bois et isolation biosourcée (ouate de cellulose ou laine de bois). Sur ces 13 projets, **la moyenne de Ic_construction est encore plus faible : 524.09/694.43 kg eq/CO2. L'écart relatif entre la valeur statistique et celle du projet se creuse à 23% !**

Tableau 20: Comparaison du score Ic_DED du projet avec la moyenne des maisons individuelles H1b

Ic_construction projet [kg eq CO2/m2]	Ic_construction moyen pour une maison individuelle en zone H1b en bois&biosourcés [kg eq CO2/m2]	Ecart relatif entre les deux valeurs [%]
643.9/669.6	524.09/694.43	23%

Comment expliquer cela ? L'analyse ACV globale du projet a montré une prépondérance de l'utilisation des données par défaut par rapport à celles de fiches FDES individuelles ou collectives. Or l'utilisation de DED (données environnementales par défaut) est très pénalisante par rapport à celle de fiches individuelles. Les Pouvoirs Publics

tentent ainsi d'inciter les industriels ou leurs syndicats professionnels à produire au plus vite de « vraies » FDES et PEP. Selon un article de Batirama sur le calcul environnemental RE2020 : « La généralisation des FDES individuelles devrait conduire à une réduction importante des impacts carbone et permettre de passer l'étape 2025-27 sans modifier vraiment les habitudes de construction. » [39] Cela confirmerait que c'est en grande partie l'utilisation de DED qui provoque des scores I_c constructions trop élevés. Etudions si c'est le cas pour ce projet.

3.2.4.1 Etude des coefficients de sécurité

Dans le projet, **410.3 kg eq CO₂/m² sont dus aux produits utilisant des DED, sur un total de 643.9 kg eq CO₂/m². Cela constitue 63% de l'impact total.** En revanche dans l'observatoire RE2020, sur les 2659 projets de maisons en zone H1b, la moyenne de cette valeur est de 231.23 kg eq CO₂/m², soit 38.35% de l'impact carbone d'un projet (mesuré à partir de la valeur moyenne de I_c construction). Le projet utilise 43 fiches DED sur un total de 81 fiches, 53% des données ACV sont donc des DED. Or en moyenne, un projet utilise 33 DED sur 103 fiches utilisées, soit 32.17% des données. Le projet utilise donc non seulement plus de DED que la moyenne, mais a aussi renseigné moins de fiches ACV au total. Il est important de remarquer que le pourcentage lié au *nombre* de DED est différent que celui lié à leur *impact carbone* sur le projet (respectivement 32.17 et 38.35% sur les moyennes de l'observatoire), car les données environnementales subissent des coefficients de sécurité qui ne sont pas les mêmes selon les composants : certains sont beaucoup plus défavorables que d'autres. A titre d'exemples, voici quelques composants renseignés par une donnée par défaut et dont l'impact est important sur le projet (Tableau 21):

Tableau 21: Impact des coefficients de sécurité sur les scores carbonés de produits par défaut dans la base INIES

Lot	Nom du composant	Impact carbone	Coefficient de sécurité appliqué à la DED	Impact carbone sans le coefficient de sécurité appliqué
		[kg eq CO ₂ /m ²]	[%]	[kg eq CO ₂ /m ²]
1	Cuve de stockage en béton	27.9	+ 30	21.5
1	Platelage en bois composite	17.5	+ 100	8.8
13	Module photovoltaïque	158.3	+ 30	121.8
13	Kit de fixation du module	19.4	+ 30	14.9
	TOTAL	223.1		167

La donnée sur le coefficient de sécurité est trouvée dans la documentation INIES de la donnée environnementale par défaut [40]. L'impact CO₂/m² sans le coefficient de sécurité appliqué est calculé ainsi :

$$\text{Impact carbone sans coefficient} = \frac{\text{Impact carbone}}{1 + \text{coefficient de sécurité}}$$

$$\text{Et Gain} = 223.1 - 167 = 56.1 \left[\text{kg eq} \frac{\text{CO}_2}{\text{m}^2} \right]$$

Ces cinq composants, dont l'impact carbone est de 223.1 kg eq CO₂/m² réunis, représentent 54 % de l'impact carbone lié aux DED du projet (qui est égal à 410.3 kg eq CO₂/m²). Leurs coefficients de sécurité font augmenter l'impact CO₂ de 56.1 kg eq CO₂/m². Le poids de ces coefficients de sécurité sur l'impact CO₂ est donc non négligeable, et peut grandement dégrader les valeurs ACV d'un produit.

3.2.4.2 Variante avec 100% de FDES individuelles

Un autre exercice théorique peut être effectué afin d'observer le poids des données environnementales par défaut : proposer une variante du projet en remplaçant les DED par des FDES individuelles correspondantes à un produit de

39 Le calcul environnemental dans la RE2020 ; Batirama, 2022 : <https://www.batirama.com/article/51093-le-calcul-environnemental-dans-la-re2020.html>

40 Cuve ou réservoir en béton [entre 3000 et 6000 L] - DONNEE ENVIRONNEMENTALE PAR DEFAUT (v.1.2) ; Base Inies, 2022 : <https://base-inies.fr/infos-produit/31794>

même catégorie. Les données d'entrée de chaque composant restent les mêmes : surfaces, dimensions, tailles et nombres dans le projet. Les seules caractéristiques modifiées sont les types de fiches rentrées dans le module ACV de Pléiades : chaque DED est remplacée si son équivalent FDES individuelle ou collective existe. Le détail du fichier RSEE de cette variante est en annexe, développant les fiches INIES pour chaque lot. Pour cette variante, neuf produits n'ont pas pu être remplacés car il n'existe pas d'équivalent dans la base INIES :

- LOT 1 : Cuve de stockage en béton
- LOT 3 : Escalier en pierres naturelles
- LOT 8 : Tuyau PER, collecteur, paroi pour conduit de ventilation, chauffe-eau
- LOT 9 : Parois douche acrylique, lavabo et évier en matériau de synthèse lot 9

Remarque : Les lot 8 et 9 (CVC et sanitaire) semblent proposer moins de fiches individuelles que d'autres lots. D'après une étude gouvernementale, le nombre des fiches FDES augmente chaque année, mais la part des fiches relatives aux équipements du bâtiment reste très faible. En 2024, sur 4 269 fiches dans la base INIES, 439 sont focalisées sur le génie climatique. Le lot 1 VRD est aussi peu renseigné, ce que nous avons aussi vu avec ce projet.

