RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

PROJET VALOMATBIO - ETUDE DES SCENARIOS DE FIN DE VIE DES ISOLANTS BIOSOURCES

Rapport 4 - Evaluation des gains à l'échelle d'un bâtiment complet

RAPPORT final

Déc 2022

inddigo
IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
LABORATOIRE DE RECHERCHE EN ARCHITECTURE LRA
CF2B
COLLECTIF DES FILIÈRES BIOSOURCÉES DU BÂTIMENT
ECO-ÉTUDES
esteana

REMERCIEMENTS

Coralie Garcia (CF2B)
Mael Steck, (SCOP BatiNature),
Aymeric Pigent, (Coopérative AcortPaille),
Nathalie Fichaux, (Interchanvre)
Antoine Elleuame, (Ecopertica)
Jules Delsalle, (Biofib)
Samuel Brookfield-Dardenne, (Technichanvre)
Jean-Pol Caroff, (ECIMA - European Cellulose Insulation Manufacturer Association),
Graziella Osuna, (ECIMA - European Cellulose Insulation Manufacturer Association)
Jean-Michel Bœuf, (ECIMA - European Cellulose Insulation Manufacturer Association)
Nicolas Canzian, (ARESO - Association Régionale d'Éco-construction du Sud-Ouest)
Stéphane Bailly, (AICB – Association des Industriels de la Construction Biosourcée)
Lubin Sacquet, (Buitex)
Blaise Dupré, (Société Isonat)
François Magueur (Soprema)
Luc Floissac (Eco-études)
Yves Andres (IMT Atlantique)
Christelle Rabbat (IMT Atlantique)
Sary Awad (IMT Atlantique)
Audrey Villot (IMT Atlantique)
Virginie Dufour (ESTEANA)
Frédéric Rossi (ESTEANA)
Delphine ROLLET (INDDIGO)

CITATION DE CE RAPPORT

Philippe LEONARDON, ADEME.
Luc FLOISSAC – ECO-ETUDES ; 2022. **Etude des scénarios de fin de vie des isolants biosourcés**. 37 pages

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME
ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01
Numéro de contrat : 1904C0004

Étude réalisée par INDDIGO, IMT Atlantique, Eco-études, Esteana, LRA de l'ENSA de Toulouse et le CF2B pour ce projet financé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : INDDIGO
Appel à projet de recherche : APR BAT RESP 2017

Coordination technique - ADEME : LEONARDON Philippe
Direction Ville et Territoire Durable (DVTD) / Service Bâtiment (SB)

SOMMAIRE

1. CONTEXTE 5

2. METHODOLOGIE 5

2.1. Modélisation de bâtiments à partir de maquettes numériques 5
2.2. Analyse en cycle de vie des matériaux d'un bâtiment 5

3. ANALYSE EN CYCLE DE VIE DE VARIANTES CONSTRUCTIVES ET DE SCENARII DE FIN DE VIE 6

3.1. Impact de la fin de vie des isolant biosourcés sur l'ACV de l'ensemble des matériaux embarqués dans le bâtiment 6
3.2. Bâtiment tertiaire 7
3.2.1. Bâtiment tertiaire de la société NaitUp 7
3.2.2. Impact de la fin de vie sur l'ACV d'un bâtiment tertiaire (NaitUp) par matériau cible et par m² de SDP 8
3.2.3. Impact de la fin de vie sur l'ACV du bâtiment tertiaire par matériau cible et par m² de SDP 14
3.2.4. Analyse des résultats obtenus à l'échelle d'un bâtiment tertiaire 15

3.3. Logements collectifs 16
3.3.1. Bâtiment S24 à St Martin du Touch (31) 16
3.3.2. Bâtiment S24 : Composition des principales parois et éléments constructifs. 17
3.3.3. Impact de la fin de vie sur l'ACV du bâtiment S24 par matériau cible et par m² de SDP 17
3.3.4. Impact de la fin de vie sur l'ACV d'un bâtiment de logements collectifs par matériau cible et par m² de SDP 24
3.3.5. Analyse des résultats obtenus à l'échelle d'un bâtiment de logements collectifs 25

3.4. Logement individuel 26
3.4.1. Maison Galinier 26
3.4.2. Maison Galinier : Composition des principales parois et éléments constructifs. 26
3.4.3. Impact de la fin de vie sur l'ACV d'une maison individuelle par matériau cible et par m² de SDP 27
3.4.4. Impact de la fin de vie sur l'ACV d'une maison individuelle par matériau cible et par m² de SDP 34
3.4.5. Analyse des résultats obtenus à l'échelle d'une maison individuelle 36

4. CONCLUSION GENERALE 36

SIGLES ET ACRONYMES 37

1. Contexte

Les impacts environnementaux liés à la fin de vie des matériaux biosourcés montrent à unité fonctionnelle identique des disparités importantes selon les scénarii examinés. Ceci a été modélisé, mesuré et évalué dans le cadre des tâches suivantes du projet VALOMATBIO :

- Sous-tâche 4.1 Reconstruction des modèles d'ACV des produits biosourcés étudiés.
- Sous tâche 4.2 Création des modèles complémentaires relatifs aux scénarios de fin de vie.
- Sous tâche 4.3 Production de versions alternatives des ACV complètes de produits biosourcés.

L'objectif de ce rapport est de rendre compte du poids que peuvent avoir les différents scénarii de fin de vie à l'échelle d'un bâtiment :

- Selon la typologie de bâtiment (habitat individuel, habitat collectif, tertiaire).
- Selon des variantes dans lesquelles on fait varier :
    - Les produits biosourcés utilisés,
    - Les scénarios de fin de vie associés

2. Méthodologie

2.1. Modélisation de bâtiments à partir de maquettes numériques

Des bâtiments représentatifs de typologies constructives et basés sur des opérations réelles sont modélisés sous forme de maquettes numériques.

2.2. Analyse en cycle de vie des matériaux d'un bâtiment

Chaque bâtiment fait l'objet d'ACV réalisées en intégrant un type de matériau biosourcé donné.

Les impacts environnementaux de l'ensemble des matériaux de construction d'un bâtiment sont évalués par variantes. Chaque variante porte sur un matériau biosourcé cible et un scénario de fin de vie.

On compare les impacts environnementaux des variantes d'un même matériau cible (idem FDES standard, enfouissement, incinération, pyrogazéification, pyrolyse, recyclage fermé, recyclage ouvert, réemploi).

3. Analyse en cycle de vie de variantes constructives et de scénarii de fin de vie

3.1. Impact de la fin de vie des isolant biosourcés sur l'ACV de l'ensemble des matériaux embarqués dans le bâtiment

L'ensemble des matériaux embarqués dans le bâtiment ont été modélisés conformément aux exigences de la RE2020.
Pour chaque matériau biosourcé cible, différents scénarii de fin de vie ont été modélisés et consignés sous forme de données environnementales spécialement configurés pour le projet. Ces données environnementales ont été ingérées dans le logiciel cocon-bim afin de permettre d'en évaluer le poids dans le bilan environnemental global des matériaux de construction de l'opération.
Seuls les scénarii de fin de vie des matériaux cibles jugés les plus plausibles selon les contraintes économiques, techniques et environnementales ont été modélisés. Ainsi les matériaux les plus transformés et/ou qui intègrent des adjuvants chimiques ont fait l'objet de 6 à 8 modélisations de fin de vie. En revanche, sachant que la paille est un produit brut non transformé, celle-ci est directement valorisé agronomiquement et est intégré dans scénario de fin de vie usuel de la données environnementales standard.
Les résultats de l'ACV des matériaux embarqués dans les différentes variantes constructives des bâtiments sont présentés :

- Par typologie de bâtiments (tertiaire, logement individuel, logement collectif).
- Par matériau cible et par scénario de fin de vie
- Selon les étapes du cycle de vie :
    - Par principales étapes du cycle de vie :
        - A1-A3 Fabrication
        - A4-A5 Construction
        - B1-B7 Usage
        - C1-CA Fin de fin
        - D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système.
    - Ensemble du cycle de vie (A + B + C + D)
- Par m² de SDP (Surface De Plancher)
- Pour les indicateurs les plus sensibles à une modification du scénario de fin de vie :
    - Contribution au réchauffement climatique (kg. eq. CO2).
        - Calcul statique
        - Calcul dynamique (méthode RE2020)
    - Déchets non dangereux éliminés (kg).
    - Energie exportée (MJ).

Code	Scénario de fin de vie	Chanvre	Fibre de bois	Mixte	Ouate	Paille	Textile
A	FDES standard avec scénario de fin de vie usuel pour le produit concerné	X	X	X	X	X	X
B	Enfouissement	X	X	X	X		X
C	Incinération	X	X	X	X		X
D	Pyrogazéification	X	X	X	X		
E	Pyrolyse	X	X	X	X		X
F	Recyclage fermé	X	X	X	X		X
G	Recyclage ouvert	X		X	X		X
H	Réemploi	X		X	X		X

Scénarii de fin de vie des matériaux biosourcés cible

3.2. Bâtiment tertiaire

Le bâtiment tertiaire modélisé dans est celui de la société NaitUp. Son permis de construire a été déposé fin juin 2022. Il est représentatif de l'évolution actuelle de bâtiments à vocation frugale et susceptibles de respecter les exigences de la RE2020.

3.2.1. Bâtiment tertiaire de la société NaitUp

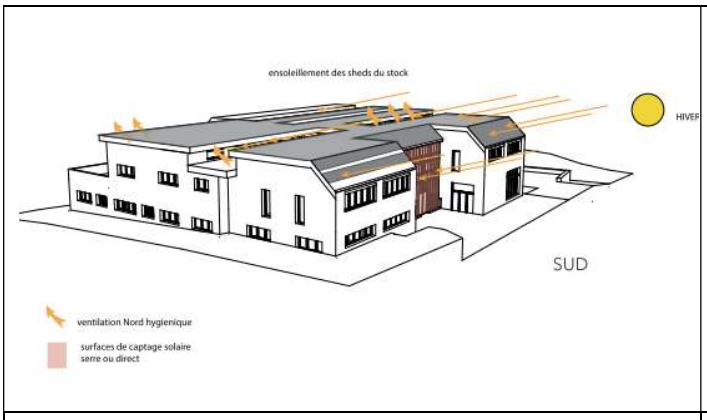
Le futur bâtiment de la société NaitUp est conçu pour être frugal sur l'ensemble de son cycle de vie. Il utilise des principes bioclimatiques pour assurer son éclairage, son chauffage, son rafraichissement et sa ventilation. Afin d'atteindre des objectifs de très basse consommation il est construit avec des matériaux biosourcés très efficients sur le plan environnemental et thermique.

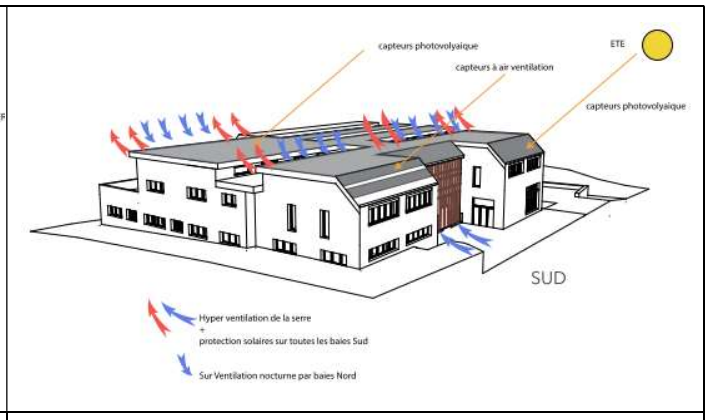
Le bâtiment s'organise autour d'un renfoncement au Sud permettant de bénéficier des apports solaire. Une grande serre organise les espaces de distribution et génère une partie des besoins de chauffage du bâtiment en hiver tout en permettant une large ventilation en été.

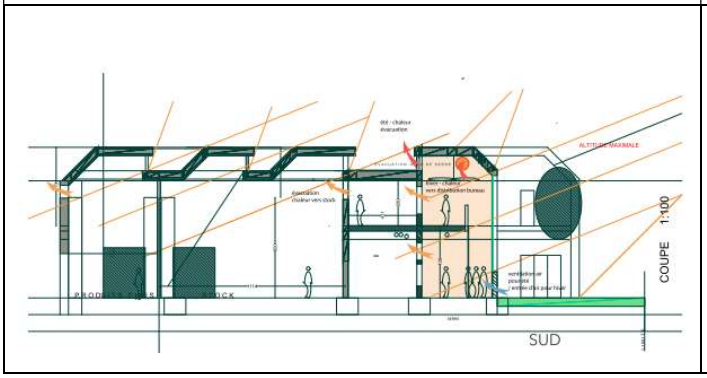
La serre en façade Sud permet de gérer une ventilation efficiente sans recourir à une technique de type double flux. Au Nord à l'étage l'espace de détente donne sur une grande terrasse qui permet de ventiler et sur ventiler les locaux. La zone de stock bénéficie en hiver d'éventuels surplus de chaleur du bâtiment et est ventilé par ouverture de portes sectionnelles. L'espace du stock de 372 m2 s'élève sur toute la hauteur du bâtiment et est surmonté par des sheds (avec casquette bioclimatique) orientés au Sud qui captent lumière et chaleur en été. Les surfaces de plancher dédiées à la production sont de 441 m2 tandis que 667 m2 sont affectés à des espaces de bureaux. La surface de plancher (SDP) totale est de 1480m2.

D'un point de vue constructif :

- La structure est en poteau-poutre bois.
- L'enveloppe (murs et toiture) est constituée de caissons à ossature bois remplis d'isolants biosourcés.
- Le plancher :
    - Du RDC est en béton
    - Du R+1 est de type bois/béton collaborant.
- Les portes et fenêtres sont en bois.
- Les fondations sont en béton.







3.2.2. Impact de la fin de vie sur l'ACV d'un bâtiment tertiaire (NaitUp) par matériau cible et par m² de SDP

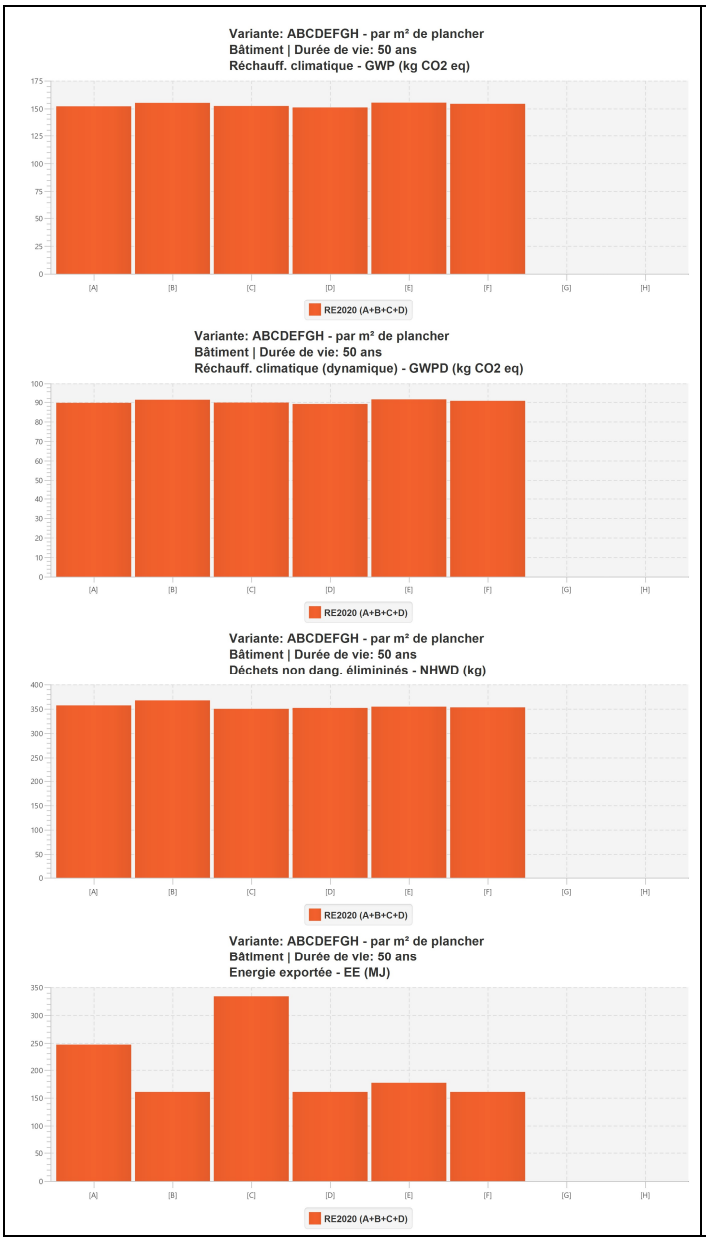
Les impacts environnementaux des matériaux embarqués dans le bâtiment étudié ont été modélisés (§ 3.1).

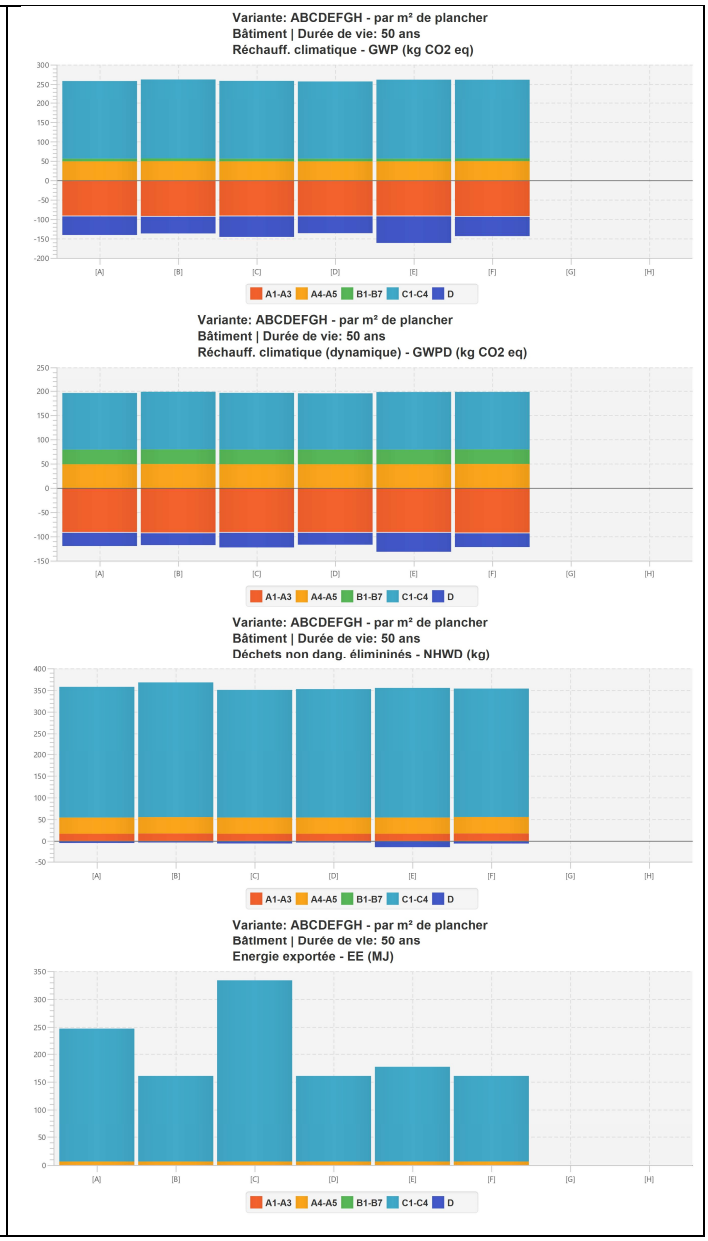
Les figures ci-après présentent :

- Les variations d'impact par m² de SDP, par matériau cible et par scénario de fin de vie pour les indicateurs jugés les plus pertinents (Contribution au réchauffement climatique avec calcul statique et dynamique, déchets non dangereux éliminés, énergie exportée).
- L'évaluation des impacts :
    - Cumulés sur l'ensemble des phases du cycle de vie (A+B+C+D).
    - Pour les principales étapes du cycle de vie dont seules les phases C et D sont impactées par les scénarii de fin de vie.

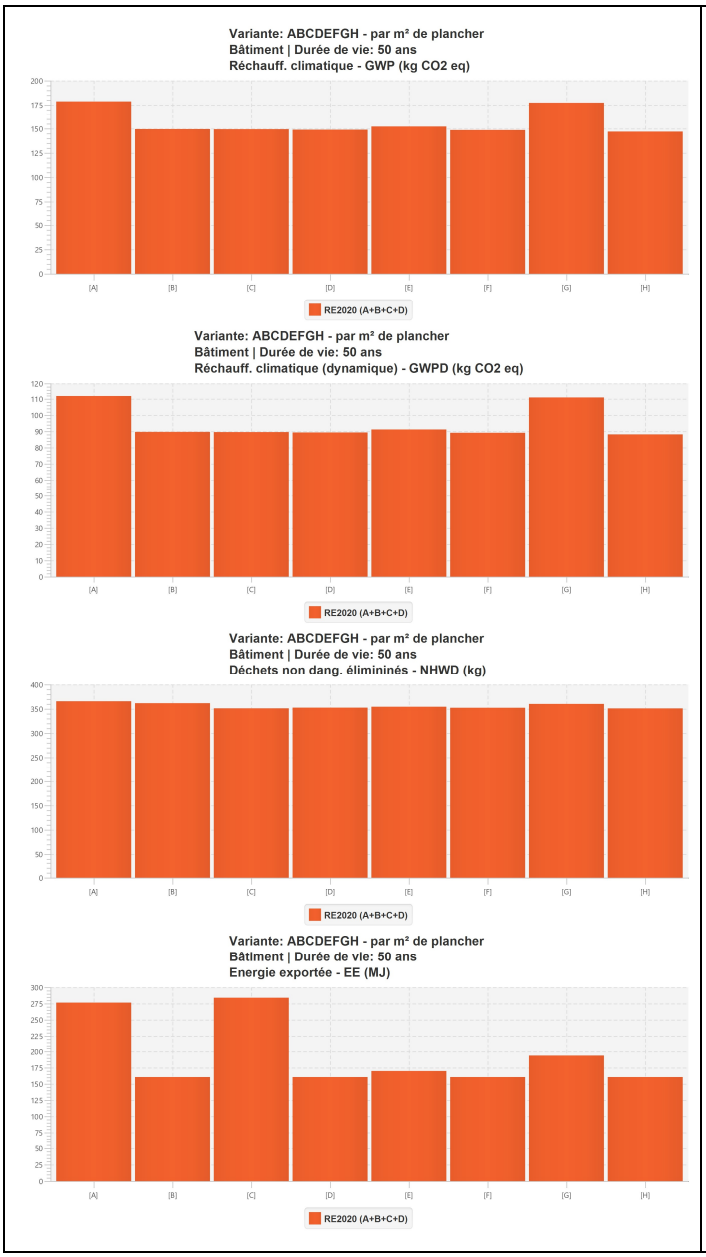
3.2.2.1. Chanvre : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux du bâtiment NaitUp