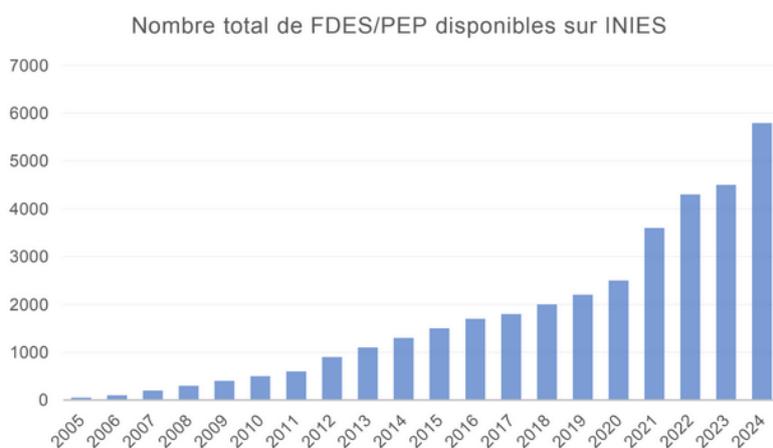


Figure 34: Nombre de fiches FDES dans la base INIES selon les années

Les données par défaut représentent 12% de l'impact carbone total de cette variante, contrairement au projet initial qui comptait 63% de son impact carbone par des DED (Figure 35) :

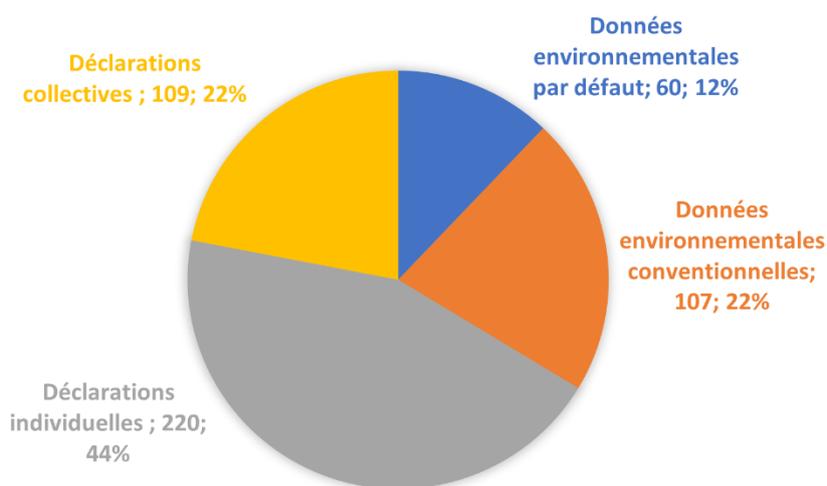


Figure 35: part des différents types de fiches INIES sur le projet

Avec cette variante, le projet réduit son impact CO₂, passant de 813 pour le projet initial, à 496 kg eq CO₂/m².

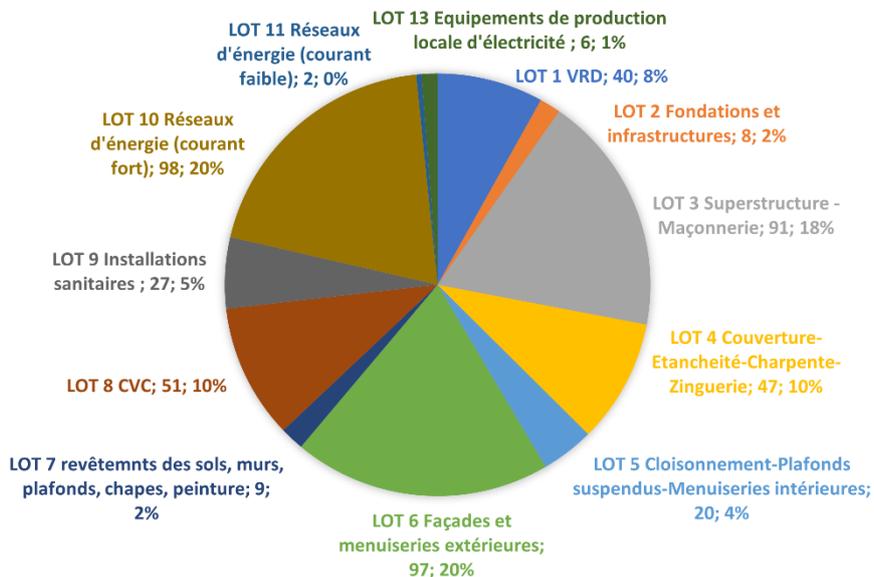


Figure 36: Part des différents lots dans l'impact carbone de la variante

Les lots les plus impactant sont toujours les mêmes : le lot 13 (panneaux photovoltaïques) et le lot 6 (Façades et menuiseries avec le triple vitrage) représentant chacun 20% des émissions du projet, et le lot 3 (Superstructure et isolants) qui représente 18% des émissions. **Le score Ic_construction baisse à 421.9/634 kg eq CO2/m2.**

Nom	Bbio (pts)	Cep (kWhEp/m².an)	Cep nr (kWhEp/m².an)	DH (°C.h)	Ic énergie (kg eq CO2/m²)	Ic construction (kg eq CO2/m²)
Batiment 1 (110 m²)	✓ 34.6 / 73.4	✓ 55.1 / 77.0	✓ 55.1 / 56.4		✓ 64.8 / 162.2	✓ 421.9 / 634.0
Z1	34.6 / 73.4	55.1 / 77.0	55.1 / 56.4		64.8 / 162.2	421.9 / 634.0
Groupe 1 (110 m²)	34.6 / 73.4	63.9 / 77.0		✓ 325.1 / 1250.0		

Figure 37: Résultats Pléiades sur la variante DED

Avec ce résultat, la variante est non seulement réglementaire, mais **valide jusqu'au seuil 2028** (dont l'exigence est à 475 kg eq CO2/m2). Le résultat **atteint presque le seuil 2031** de 417 kg eq CO2/m2. Pour atteindre ce seuil, il est possible d'envisager quelques modifications dans le projet. Par exemple, l'escalier extérieur en pierre peut être remplacé par un escalier en réemploi, dont l'impact carbone est nul. Avec ce changement, Ic_construction baisse à 412.5 kg eq CO2/m2, validant en effet le seuil 2031. Il est donc possible d'atteindre de tels seuils pour une maison passive et en grande partie biosourcée, si le projet optimise ses composants de manière à utiliser en majorité des fiches FDES individuelles et collectives.