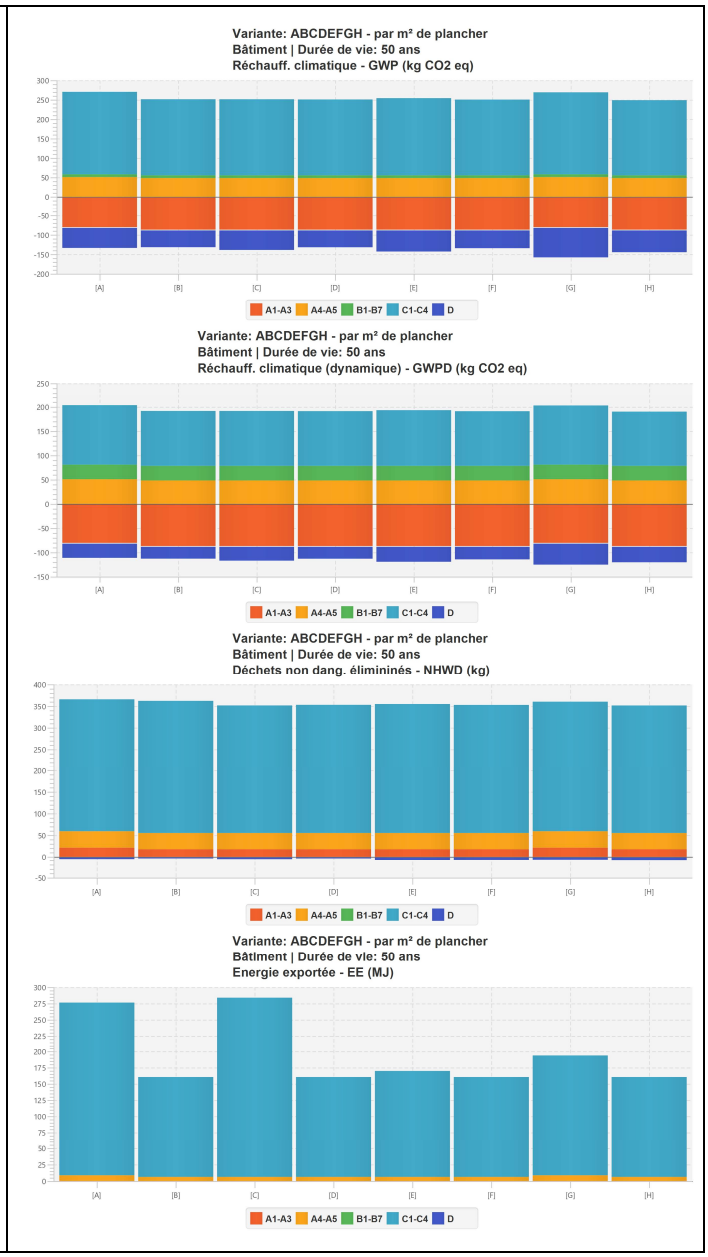
3.2.2.2. Fibre de bois : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux du bâtiment NaitUp.





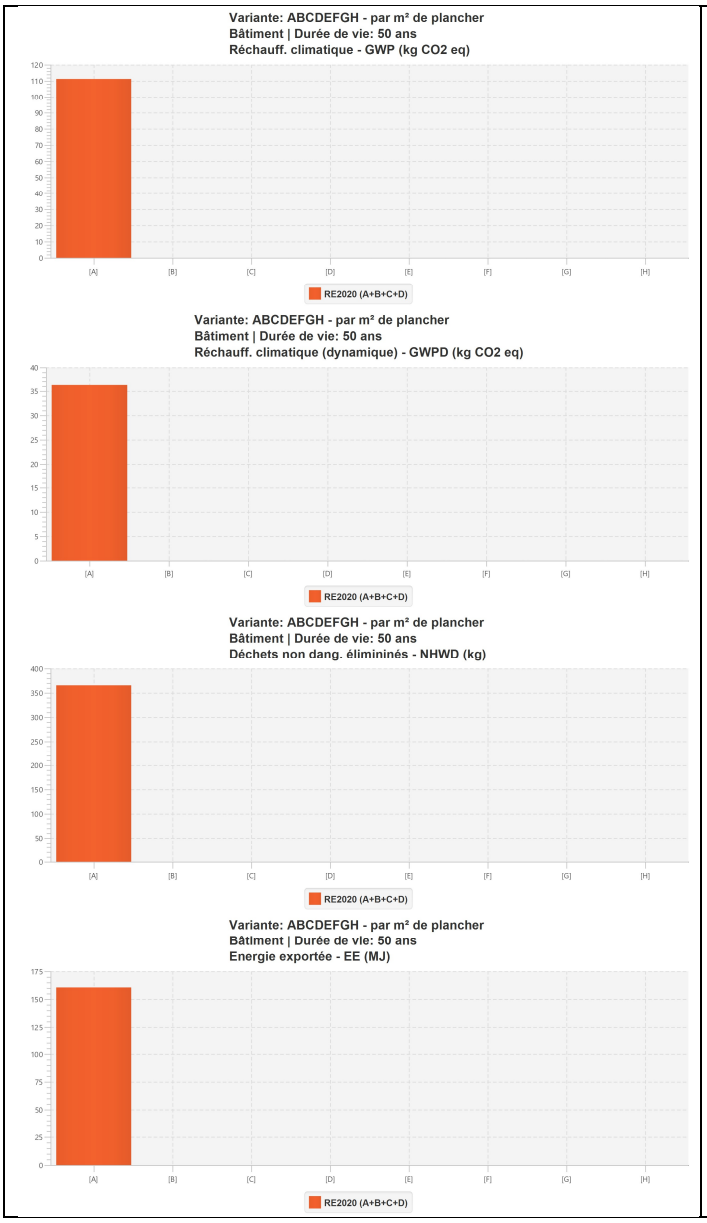
3.2.2.3. Isolants mixtes : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux du bâtiment NaitUp.

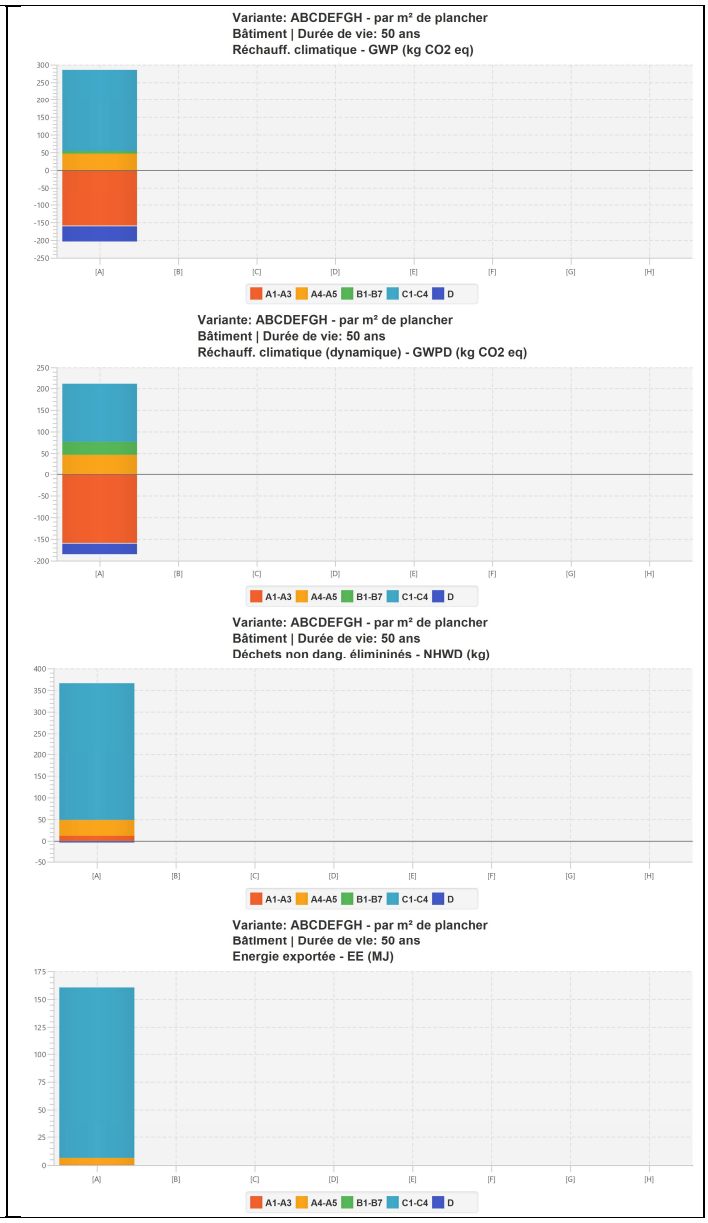




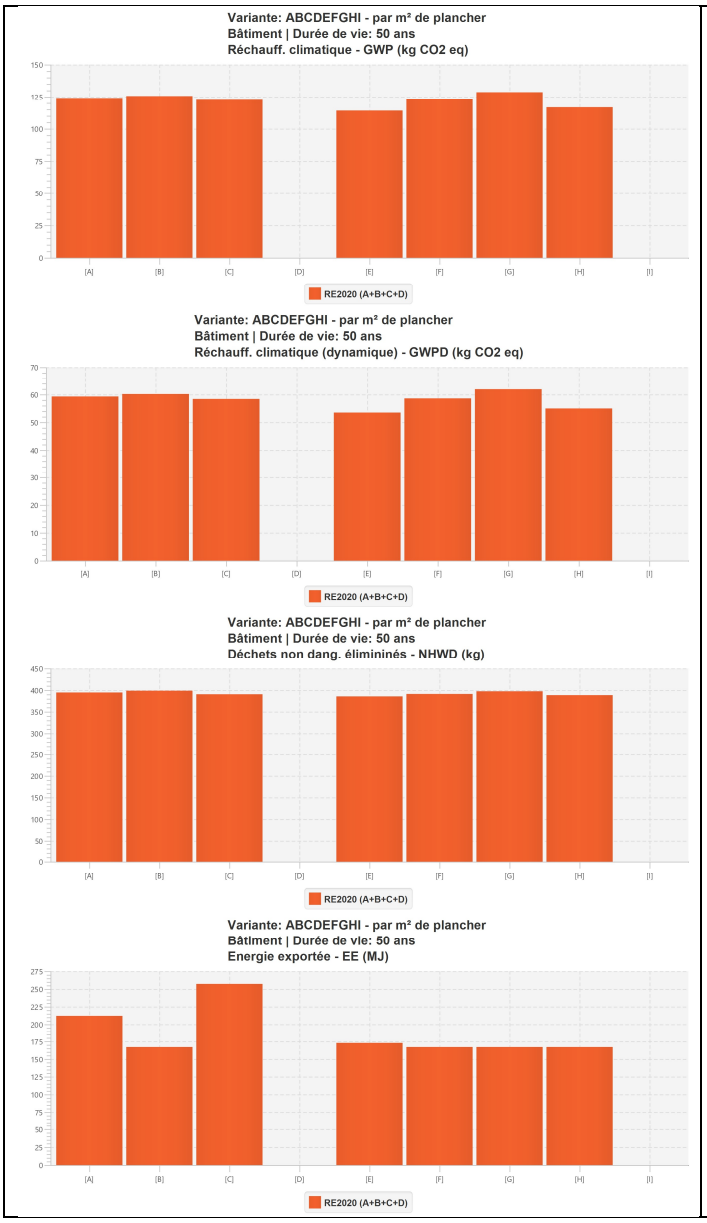
3.2.2.4. Ouate de cellulose : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux du bâtiment NaitUp.

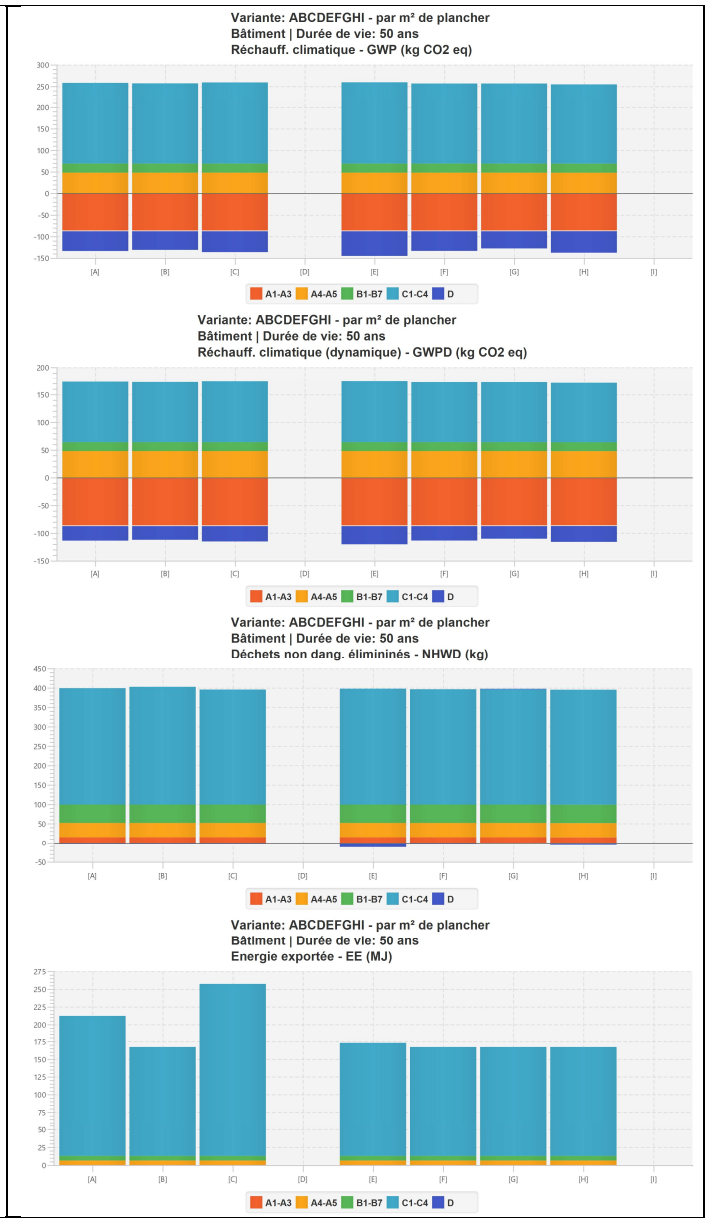
3.2.2.5. Paille : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux du bâtiment NaitUp.





3.2.2.6. Textile : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux du bâtiment NaitUp.





3.2.3. Impact de la fin de vie sur l'ACV du bâtiment tertiaire par matériau cible et par m² de SDP

Les figures ci-après permettent de comparer indicateur par indicateur :

- Les différences d'impacts par scénario de fin de vie et par matériau cible.
- L'importance spécifique du matériau cible (en % du total) dans l'ACV de l'ensemble des matériaux du bâtiment.

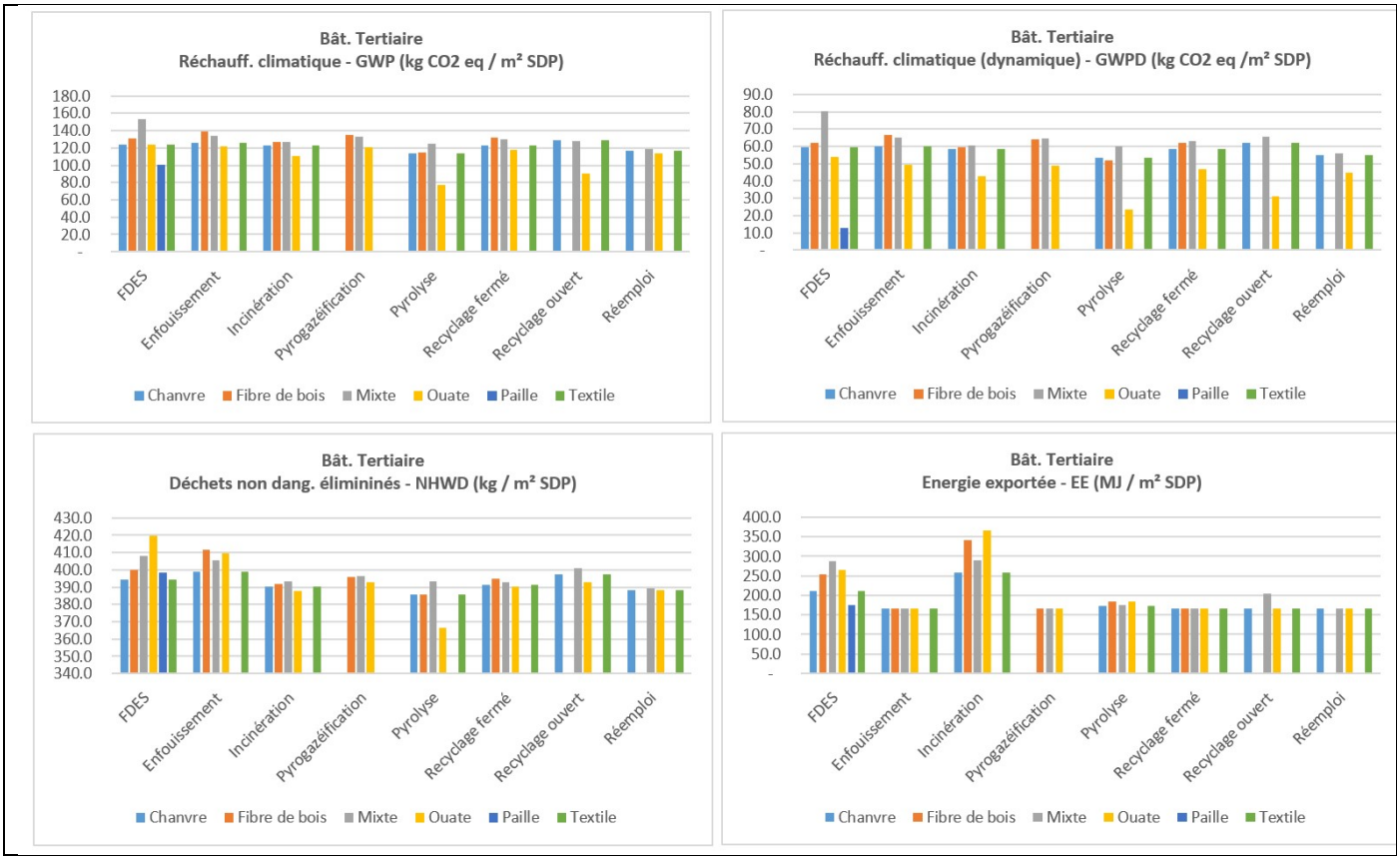


Figure 1: ACV des éléments constructifs d'un bâtiment tertiaire par matériau cible et indicateur.

Indicateur	Matériau	FDES	Enfouissement	Incinération	Pyrogazéification	Pyrolyse	Recyclage fermé	Recyclage ouvert	Réemploi
Réchauff. climatique - GWP (kg CO2 eq / m² SDP)	Chanvre	124.1	125.7	122.6		114.1	122.9	128.7	116.7
	Fibre de bois	131.3	139.3	126.7	134.9	114.3	131.8		
	Mixte	153.1	133.6	126.5	132.9	125.4	130.2	127.8	118.4
	Ouate	124.1	121.5	110.7	120.9	77.0	117.9	90.1	113.9
	Paille	100.4							
	Textile	124.1	125.7	122.6		114.1	122.9	128.7	116.7

Indicateur	Matériau	FDES	Enfouissement	Incinération	Pyrogazéification	Pyrolyse	Recyclage fermé	Recyclage ouvert	Réemploi
Réchauff. climatique (dynamique) - GWPD (kg CO2 eq /m² SDP)	Chanvre	59.3	60.2	58.4		53.5	58.6	61.9	55.0
	Fibre de bois	62.0	66.4	59.3	64.1	52.1	62.0		
	Mixte	80.1	64.8	60.7	64.4	60.0	62.8	65.5	56.0
	Ouate	54.1	49.1	42.9	48.8	23.4	47.0	31.0	44.7
	Paille	12.8							
	Textile	59.3	60.2	58.4		53.5	58.6	61.9	55.0

Indicateur	Matériau	FDES	Enfouissement	Incinération	Pyrogazéification	Pyrolyse	Recyclage fermé	Recyclage ouvert	Réemploi
Déchets non dang. éliminés - NHWD (kg / m² SDP)	Chanvre	394.6	398.7	390.5		385.5	391.1	397.4	388.4
	Fibre de bois	399.9	411.3	391.8	395.8	385.7	394.7		
	Mixte	408.1	405.7	393.5	396.5	393.5	393.0	401.2	389.0
	Ouate	419.5	409.6	387.8	392.8	366.6	390.2	393.0	388.2
	Paille	398.5							
	Textile	394.6	398.7	390.5		385.5	391.1	397.4	388.4

Indicateur	Matériau	FDES	Enfouissement	Incinération	Pyrogazéification	Pyrolyse	Recyclage fermé	Recyclage ouvert	Réemploi
Energie exportée - EE (MJ / m² SDP)	Chanvre	212.1	167.0	257.2		172.8	167.0	167.0	167.0
	Fibre de bois	253.6	167.0	340.3	167.0	183.3	167.0		
	Mixte	287.3	167.0	290.5	167.0	176.3	167.0	204.6	167.0
	Ouate	266.1	167.0	365.1	167.0	184.5	167.0	167.0	167.0
	Paille	175.1							
	Textile	212.1	167.0	257.2		172.8	167.0	167.0	167.0

Tableau 1: ACV des éléments constructifs d'un bâtiment tertiaire par matériau cible et indicateur.

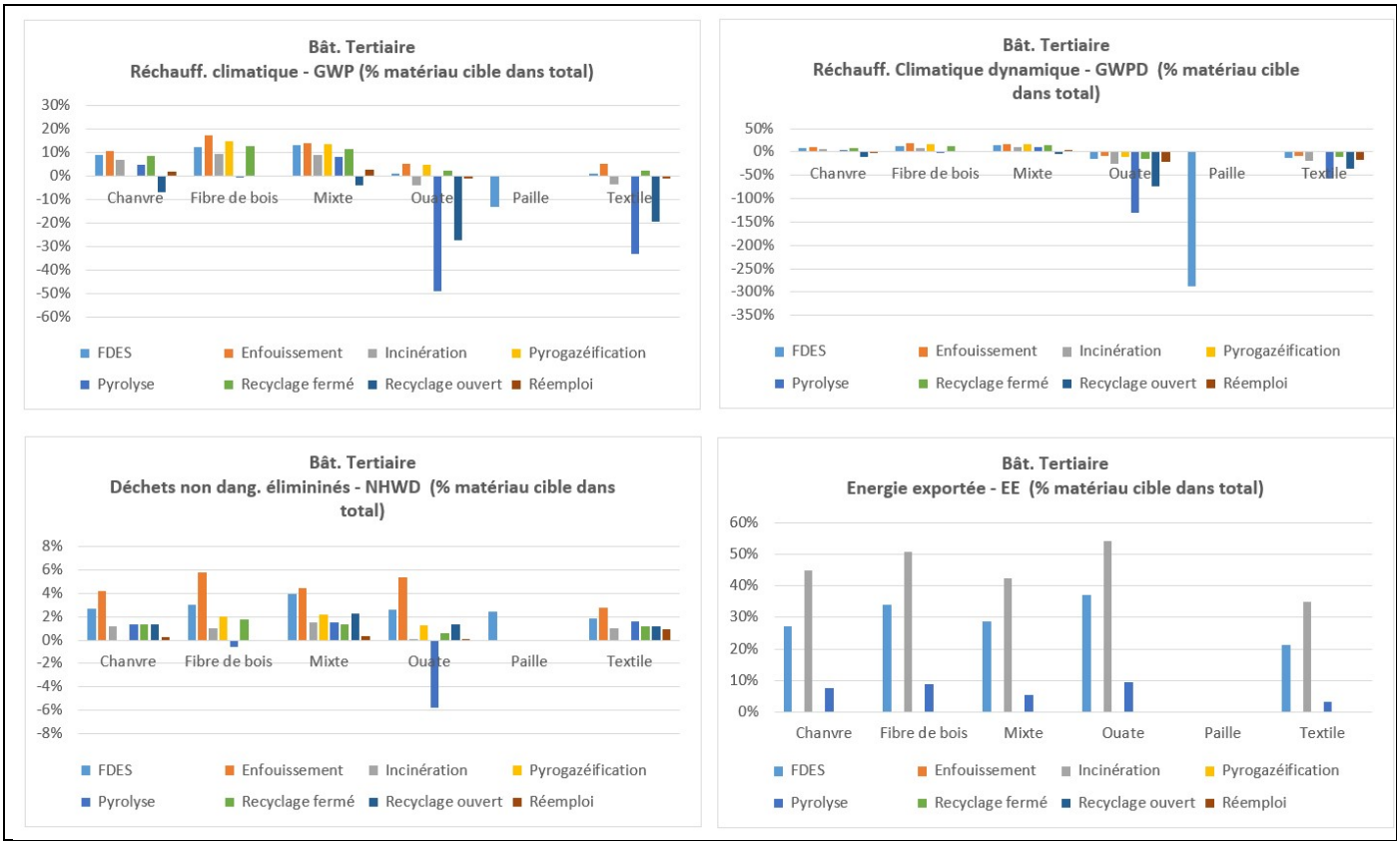


Figure 2 : Part du matériau cible dans l'ACV des éléments constructifs du bâtiment selon l'indicateur.