Cependant, les statistiques de l'observatoire RE2020 ont montré que les projets ont en moyenne 38.35% d'impact CO2 du auxDED. Cette variante, avec 12%, ne reflète donc pas la réalité actuelle. Regardons quelle part minimale de DED faut-il atteindre sur ce projet, de manière à valider le seuil 2028, fixé à 475 kg eq CO2/m2. En travaillant par tâtonnement, deux variantes supplémentaires sont effectuées : l'une utilise pour ce même projet 24% de DED, l'autre 27%, encadrant ainsi l'exigence 2028 sur Ic_construction. Pour le premier résultat, le point de départ est la variante précédente atteignant un score Ic_construction de 421.9 kg eq CO2/m2 avec 12% de DED. A cette variante sont ajoutés 3 DED sur des produits initialement en DED du projet d'origine : le triple vitrage (lot 6), et deux isolants de façade (lot 3). En revenant à des données par défaut pour ces composants, le score Ic_construction est dégradé à 471.9 kg eq CO2/m2, dont 24% dus aux DED. Pour le second résultat, le point de départ est l'essai précédent, en rajoutant une autre donnée par défaut sur le plafond suspendu (lot 5). Le score Ic_construction passe à 482.9 kg eq CO2/m2, dont 27% dus aux DED. **Le seuil 2028 se trouve entre ces deux valeurs de Ic_construction : 471.9 < 475 < 482.9.** Nous pouvons donc en déduire que sur ce projet, **l'exigence 2028 est atteinte en ayant un impact CO2 de 24 à 27% relatif aux DED.** C'est un pourcentage qui paraît plus atteignable et réaliste que la variante théorique « extrême », dont l'impact dus aux DED n'était que de 12%. Selon les données de l'observatoire RE2020, sur l'échantillon de maisons individuelles en zone H1b, 109 projets (soit 4.1 % sur les 2659) sont conformes au seuil 2028. Sur ces 109 projets, le score Ic_ded baisse légèrement par rapport à la moyenne : 219.51 kg eq CO2/m2. En

revanche, leur score $lc_construction$ est lui bien plus bas, de 450.78 kg eq CO₂/m², ce qui induit un impact CO₂ dû aux DED bien plus important sur le ratio total, à 49.30 %. Ce résultat provient en fait du nombre de fiches ACV rentrées dans le moteur de calcul, qui est en moyenne deux fois moins élevé pour des projets conformes au seuil 2028. Proportionnellement, y a donc aussi beaucoup moins de fiches DED rentrées, et les projets ont un score $lc_construction$ plus bas. Il est compliqué d'établir des conclusions sur cet échantillon, le faible nombre de fiches ACV rentrées sur ces projets pourrait certainement provenir d'une étude ACV incomplète, et donc un score $lc_construction$ qui n'est pas représentatif. Le détail de cette étude est synthétisé dans le tableau ci-dessous (Tableau 22).

Tableau 22: Synthèse de l'impact DED sur les projets conformes au seuil 2028

Typologie des projets	Nombre de projets	Moyenne de ic_ded	Moyenne de $ic_construction$	Moyenne de % Impact DED	Moyenne de nb_ded_fdes	Moyenne de $nb_total_fiche_acv$	Moyenne de % nb DED
H1b	2659	231,23	605,88	38,35	32,60	102,62	32,17
Maison individuelle ou accolée	2659	231,23	605,88	38,35	32,60	102,62	32,17
CONFORME 2028	109	219,51	450,78	49,30	15,39	51,79	26,55
NON CONFORME 2028	2550	231,73	612,51	37,88	33,33	104,80	32,41
Total général	2659	231,23	605,88	38,35	32,60	102,62	32,17

3.3 Synthèse du projet et des variantes

3.3.1 Détail par lot de composants

En rentrant dans le détail par lots de composants, certains lots se détachent par leur impact carbone prépondérant sur le projet. Sur le lot 1 VRD par exemple, le projet a un $lc_composant$ de 68.96 kg eq CO₂/m² tandis que la valeur moyenne pour des maisons individuelles en zone H1b est de 21 kg eq CO₂/m². Cependant, encore une fois ce lot utilise à 96% des DED, ce qui pourrait expliquer cet écart. De plus, dans ce lot, le particulier a choisi d'utiliser un produit de stockage à très fort impact carbone (une cuve en béton). Enfin, les lots dont les valeurs s'éloignent le plus des valeurs moyennes sont les lots contenant les triples vitrages, volets roulants (lot 6) et panneaux photovoltaïques (lot 13) : ce sont donc ceux « spécifiques » aux projets passifs qui s'éloignent des données moyennes liées à des projets généralement plus classiques. Un tableau détaillant ce comparatif sur les indicateurs $lc_composant$ par lot est disponible en annexe.

3.3.2 Conclusion sur la valeur de $lc_construction$

Au final, l'explication la plus probable à la valeur très élevée du score $lc_construction$ est la part majoritaire des données environnementales par défaut dans le calcul ACV, ce qui dégrade les résultats. Ce constat souligne l'importance de développer davantage de fiches individuelles pour les matériaux émergents et de sensibiliser les acteurs du bâtiment à l'impact des données utilisées sur les résultats des analyses de cycle de vie. Cependant, produire des FDES contient une vérification par tierce partie : c'est un processus long et coûteux qui prendra certainement plusieurs années. Les objectifs RE2028 prônent l'utilisation principale de biosourcés et celle de fiches individuelles pour l'ACV. Ce sont des enjeux qui font sens par rapport aux statistiques observées comme aux résultats calculés sur la base du projet : les fiches FDES individuelles comme les biosourcés sont encore trop peu utilisés alors que leurs impacts sont significatifs sur les résultats ACV. Sur ce projet, augmenter le plus possible la part de biosourcés permet de passer le seuil 2025 tandis que l'augmentation de fiches FDES individuelles permet de passer le seuil 2028. Enfin, le graphique ci-dessous détaille la proportion des projets respectant les seuils $lc_construction$ en fonction des zones climatiques [41]. En zone H1b, la proportion des projets respectant les seuils est très faible, de 15% pour le seuil 2025. C'est la proportion la plus faible de toutes les zones climatiques

41 Observatoire de la RE2020 1.5.6 ; Gouvernement, 2025 : <https://re-batiment2020.cstb.fr/opee/respect-ic-construction/mi>

confondues. Il semble donc que les seuils $Ic_{\text{construction}}$ sont plus difficiles à atteindre dans cette zone. De nombreux facteurs peuvent rentrer en jeu : les conditions climatiques, mais aussi les acteurs et bureaux d'étude travaillant dans cette région, plus ou moins bien formés ou sensibilisés à ces enjeux.