3.2.4. Analyse des résultats obtenus à l'échelle d'un bâtiment tertiaire

Rappel : Les matériaux biosourcés sont très généralement associés à des bâtiments à structure bois. Le bâtiment tertiaire modélisé dans cette étude (§ 3.2.1) obéit donc à cette règle.

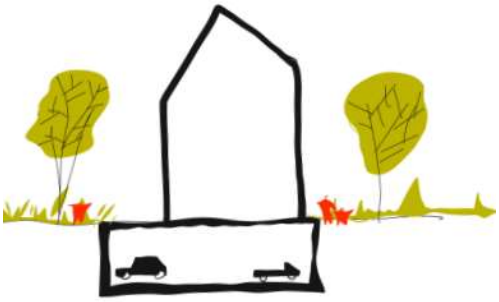
Les principaux enseignements que l'on peut en tirer sont les suivants :

- L'influence des matériaux isolants biosourcés dans l'impact général d'un système constructif employant massivement du bois est relativement important : 15%
- Des différences assez nettes apparaissent entre les matériaux cibles.
- Les scénarii de fin de vie font varier la part des impacts des matériaux cible (hors paille) :
    - D'environ 50% pour l'indicateur changement climatique.
    - D'un facteur 5 à 6 concernant l'indicateur de déchets non dangereux éliminés.
    - De 5 à 50% concernant l'énergie exportée.
- Le matériau paille qui est très peu transformé réduit très significativement les valeurs de l'indicateur sur le changement climatique.

3.3. Logements collectifs

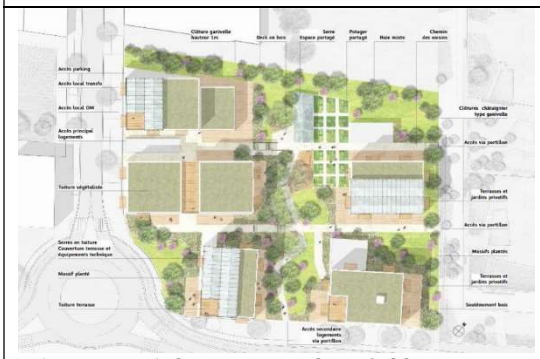
3.3.1. Bâtiment S24 à St Martin du Touch (31)

Des logements collectifs construits ont servi de base à cette étude. Il s'agit du bâtiment S24 située à Saint-Martin du Touch (31). Cette opération porte sur l'urbanisation de 7 hectares d'espaces naturels, notamment sur le parc des berges du Touch avec une volonté d'intégration paysagère.

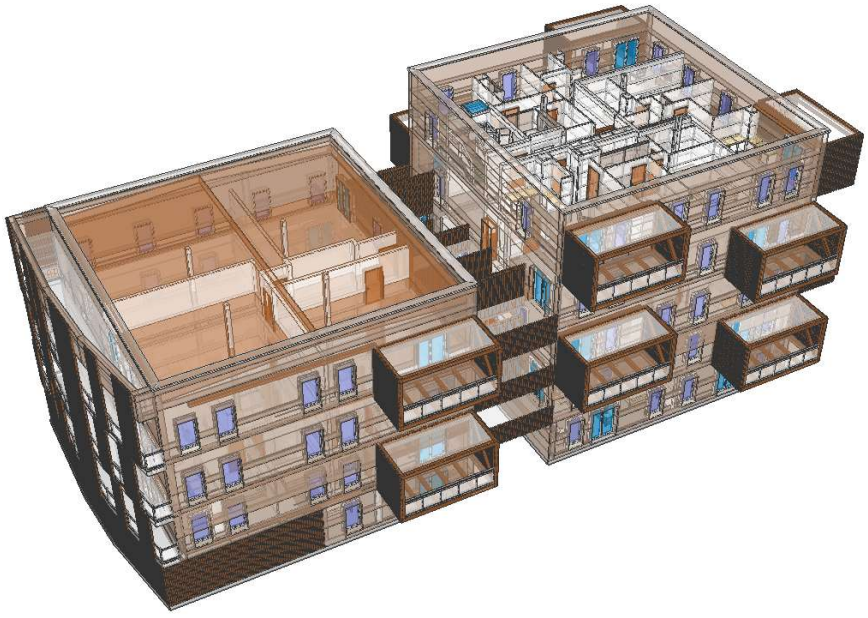


Les parkings sont entérrés

La haie bocagère existante est préservée. Des jardins sont créés au pied des immeubles. Dans ce projet, 39% de l'espace reste en pleine terre.



L'empreinte de la VRD est plutôt faible pour un projet de cet ampleur.



3.3.2. Bâtiment S24 : Composition des principales parois et éléments constructifs.

Fondations et dalle du parking en sous-sol

Les fondations et la dalle du parking en sous-sol sont identiques pour toutes les variantes du projet. Elles sont en béton et conformes aux prescriptions de l'étude de sol.

Plancher bas sur parking

Les planchers bas parking sont identiques pour toutes les variantes du projet. Ils sont en béton avec une isolation par flocage. L'utilisation de données environnementales individuelles ou collectives est relativement neutre excepté dans le cas de l'isolation par flocage.

Planchers courants

Les planchers sont à base de béton.

Poteaux

La structure porteuse du projet est constituée de voiles béton et de poteaux béton.

Murs de refend

Les murs de refend du projet sont en béton banché.

Murs d'enveloppe

Les murs d'enveloppe du projet sont constitués de maçonnerie en brique isolée par l'intérieur avec un doublage en BA13 et d´enduit minéral à l'extérieur. Les variantes examinées maintiennent cette expression architecturale « minérale » tout en intégrant des matériaux biosourcés. La composition des murs d'enveloppe des différentes variantes est donc la suivante :

- Variantes C&D : Ossature bois avec finition enduite sur support en fibre de bois.
- Variantes E, F, G, H : Murs en CLT avec isolation extérieure et finition enduite sur support en fibre de bois.
- Variantes I, J : Ossature bois avec remplissage en paille et finition enduite.

Toiture

La couverture du projet est aménagée en rampants isolés en laine de bois avec une couverture en bac acier. Cette solution constructive a été appliquée à l'ensemble des variantes du projet.

Balcons

On trouve deux types de balcons sur cette opération avec :

- D'une part, des coursives et des balcons légers « agrafés » aux façades qui sont constitués d'un platelage bois sur structure métal avec couverture en bac acier à âme en polyuréthane.
- D'autre part, des balcons lourds en béton réalisés dans le prolongement de certaines dalles de planchers.

3.3.3. Impact de la fin de vie sur l'ACV du bâtiment S24 par matériau cible et par m² de SDP

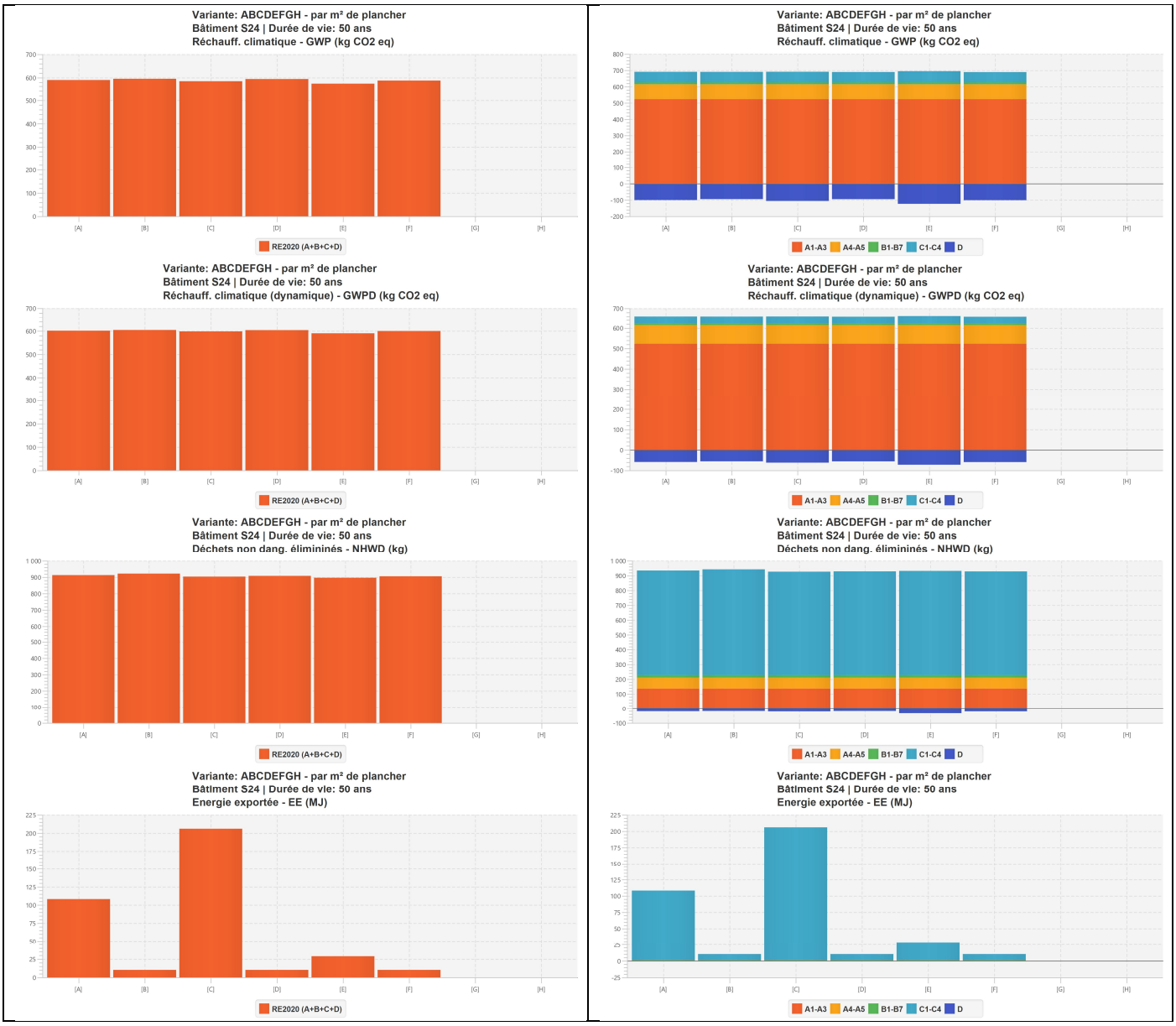
Les impacts environnementaux des matériaux embarqués dans le bâtiment étudié ont été modélisés (§ 3.1).

Les figures ci-après présentent :

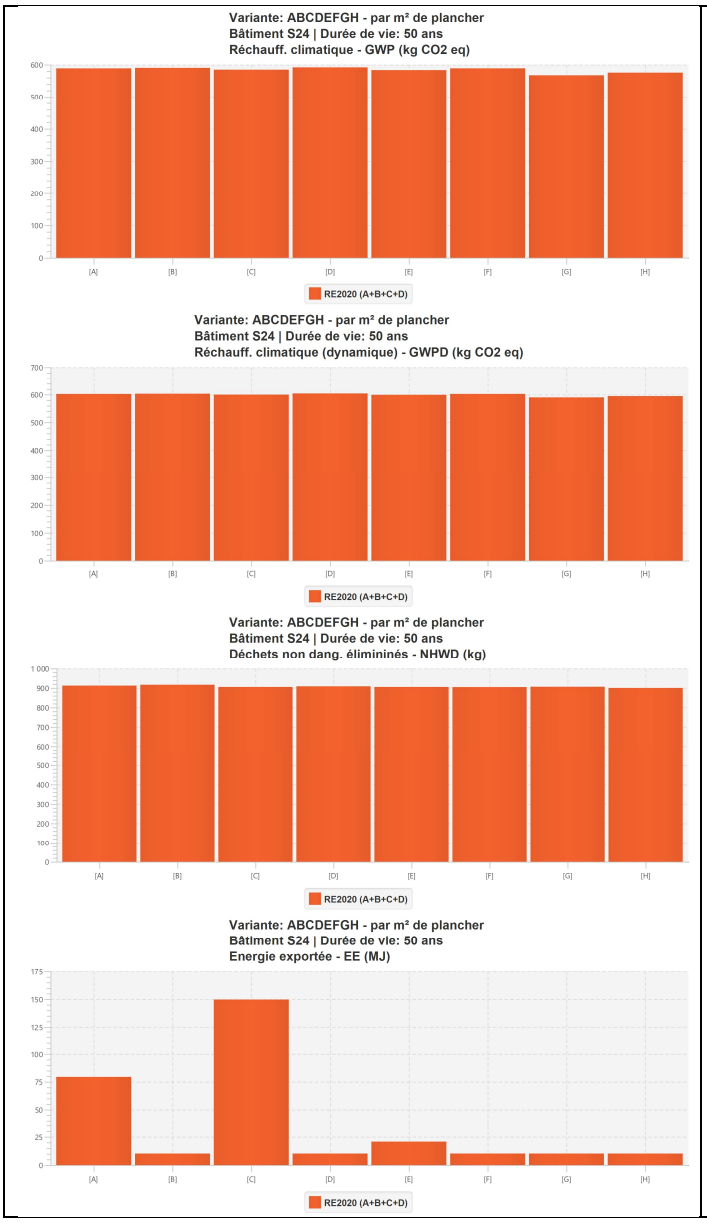
- Les variations d'impact par m² de SDP, par matériau cible et par scénario de fin de vie pour les indicateurs jugés les plus pertinents (Contribution au réchauffement climatique avec calcul statique et dynamique, déchets non dangereux éliminés, énergie exportée).
- L'évaluation des impacts :
    - Cumulés sur l'ensemble des phases du cycle de vie (A+B+C+D).
    - Pour les principales étapes du cycle de vie dont seules les phases C et D sont impactées par les scénarii de fin de vie.

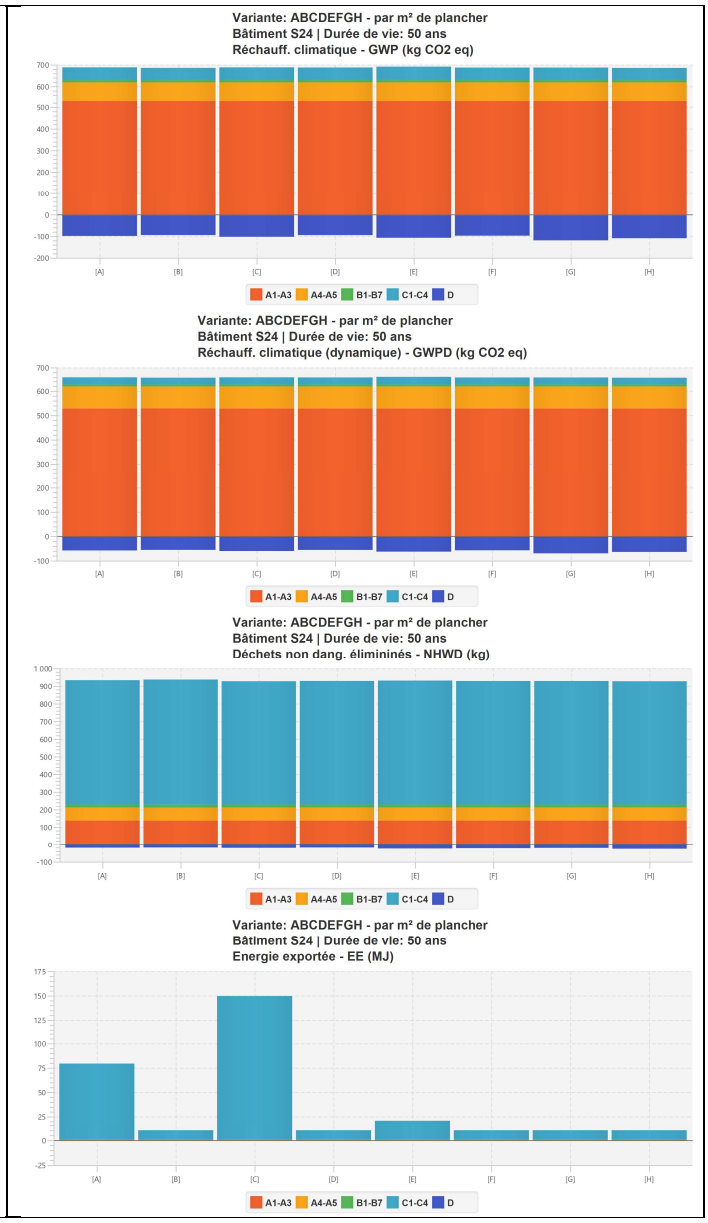
3.3.3.1. Chanvre : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux du bâtiment S24

3.3.3.2. Fibre de bois : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux du bâtiment S24

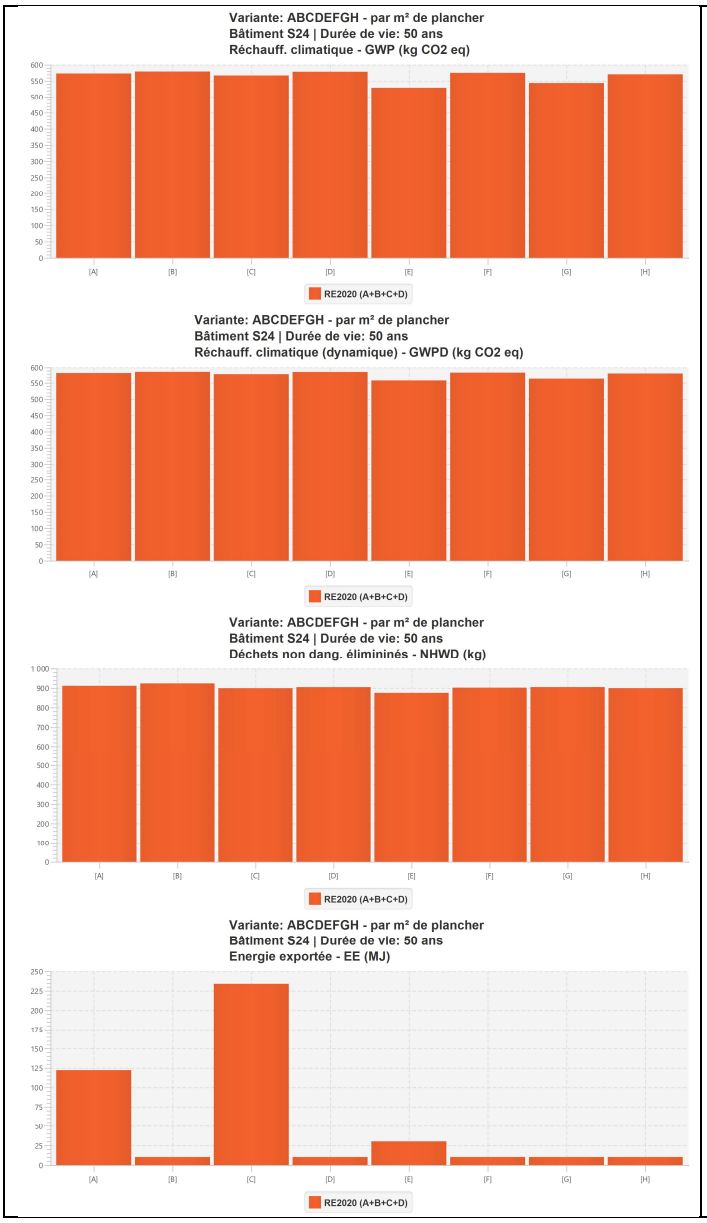


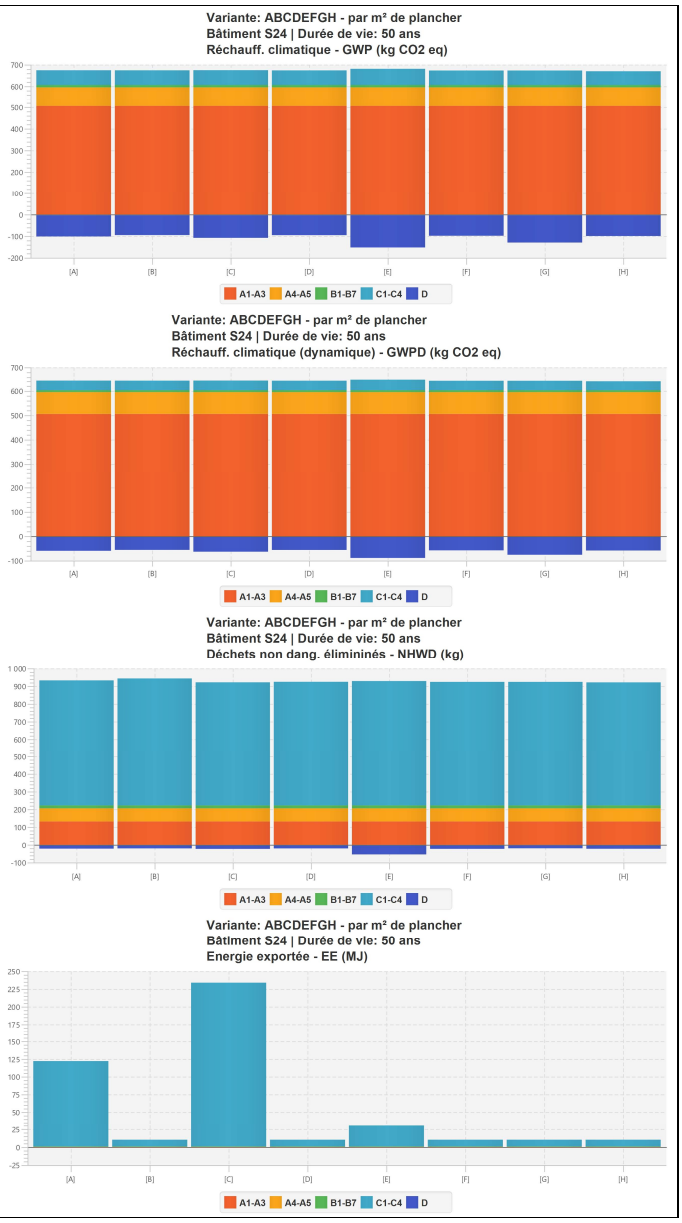
3.3.3.3. Isolants mixtes : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux du bâtiment S24