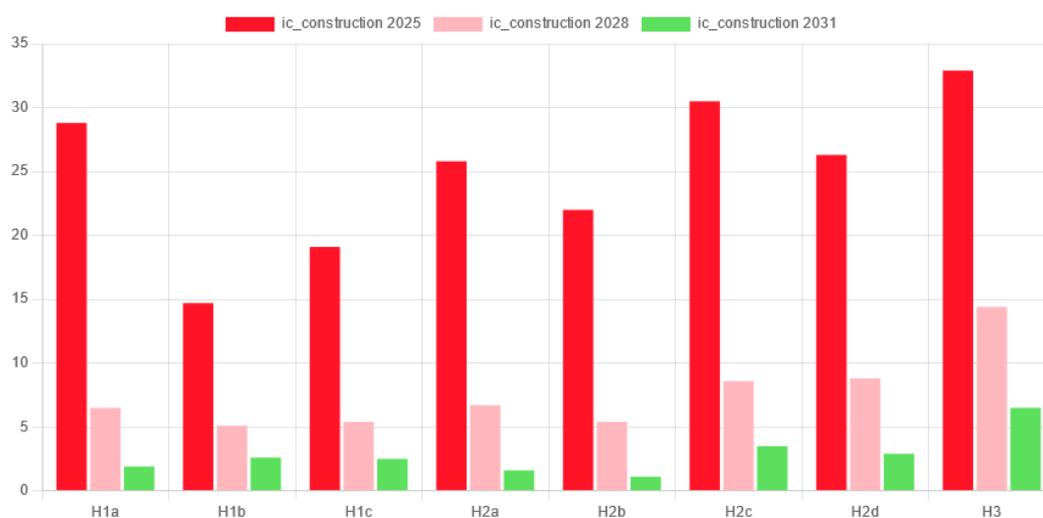


Figure 38: Graphique de la proportion (%) des bâtiments respectant les seuils $Ic_{\text{construction}}$ selon les zones climatiques

3.3.3 Comparaison avec un projet RE2020 non biosourcé

Afin de vérifier la cohérence de ces calculs et de ces conclusions sur les résultats RE2020 de ce projet, le récapitulatif du fichier RSEE d'un autre projet m'a été fourni. Le projet est confidentiel, cependant il est possible d'utiliser ses résultats à titre comparatif. C'est lui aussi une maison individuelle, pour 4 occupants et de 95 m². La zone climatique est la H2d dans le sud-ouest de la France, ce n'est donc pas la même. Les informations sur les matériaux de construction utilisés sont détaillées ci-dessous (Tableau 23):

Tableau 23: Composition structurelle du projet comparatif

Élément constructif	Matériau utilisé en structure	Matériau utilisé en isolation
Murs	Parpaing (béton)	PSE en ITI
Dalles	Béton	Polyuréthane en sous face
Toiture	Tôle bac acier (à deux pans)	Ouate de cellulose

Les menuiseries sont en double vitrage PVC avec volets roulants motorisés. En vue des matériaux choisis pour ce projet, le score stock C de carbone biogénique stocké devrait être bien inférieur à celui du projet étudié. Son score $Ic_{\text{construction}}$ est plus compliqué à présumer, la part des DED influençant énormément les résultats. Les résultats ACV comparés au projet étudié précédemment sont détaillés ci-dessous, dans un premier tableau de manière globale (Tableau 24) et dans un second par lot de composants (Tableau 25).

Tableau 24: Comparaison d'indicateurs carbone sur les deux projets

	Projet comparatif (non biosourcé)	Etude de cas (projet biosourcé)
$Ic_{\text{énergie}}$ [kg eq CO ₂ /m ²]	51.2/121.7	64.8/162
$Ic_{\text{construction}}$ [kg eq CO ₂ /m ²]	641.5/694.8	643.9/669.6
Ic_{DED} [kg eq CO ₂ /m ²]	256.6	410.3
Stock C [kg eq C/m ²]	11	72.9

Le gain (par rapport à l'exigence maximum) de ce projet comparatif sur $Ic_{\text{énergie}}$ est de 60% gain, tout comme sur l'étude de cas. Sur $Ic_{\text{construction}}$, si les deux projets sont réglementaires au seuil 2022, le projet non biosourcé a

un gain de 8% sur le seuil tandis que l'étude de cas biosourcée a un gain de 4%. Or un projet biosourcé devrait être plus performant sur son ACV qu'un projet non biosourcé. En revanche, le stock C de carbone biogénique est bel et bien inférieur à celui du projet biosourcé, et ne valide aucun niveau du label bâtiment biosourcé. C'est la valeur Ic_DED qui confirme nos conclusions précédentes et explique son meilleur score $Ic_construction$ par rapport à celui de l'étude de cas. 256.6 sur les 641.5 kg eq CO₂/m² du projet sont dus aux données par défaut, soit 40%. Ce projet est donc dans la moyenne haute de l'impact des DED sur un projet, mais reste tout de même inférieur à l'impact des DED de l'étude de cas (63%). En rentrant dans le détail du score $Ic_composant$ (les résultats sont en kg eq CO₂/m²) par lot, la comparaison entre les deux projets est la suivante (Tableau 25):

Tableau 25: Valeurs de $Ic_composant$ [kg eq CO₂/m²] pour chaque lot

	LOT 1	LOT 2	LOT 3	LOT 4	LOT 5	LOT 6	LOT 7	LOT 8	LOT 9	LOT 10	LOT 11	LOT 13
Etude de cas	68.96	12.86	109.93	57.24	31.19	116.22	53.35	66.38	37.76	112.09	2.26	90.1
Projet comparatif	8.3	53.7	145.3	35.2	37.1	58.8	45.5	118.1	19.8	98	2	0

En observant ce détail, les résultats sont cohérents avec l'analyse de l'étude de cas et les conclusions tirées de celle-ci. Le lot 1 VRD est beaucoup plus impactant dans le projet de référence, sûrement en raison de la cuve de stockage en béton qui a d'une part un fort impact CO₂, et d'autre part est référencée par une DED dans le projet. Cette explication est aussi valable pour le lot 6 menuiseries et façades. Dans l'étude de cas, les triples vitrages sont plus impactant que des doubles, et l'ajout de volets roulants augmente d'autant plus le score carbone. Enfin le lot 13 avec les photovoltaïques provoque un score carbone inévitablement plus élevé. En revanche, les lots 3, 4, 5 sur la superstructure, la toiture et l'isolation, ont des impacts plus faibles pour la solution biosourcée que pour celle non biosourcée, ce qui fait sens d'un point de vue ACV. Ce comparatif vient donc confirmer toutes les conclusions tirées précédemment, et montre qu'il est donc possible d'être réglementaire RE2022 pour un projet non vertueux environnementalement, si celui-ci optimise notamment ses fiches FDES.