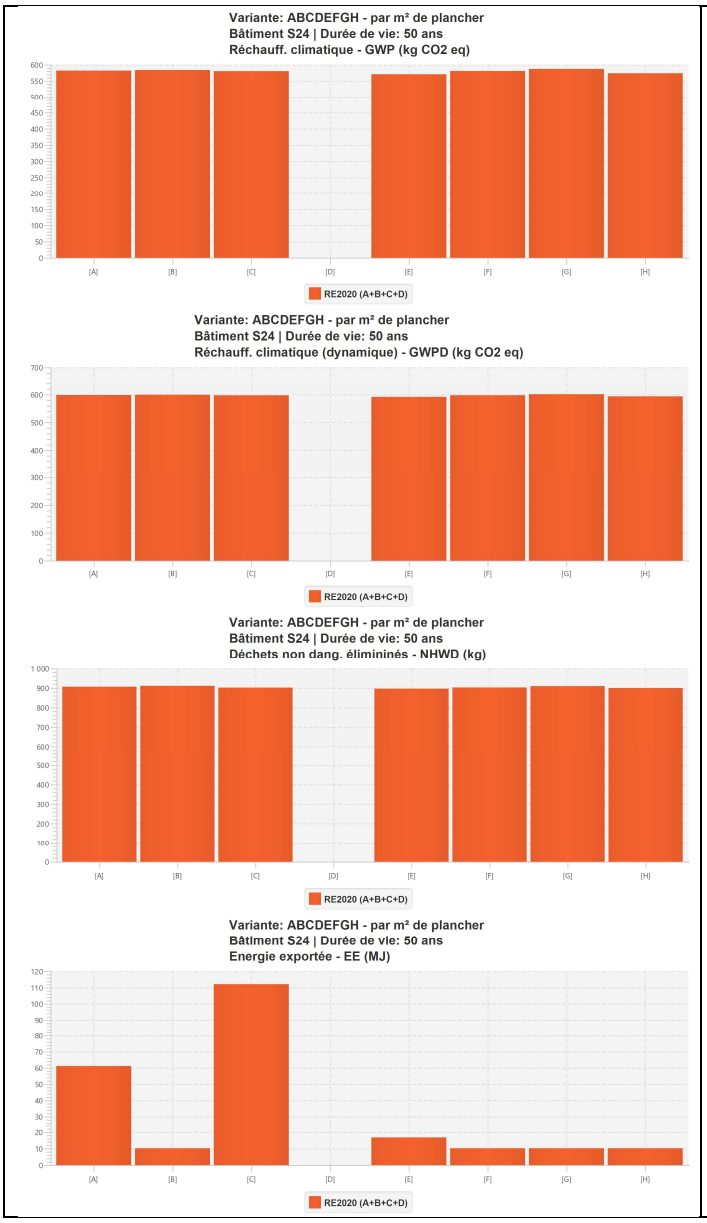
3.3.3.4. Ouate de cellulose : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux du bâtiment S24.

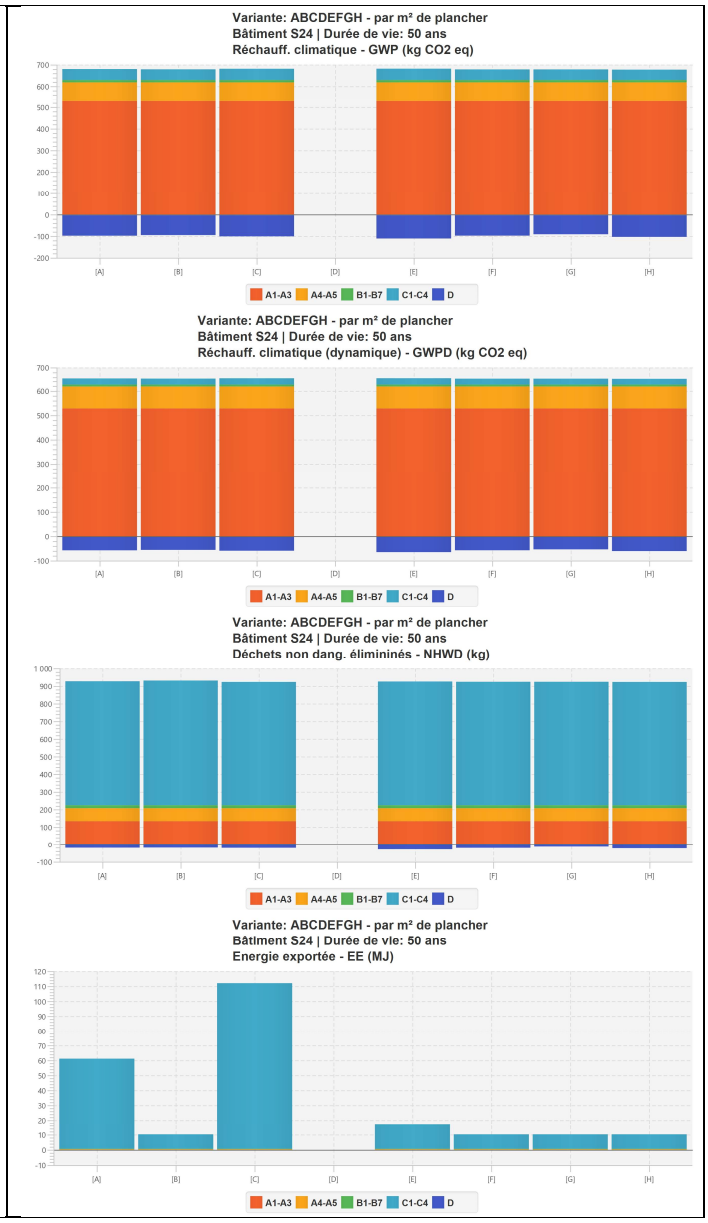




3.3.3.5. Paille : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux du bâtiment S24.

3.3.3.6. Textile : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux du bâtiment S24.





3.3.4. Impact de la fin de vie sur l'ACV d'un bâtiment de logements collectifs par matériau cible et par m² de SDP

Les figures ci-après permettent de comparer indicateur par indicateur :

- Les différences d'impacts par scénario de fin de vie et par matériau cible.
- L'importance spécifique du matériau cible (en % du total) dans l'ACV de l'ensemble des matériaux du bâtiment.

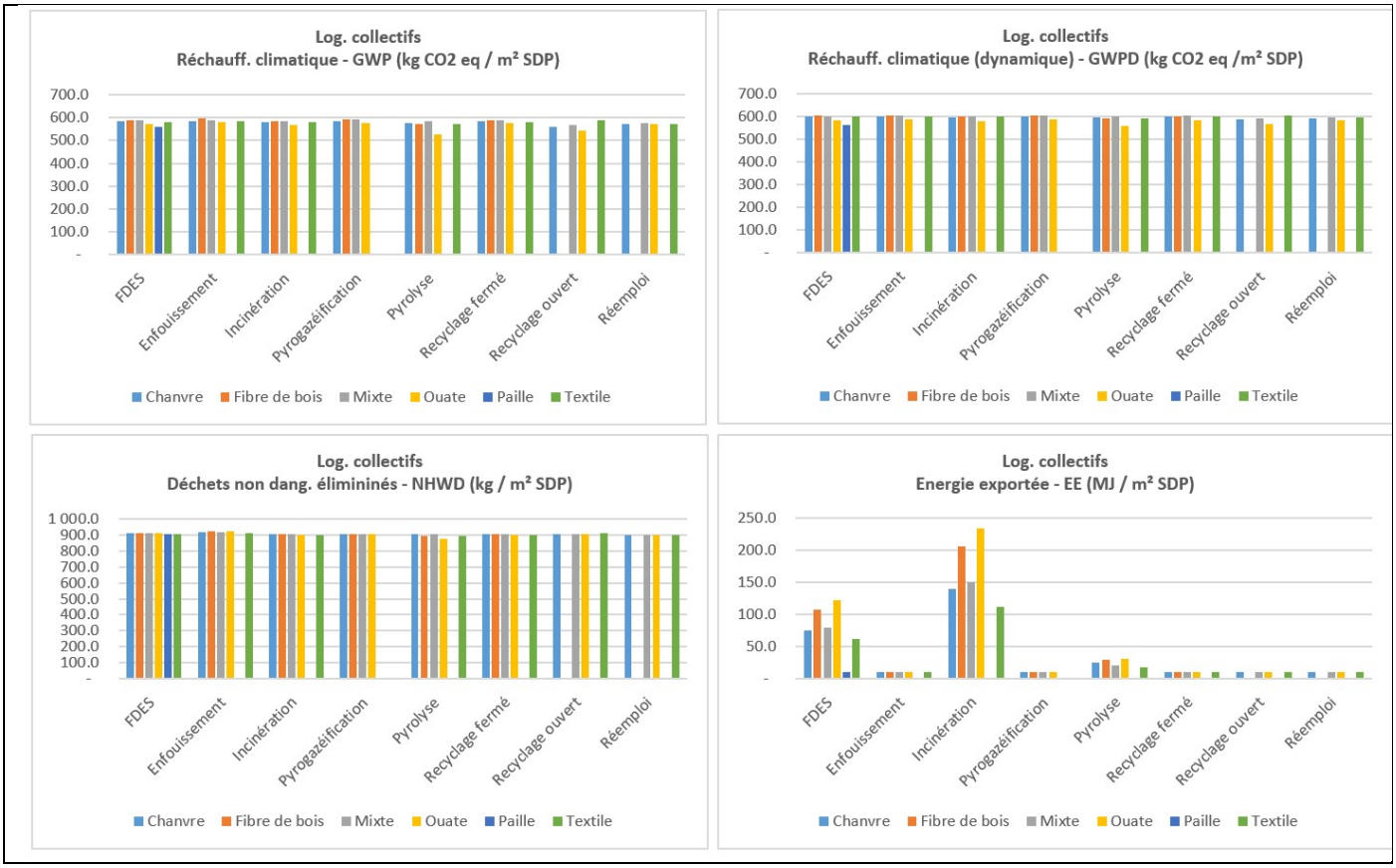


Figure 3: ACV des éléments constructifs d'un bâtiment de logements collectifs par matériau cible et indicateur.