3.3.4 Conclusion sur les autres exigences RE2020

Du point de vue des autres indicateurs RE2020, le projet étudié se place ainsi par rapport à la moyenne :

Tableau 26: comparatif des valeurs RE2020 du projet par rapport à la moyenne en maison individuelle H1b

	Bbio	Cep	Cep,nr	DH	$Ic_constru$	$Ic_énergie$
Unités	[points]	[kWh/(m ² .an)]	[kWh/(m ² .an)]	[°.h]	[kgeqCO ₂ /m ²]	[kgeqCO ₂ /m ²]
Moyenne pour maison individuelle zone H1b	70.55	49.74	47.95	382.93	605.88	62.07
Projet	34.6	55.1	55.1	325.1	643.9	64.8

Il apparaît que le projet a des valeurs plus élevées que la moyenne sur d'autres exigences. La seule exigence largement inférieure à la moyenne est le score Bbio. Pour rappel, le Bbio exprime par un nombre de points les besoins énergétiques du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage. La conception de l'enveloppe du bâtiment a un fort impact sur ce score : son orientation, la surface des baies, la compacité, perméabilité à l'air, isolation etc. Tous ces aspects étant le cœur et les fondations de la conception passive, il n'est pas étonnant que le projet soit aussi performant. A titre d'exemple, la maison a été conçue de manière à maximiser les surfaces de baies au sud, afin de profiter des apports solaires gratuits en été, tout en pensant à ombrer ces ouvertures grâce à des masques végétaux en été de manière à limiter la surchauffe [42]. De même, le coefficient DH est inférieur à la moyenne, le confort des occupants et la surchauffe du bâtiment étant des critères passifs. En revanche, $Ic_énergie$

42 Voir plans en annexe.

est plus élevée que la moyenne, tout comme les résultats sur Cep et Cep,nr. Ces coefficients, caractérisant les consommations d'énergie primaires et d'énergie primaires non renouvelables, incitent à réduire l'usage des énergies non renouvelables et à recourir davantage à des énergies renouvelables ou de récupération, en ne comptabilisant pas les consommations d'énergies renouvelables ou récupérées. Pour rappel, ce projet passif produit et consomme son énergie grâce à une PAC air/air, un ballon ECS avec un échangeur de chaleur et récupérateur sur eaux grises et des panneaux photovoltaïques et un VMC double flux. Au regard des statistiques de l'observatoire RE2020 sur des projets de maisons individuelles en zone H1b utilisant des PAC air/air comme systèmes de chauffage, les moyennes sont plus proches du projet étudié (Tableau 27) :

Tableau 27: Comparatif des valeurs RE2020 du projet par rapport à des projets utilisant le même système de chauffage

	Nb de projets recensés	Cep	Cep,nr	Ic_énergie
	[-]	[kWh/(m2.an)]	[kWh/(m2.an)]	[kg eq CO2/m2]
Moyenne des projets avec PAC air/air	286	53.4	53.4	67.21
Projet	-	55.1	55.1	64.8

Pour Cep et Cep,nr, les résultats sont tout de même toujours supérieurs sur le projet, tandis que la valeur Ic_énergie est inférieure à la moyenne. Le projet se situe cependant bien entre les valeurs min et max recensées sur ces trois indicateurs, ce qui l'inclue dans cet échantillon. La différence entre la moyenne générale sans spécification du système de chauffage utilisé et celles sur des projets utilisant des PAC air/air s'explique par la pénalisation qu'applique la RE2020 sur la consommation d'électricité. En effet la RE2020 applique un facteur de conversion entre électricité et énergie primaire traduisant la quantité d'énergie primaire nécessaire pour produire 1 kWh d'électricité livré au bâtiment [43]. La PAC air/air ainsi que la VMC double flux sont des systèmes consommant de l'électricité, et sont donc défavorisés par le calcul Cep par rapport à d'autres systèmes, comme les poêles à bois ou les PAC eau/eau par exemple. De plus, l'utilisation d'un ballon ECS électrique au lieu d'être thermodynamique pénalise les résultats, d'autant plus que celui-ci n'est pas certifié et a donc un coefficient de dégradation de ses performances. A titre comparatif, les valeurs moyennes de Cep et Cep,nr pour ces deux derniers systèmes sont (Tableau 28) :

Tableau 28: Comparatif des résultats Cep et Cep,nr moyens pour d'autres systèmes de chauffage

	Nb de projets recensés	Cep	Cep,nr
	[-]	[kWh/(m2.an)]	[kWh/(m2.an)]
Moyenne des projets avec PAC eau/eau	61	37.3	37.3
Moyenne des projets avec Poêle à bois	65	64.58	34.93

Les projets avec PAC eau/eau ont des résultats bien inférieurs, quant aux poêles à bois ils ont un Cep plus élevé mais un Cep,nr bien plus faibles. Il est donc possible par le calcul RE2020 qu'une maison moins performante sur le plan thermique soit plus valorisée par les exigences Cep et Cep,nr si celle-ci consomme moins d'électricité. Ce n'est pas le cas dans le fichier PHPP avec le calcul de consommation d'énergie, qui considère l'électricité en fonction de sa production renouvelable locale et de son utilisation finale avec le critère EPR (ou PER en anglais) : énergie primaire renouvelable.

3.3.5 Conclusions sur les tendances et principes constructifs

Au final, deux variantes s'imposent comme vertueuses pour l'environnement, et permettent d'atteindre un score

43 Présentation des bases de la réglementation environnementale 2020 ; Cerema, 2021 : https://www.cerema.fr/system/files/documents/2021/09/cerema210916_webinaire_re2020_energie_vf.pdf

Ic_construction respectant les futurs seuils RE2020 (2025, 2028 et 2031) : **l'utilisation d'isolants biosourcés** sur l'ensemble du projet permet de baisser le score de Ic_construction de 643.9 à 617.3 kg eq CO2/m2 et donc **d'atteindre le seuil 2025**. Cette utilisation a cependant un coût. Si ce n'était pas un frein à la construction, le tout biosourcé serait envisageable. Une analyse économique pourrait être envisagée de manière à quantifier cet écart entre matériaux biosourcés et non biosourcés. En réduisant à **moins de 27% l'impact des données environnementales par défaut, la limite basse du seuil 2028 est atteinte**. **La globalisation de fiches FDES individuelles sur l'ensemble de l'étude ACV** quant à elle permet d'atteindre un score Ic_construction de 421.9 kg eq CO2/m2, réglementaire 2028 et proche du seuil 2031. **L'utilisation de réemploi** permet de baisser encore cette valeur, en proposant par exemple d'utiliser des matériaux de réemploi pour l'escalier extérieur. Cette solution permet d'atteindre un Ic_construction de 412.5 kg eq CO2/m2, inférieur au **seuil 2031**. Les composants du projet initial les plus défavorables pour l'impact environnemental du bâtiment, à savoir les panneaux photovoltaïques et le triple vitrage (sans compter l'utilisation du béton en structure quand nécessaire : sous-bassement et dalle de sol), sont ceux permettant l'efficacité énergétique passive du bâtiment. En outre, les lots des composants relatifs à la conception passive ont un poids important dans l'impact carbone globale du bâtiment, et l'utilisation de systèmes énergétiques fréquemment utilisés en conception passive (VMC DF et PAC air/air) sont pénalisés sur les indicateurs Cep et Cep,nr en raison de la conversion entre énergie primaire et électricité. Ainsi, le constat est le suivant : la demande de chauffage et de refroidissement d'une maison individuelle passive est bien inférieure aux exigences RE2020. En revanche, le label est plus permissif sur l'utilisation de l'électricité, car son but est d'investir le maximum de ressources dans l'enveloppe, ce qui se traduit par une limitation des frais sur les systèmes et équipements techniques. Ceux-ci étant plus petits grâce à l'optimisation de l'enveloppe. Il est donc important de comprendre cette balance entre enjeux environnementaux et énergétiques et de choisir les systèmes et composants du projet de manière à respecter au mieux ces deux aspects. Il n'est pas possible de généraliser ce cas et les conclusions de ses résultats à l'ensemble des bâtiments passifs, car l'étude a montré que l'indicateur Ic_construction et des autres indicateurs RE2020 dépendent de multiples variables, et sont modulés par nombre de facteurs de pondération. Ce cas permet en outre d'apporter un exemple référence pour des maison individuelles passives, et de donner des éléments de comparaison et d'analyse pour d'autres projets de ce type.

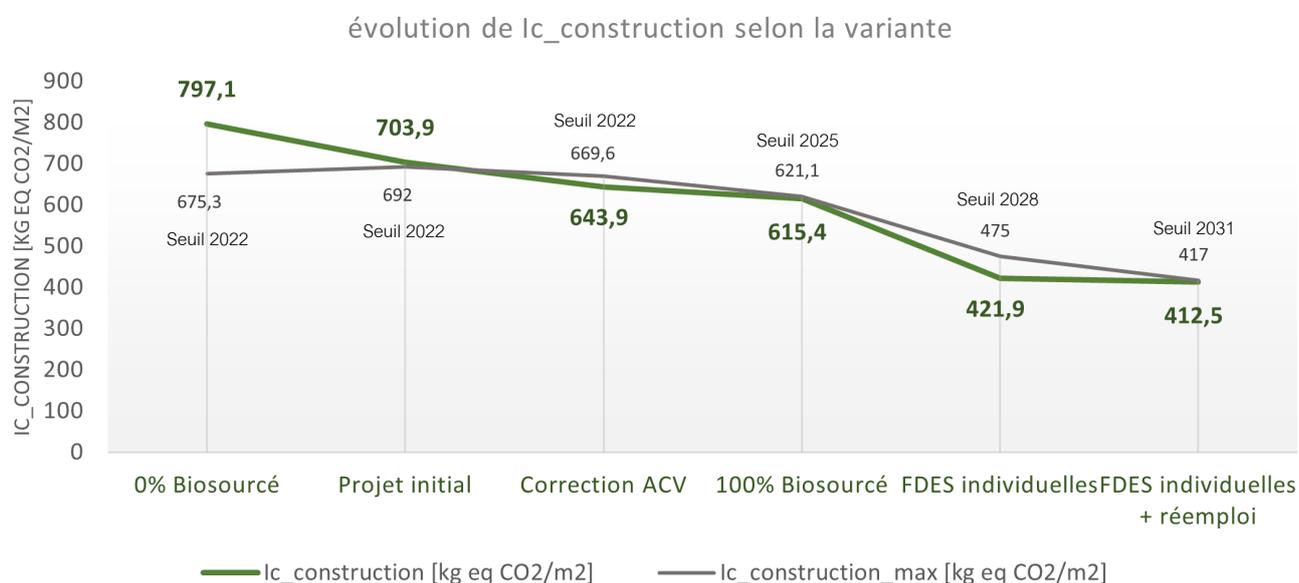


Figure 39: Synthèse des scores Ic_construction selon les variantes les plus impactantes

CONCLUSION

Selon la méthode de calcul proposée par la RE2020, les facteurs influençant majoritairement l'impact carbone des projets de construction neuve, et plus particulièrement les maisons individuelles sont : les matériaux de constructions (structure, fondations et isolation), les composants liés aux ouvertures dans la façade : vitrages et occultations, les systèmes de productions d'Énergie, notamment ceux utilisant de l'électricité. Parmi ces leviers, l'utilisation de matériaux biosourcés apparaît donc, entre autres solutions, comme une réponse efficace pour réduire l'empreinte carbone des bâtiments. Pourtant, leur emploi reste encore marginal dans les constructions réglementaires classiques, contrairement aux bâtiments passifs étudiés en région Grand Est, qui adoptent plus fréquemment une démarche globale vertueuse. Les bâtiments passifs présentaient des performances énergétiques nettement supérieures aux exigences de la RT2012, et sont toujours pionniers dans ce domaine même depuis la RE2020, avec une demande en chauffage et en refroidissement largement inférieure aux seuils fixés. Cela s'explique simplement : le label PassivHaus est un outil de conception et de dimensionnement, avec des critères à atteindre qui garantissent la qualité des performances énergétiques du bâtiment, tandis que les seuils réglementaires en tant que contrôle sur les projets, accompagnant graduellement une décarbonation et une sobriété énergétique future du parc bâti français.

Toutefois, l'approche passive peut rendre la validation de certains indicateurs RE2020 plus complexe que pour un projet « classique ». L'étude de cas a notamment montré que le respect des seuils Cep et Cep,nr nécessitait parfois l'ajout de systèmes ENR comme des panneaux photovoltaïques en quantité excessive pour contre balancer l'utilisation de systèmes électriques, au détriment du bilan carbone du projet. La RE2020, bien qu'orientée vers la réduction des émissions, peut ainsi se révéler contraignante pour certains bâtiments performants, en raison d'arbitrages complexes entre consommation énergétique et impact environnemental. Les labels de construction durable, quant à eux, apportent des outils de quantification complémentaires. Le label PassivHaus garantit une performance énergétique optimale mais ne prend pas en compte l'empreinte carbone des matériaux. À l'inverse, le label Bâtiment Biosourcé valorise l'intégration de matériaux à faible impact environnemental, bien qu'il ne considère que la phase de construction. Croiser ces approches apparaît alors comme une piste pertinente pour allier performance thermique et sobriété carbone. Plusieurs philosophies du passif coexistent. Certains concepteurs font le choix de matériaux non biosourcés en façade pour des raisons économiques ou techniques, démontrant que la performance énergétique peut être atteinte indépendamment d'une approche bas-carbone. Cependant, les tendances observées dans le Grand-Est montrent que la majorité des projets passifs étudiés intègrent une démarche globale vertueuse, privilégiant notamment le bois et les isolants biosourcés (même si ces résultats doivent être nuancés, car la base de données PassivHaus repose sur une déclaration volontaire et ne reflète pas nécessairement l'ensemble du marché).

Quelles sont les améliorations possibles ? D'une part, la mise à jour et l'enrichissement des fiches INIES permettraient une évaluation plus fine des performances carbone des matériaux et des systèmes. En parallèle de ce travail, un autre levier peut être soulevé : celui de la réversibilité des matériaux. La prise en compte de l'ACV dans la RE2020 permet d'évaluer les bénéfices et impacts d'un bâtiment au-delà de sa phase d'usage, notamment en intégrant son potentiel de réutilisation et de recyclage. La réversibilité des matériaux, qui pourrait jouer un rôle clé dans la réduction de l'empreinte environnementale, reste encore peu valorisée dans l'évaluation globale. Son influence sur les résultats des analyses ACV et sur les choix constructifs semble pour l'instant limitée. De plus, les seuils de carbone imposés par la RE2020 et le label Bâtiment Biosourcé posent la question d'éventuelles stratégies d'optimisation biaisée. Il existe un risque que certains projets cherchent à satisfaire les exigences en combinant de faibles quantités de matériaux biosourcés avec des matériaux fortement carbonés, sans modifier en profondeur les techniques constructives. Par exemple, l'ajout marginal de fibres de bois dans un béton très carboné pourrait permettre de répondre aux critères réglementaires sans réelle réduction de l'empreinte environnementale du projet. Enfin, à l'ère où l'on souhaite construire moins mais mieux, la rénovation est un pilier central de l'architecture durable et respectueuse de l'environnement. Alors que la RE2020 fixe de nouveaux objectifs pour le neuf, la réglementation sur la rénovation reste en marge. Une refonte des exigences et des incitations pour la rénovation du parc existant serait essentielle pour réduire l'empreinte carbone globale du secteur du bâtiment.

Prise de recul sur le stage et remerciements

Je tiens à remercier tout l'équipe STECCLA à la DREAL, qui m'a accueillie à bras ouverts, et m'a fait me sentir en confiance et incluse dans la dynamique de groupe dès le début du stage. Merci à tous pour votre bienveillance et pour les bons moments partagés au quotidien. Je remercie particulièrement Michel Hueber pour le suivi régulier tout le long du stage, pour les échanges et le temps pris pour m'aider sur ce vaste sujet qu'est la RE2020 ! Et je remercie évidemment Stéphane Guidat, pour les conseils, les connaissances apprises, pour avoir été aussi à l'écoute, et pour m'avoir permis de rencontrer autant de personnes aux métiers passionnants et motivants. Cela m'a fait découvrir ce petit monde qu'est le biosourcé dans le Grand-Est. Je suis profondément reconnaissante de tout ce que cela m'a apporté. Enfin je remercie toutes les personnes extérieures à la DREAL qui m'ont apporté leur aide et donné de leur temps : à la Région Grand-Est, la DHUP, au CSTB, Cerema, le collectif biosourcé ... Et encore une fois je remercie particulièrement Camille Sifferlen, pour l'accès à ce projet que j'ai pu décortiquer dans tous les sens, pour les connaissances prodiguées sur le label PassivHaus, et pour s'être montrée aussi disponible pendant ce travail.

J'ai trouvé ce stage extrêmement enrichissant, tant sur le plan humain, que sur les compétences acquises. Elles sont techniques : j'ai eu l'occasion de découvrir, étudier et comprendre dans le détail le sujet complexe qu'est la RE2020, mais aussi les labels, et plus particulièrement le label PassivHaus, sa méthode de calcul, ses philosophies et exigences. Ces connaissances me seront sans aucun doute utiles dans ma future vie professionnelle. J'ai aussi pu consolider mes compétences sur des logiciels comme Excel (les tableaux croisés dynamiques n'ont plus de secret pour moi grâce à Stéphane) mais aussi Pléiades, en découvrant notamment le module spécifique à la RE2020 et à l'ACV liée à celle-ci. Ce projet de fin d'étude m'a beaucoup appris sur le travail au sein d'une équipe, sur la prise d'initiative, l'autonomie mais aussi la collaboration avec d'autres personnes travaillant sur des sujets similaires ou croisés. Ce sont des aptitudes que l'on n'a pas réellement le temps de mettre en action de manière efficace ou durable lors de nos stages d'été, qui durent entre six à huit semaines. Ce stage, plus long, m'a en ce sens permis d'avoir une vraie première expérience professionnelle, même si cela se passe dans le contexte particulier et spécifique d'un projet de fin d'étude. J'ai trouvé ce stage bienvenu dans le déroulé de ma formation, à une période qui m'a permis de prendre du recul sur mes attentes de cette fin d'études à l'INSA. C'était pour moi une expérience extérieure à l'enceinte de l'école nécessaire avant d'attaquer le projet de fin d'étude d'architecture.

Cela m'a ouvert les yeux sur de nombreux sujets de société, d'architecture, d'urbanisme, d'ingénierie, et m'a montré que c'est un milieu très politisé. J'apprécie avoir effectué ce stage au sein d'une institution comme la DREAL plutôt qu'un bureau d'étude pour cet aspect, j'ai ainsi pu découvrir un autre prisme de l'ingénierie. La majorité des personnes que j'ai rencontrées sont engagées dans le combat pour l'écologie, pour une vi(II)e durable. Ce sont des valeurs que je partage et que je souhaite retrouver dans mon travail plus tard. Cela m'a donc aidé à comprendre ce vers quoi je me dirige comme profession, ou au moins comme domaine d'expertise.

Le sujet que j'ai étudié m'a réellement intéressée, j'ai aimé avoir le temps de travailler dessus en profondeur, et je pense que c'est une porte d'entrée à d'autres sujets : qu'en est-il de la rénovation, la réglementation française va-t-elle créer un cadre aussi détaillé pour ce secteur de la construction ? Des groupes de travail sont déjà en place pour améliorer la RE2020 d'ici 2030. Pourrait-on utiliser cette dynamique et l'exercer pour la rénovation ? L'étude montre que les maisons individuelles sont la quasi-totalité des constructions neuves en France. A l'ère ou la sobriété carbone et énergétique passe en premier lieu par la compacité des constructions et l'économie de matière, comment pouvons-nous agir pour changer cette tendance constructive individuelle ?

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Réduire l'impact carbone des bâtiments ; Cerema, 2024 : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/reduire-impact-carbone-batiments-mode-emploi-synthetique-du>
- [2], [7] Certification, label, réglementation, normes... Quelles différences ? ; NF-Habitat, 2022 : <https://www.nf-habitat.fr/actualites/certification-label-reglementation-normes-differences/>
- [3] FAQ 157 – Quelle est la date d'application de la RT existant globale ? ; Gouvernement – RT-RE-bâtiment, 2024 : <https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/157-quelle-est-la-date-d-application-de-la-rt-a402.html>
- [4] Guide RE2020-réglementation environnementale ; écologie.gouv, 2024: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/guide_re2020_version_janvier_2024.pdf
- [6], [9] Labels et certifications environnementales du bâtiment ; AICVF, 2021 : <https://aicvf.org/wp-content/uploads/2024/07/Dossier-Labels-certifications-environnementales-du-batiment.pdf>
- [8] La certification environnementale des bâtiments ; Prestaterre, ND : <https://www.prestaterre.eu/la-certification-des-batiments>
- [10] Tout savoir sur les labels et certifications dans l'immobilier ; AFEDIM, 2024 : <https://www.afedim.fr/fr/actualites-et-conseils/tout-savoir-sur-les-labels-et-certifications-dans-l-immobilier.html>
- [11] Guide des labels et certifications ; TALOEN, 2024 : https://resources.taloen.fr/resources/documents/818_OID_-_Guide_labels_et_certifications_2024_-_Version_complete.pdf
- [12] Site du PassivHaus Institut, PassivHaus Insitut, ND : <https://passivehouse.com/>
- [13], [15] Critères pour la labellisation Bâtiment passif, Enerphit et Base ; La Maison Du Passif, 2019 : <https://lamaisondupassif.fr/wp-content/uploads/2023/03/CriteresDeCertification-mai-2021.pdf>
- [14], Confort de l'occupant : <https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-d15/>
- [16] Principes et définition ; La Maison du Passif, ND, <https://lamaisondupassif.fr/le-passif-definition-principes/>
- [17], [25] Passive House Database ; PassivHaus Institut, ND : https://passivehouse-database.org/index.php?lang=en#s_c40cb3fd694ed7189c8ffecb15d7293e
- [18], [28] Nouveau Label « Bâtiment Biosourcé » applicable à partir du 1^{er} septembre 2024 ; Préfet de la région Normandie-DREAL Normandie, 2024 : <https://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/nouveau-label-batiment-biosource-2024-applicable-a-a5926.html>
- [19] Annexe III : Méthode de calcul détaillée « Th-BCE 2020 » ; développement-durable.gouv, 2021: https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/annexeiij_arrete_4_aout_2021_scenariosre2020_compressed.pdf
- [20] Comparatif entre le standard passif et RE2020, La Maison du passif, 2022 : <https://lamaisondupassif.fr/le-passif-comparatif-re2020/>
- [24] Espace consultation, Recherche d'un produit ; Base INIES, ND : <https://base-inies.fr/consultation/recherche-fdes>
- [29] Module photovoltaïque silicium monocristallin en surimposition [surface 5,38 m²] - DONNEE ENVIRONNEMENTALE PAR DEFAUT (v.1.3) ; Base INIES, 2024 : <https://base-inies.fr/infos-produit/40659>
- [30] Fenêtre triple vitrage en PVC - DONNEE ENVIRONNEMENTALE PAR DEFAUT (v.1.2) ; Base INIES, 2022 : <https://base-inies.fr/infos-produit/32090>
- [32] Données par défaut et modulation des seuils : un gage de qualité de l'ACV ? ; Vizcab Campus, 2022 : <https://blog.vizcab.io/fr/donnees-par-defaut>
- [33] CLIMAPLUS – CLIMATOP ; Saint-Gobain, 2025 : <https://www.saint-gobain-glass.fr/fr/produits/climaplus-climatop#performances>
- [34] Fiche isolants géo et biosourcés - Liège en panneau et en vrac ; Envirobat Grand-Est, 2025.
- [38] Le calcul environnemental dans la RE2020 ; Batirama, 2022 : <https://www.batirama.com/article/51093-le-calcul-environnemental-dans-la-re2020.html>
- [39] Cuve ou réservoir en béton [entre 3000 et 6000 L] - DONNEE ENVIRONNEMENTALE PAR DEFAUT (v.1.2) ; Base Inies, 2022 : <https://base-inies.fr/infos-produit/31794>
- [40] Observatoire de la RE2020 1.5.6 ; Gouvernement, 2025 : <https://re-batiment2020.cstb.fr/opee/respect-ic-construction/mi>
- [42] Présentation des bases de la réglementation environnementale 2020 ; Cerema, 2021 : https://www.cerema.fr/system/files/documents/2021/09/cerema210916_webinaire_re2020_energie_vf.pdf

LISTE DES DOCUMENTS ANNEXE

1. Démarche, ressources et acteurs impliqués
 - 1.1. Schémas de la démarche
 - 1.2. Tableau des réunions, formations et acteurs impliqués
2. Présentation du contexte du stage
 - 2.1. DREAL
 - 2.2. STECCCLA
 - 2.3. CBD
3. Exigences RE2020 et label Bâtiment Biosourcé
 - 3.1. Exigences RE2020
 - 3.2. Evolution de la RE2020 : pour aller plus loin : le Plan Bâtiment Durable
 - 3.3. Exigences label Bâtiment Biosourcé
4. Approfondissement du label PassivHaus
 - 4.1. Mise en oeuvre
 - 4.2. Périmètre d'étude
 - 4.3. Valeurs du passif et résultats
5. Evolution entre RT2012 et RE2020, et impact sur le label PassivHaus
 - 5.1. Différence entre RT2012 et RE2020
 - 5.2. Comparaison des critères RT 2012, RE2020 et passifs sur des projets réels
6. Détail sur des méthodes de calcul différentes spécifiques entre RE2020 et PassivHaus
 - 6.1. Surfaces de références PassivHaus et RE2020
 - 6.2. La méthode de calcul et contrôle de l'étanchéité à l'air
7. Le label BBCA
 - 7.1. Objectifs et critères
 - 7.2. Indicateurs du label
 - 7.3. Exigences du label
 - 7.4. Données d'entrée et processus de labellisation
8. Zones climatiques en France Métropolitaine
9. Origine et qualité des données utilisées pour les statistiques
 - 9.1. Observatoire RE2020
 - 9.2. Base de données PassivHaus
10. Démarche de nettoyage de la base de données de l'observatoire RE2020
 - 10.1. Méthode 1 : Suppression des valeurs aberrantes
 - 10.2. Méthode 2 : Suppression des valeurs extrêmes incohérentes
11. Etude des « Bâtiments Exemplaires Passifs » de la Région Grand-Est
 - 11.1. Généralités sur la base de données
 - 11.2. Tendances constructives
 - 11.3. Tendances des systèmes énergétiques
 - 11.4. Conclusion
12. Données sur le cas d'usage : maison individuelle passive biosourcée
 - 12.1. Plans, coupes, et volume du projet
 - 12.2. Composition de l'enveloppe
 - 12.3. Résultats PHPP du projet initial
 - 12.4. Fichiers RSEE du projet initial et des variantes
 - 12.5. Résultats de la complétude ACV
13. Cartographie des acteurs du passif et du bas-carbone dans le Grand-Est