Indicateur	Matériau	FDES	Enfouissement	Incinération	Pyrogazéification	Pyrolyse	Recyclage fermé	Recyclage ouvert	Réemploi
Réchauff. climatique - GWP (kg CO2 eq / m² SDP)	Chanvre	583.9	586.8	581.1	586.1	577.5	583.6	561.7	573.8
	Fibre de bois	590.0	595.2	584.8	594.1	570.8	587.6	0.0	0.0
	Mixte	587.4	590.2	584.6	591.8	583.3	588.8	567.3	575.5
	Ouate	572.9	579.0	566.7	578.2	528.7	574.8	543.5	570.3
	Paille	560.9							
	Textile	581.9	583.6	580.2	0.0	570.6	580.6	587.0	573.7

Indicateur	Matériau	FDES	Enfouissement	Incinération	Pyrogazéification	Pyrolyse	Recyclage fermé	Recyclage ouvert	Réemploi
Réchauff. climatique (dynamique) - GWPD (kg CO2 eq /m² SDP)	Chanvre	597.4	599.0	595.7	598.7	593.7	597.2	584.5	591.5
	Fibre de bois	601.0	604.0	597.9	603.3	589.8	599.6	0.0	0.0
	Mixte	600.6	602.7	599.5	603.7	598.8	601.9	589.5	594.2
	Ouate	582.9	586.5	579.4	586.0	557.4	584.1	566.0	581.5
	Paille	562.6	-						
	Textile	597.9	598.9	596.9	0.0	591.4	597.2	600.9	593.2

Indicateur	Matériau	FDES	Enfouissement	Incinération	Pyrogazéification	Pyrolyse	Recyclage fermé	Recyclage ouvert	Réemploi
Déchets non dang. éliminés - NHWD (kg / m² SDP)	Chanvre	910.7	917.5	903.9	907.1	904.3	904.7	904.8	899.9
	Fibre de bois	912.4	921.6	903.2	907.7	896.3	905.2	0.0	0.0
	Mixte	911.8	916.5	905.2	908.5	905.2	904.5	906.1	900.1
	Ouate	911.0	923.4	898.7	904.3	874.8	901.3	904.5	899.1
	Paille	906.3							
	Textile	906.3	911.0	901.7	0.0	896.1	902.5	909.5	899.4

Indicateur	Matériau	FDES	Enfouissement	Incinération	Pyrogazéification	Pyrolyse	Recyclage fermé	Recyclage ouvert	Réemploi
Energie exportée - EE (MJ / m² SDP)	**Chanvre**	75.4	10.2	140.7	10.2	25.2	10.2	10.2	10.2
	Fibre de bois	108.0	10.2	205.9	10.2	28.7	10.2	-	-
	Mixte	79.4	10.2	149.7	10.2	20.7	10.2	10.2	10.2
	Ouate	122.1	10.2	234.0	10.2	30.0	10.2	10.2	10.2
	Paille	10.2							
	Textile	61.1	10.2	112.1	-	16.8	10.2	10.2	10.2

Tableau 2: ACV des éléments constructifs bâtiment de logements collectifs par matériau cible et indicateur

Figure 4: Part du matériau cible dans l'ACV des éléments constructifs d'un bâtiment de logements collectifs selon l'indicateur

3.3.5. Analyse des résultats obtenus à l'échelle d'un bâtiment de logements collectifs

Rappel : Le bâtiment de logement collectif modélisé dans cette étude est à structure béton car cette option constructive est souvent utilisée pour des raisons acoustiques et de protection incendie.

Les principaux enseignements que l'on peut en tirer sont les suivants :

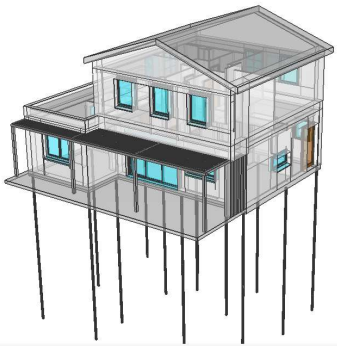
- L'influence des matériaux isolants biosourcés dans l'impact général d'un système constructif à base de béton est modeste : 5%
- Des différences assez nettes apparaissent entre les matériaux cibles.
- Les scénarii de fin de vie font varier la part des impacts des matériaux cible (hors paille) :
    - D'environ 50% pour l'indicateur changement climatique.
    - D'un facteur 5 à 6 concernant l'indicateur de déchets non dangereux éliminés.
    - De 5 à 50% concernant l'énergie exportée.
- Le matériau paille qui est très peu transformé réduit très significativement les valeurs de l'indicateur sur le changement climatique.

3.4. Logement individuel

3.4.1. Maison Galinier

Un projet de maison individuelle réellement construit a servi de base à cette étude. Il s'agit de la maison « Galinier » située à Vénerque (31). Elle se situe sur un terrain marqué par la présence d'argiles gonflantes qui a entrainé le choix de réaliser les fondations avec des pieux vissés. Sachant que construction à ossature bois et matériaux biosourcés sont souvent associés, il est apparu pertinent de s'appuyer sur ce bâtiment pour analyser un logement individuel susceptible de contenir une forte proportion de matériaux biosourcés.

Parcelle	
Surface parcelle	1200 m²
Surface végétalisée	813 m²
Assainissement	Individuel
Gestion des eaux pluviales	Par infiltration
Bâtiment	
Durée de vie prescrite	50 ans
Surface de plancher (SDP)	114 m²



3.4.2. Maison Galinier : Composition des principales parois et éléments constructifs.

Fondations et dalle du parking en sous-sol

Les fondations de cette maison à ossature bois sont constitués de pieux vissés en acier qui présentent plusieurs avantages par rapport aux fondations en béton :

- Une mise en œuvre par vissage plus facile que la réalisation de fondations en béton.
- Un ajustement de la profondeur de pose des pieux vissés réalisé en fonction de la nature du terrain grâce à l'observation en temps réel de la pression de forage.
- Une mise en œuvre rapide et sèche.
- Une réversibilité inégalable de la solution acier

Dalle de RDC et étage

La dalle du RDC est à structure bois constituée de poutres en I avec remplissage isolant biosourcé.
Le plancher intermédiaire est constitué de poutres en I avec remplissage isolant biosourcé.

Cloisons

Les cloisons sont à ossature métal avec remplissage isolant biosourcé.

Murs d'enveloppe

Les murs d'enveloppe du projet sont constitués d'ossature bois avec remplissage isolant biosourcé. Les finitions extérieures sont doit bardées soit enduites.
L'enduit est appliqué :

- Sur un support en fibre de bois lorsque le remplissage isolant est constitué de ouate, laine de bois, chanvre, textile, matériaux mixtes.
- Directement sur le remplissage isolant lorsque celui-ci est en paille.

Toiture

La couverture du projet est constituée de :

- D'une toiture deux pans isolée avec des matériaux biosourcés et couverte de tuiles de terre cuite.
- D'une toiture terrasse isolée avec des matériaux biosourcés et couverte d'une membrane d'étanchéité.

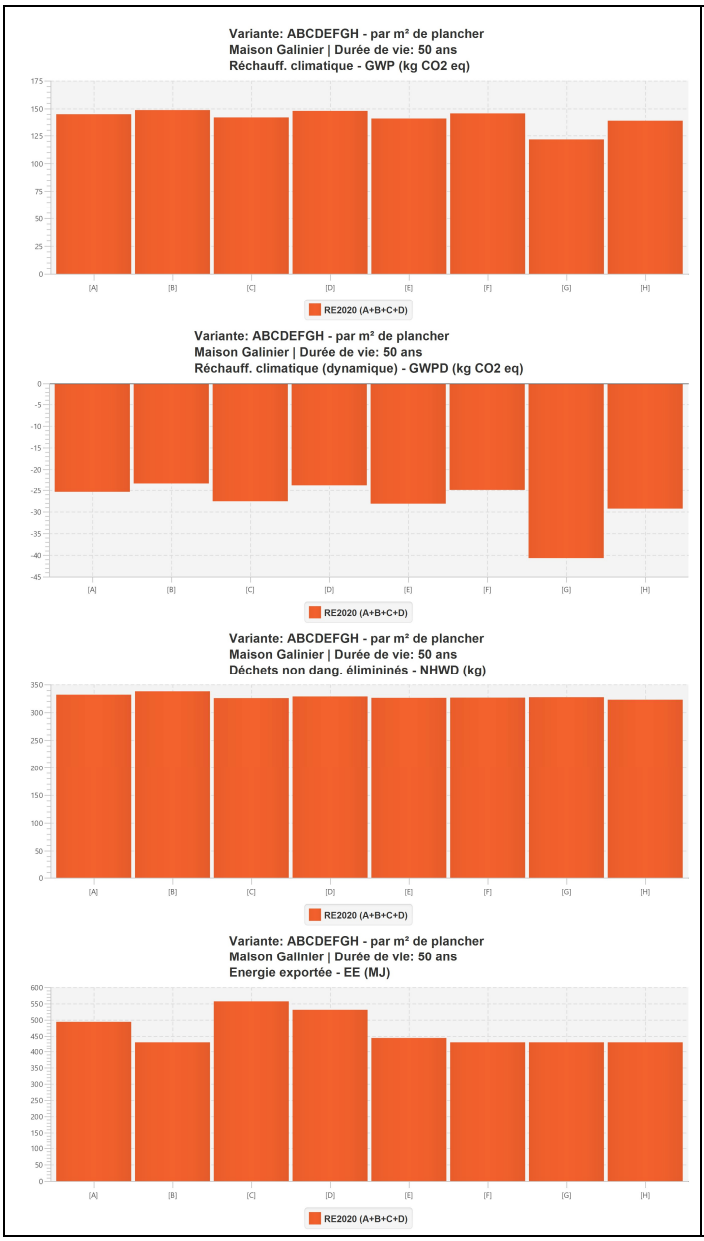
3.4.3. Impact de la fin de vie sur l'ACV d'une maison individuelle par matériau cible et par m² de SDP

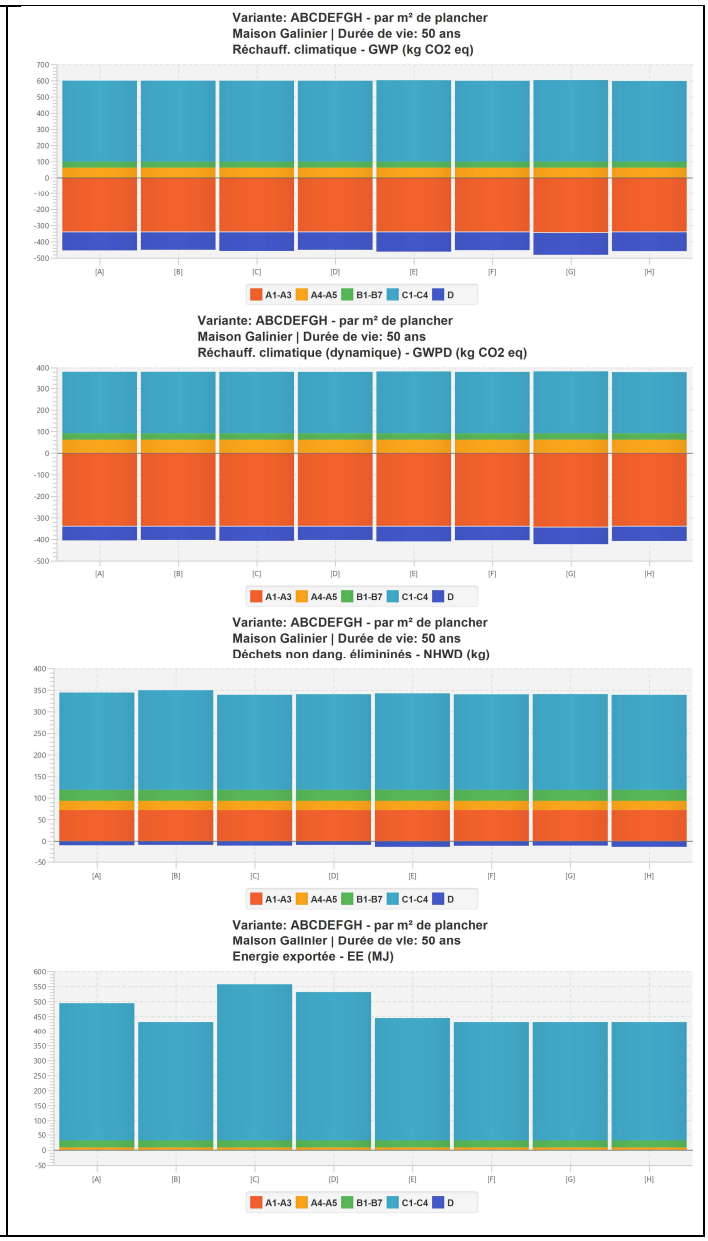
Les impacts environnementaux des matériaux embarqués dans le bâtiment étudié ont été modélisés (§ 3.1).

Les figures ci-après présentent :

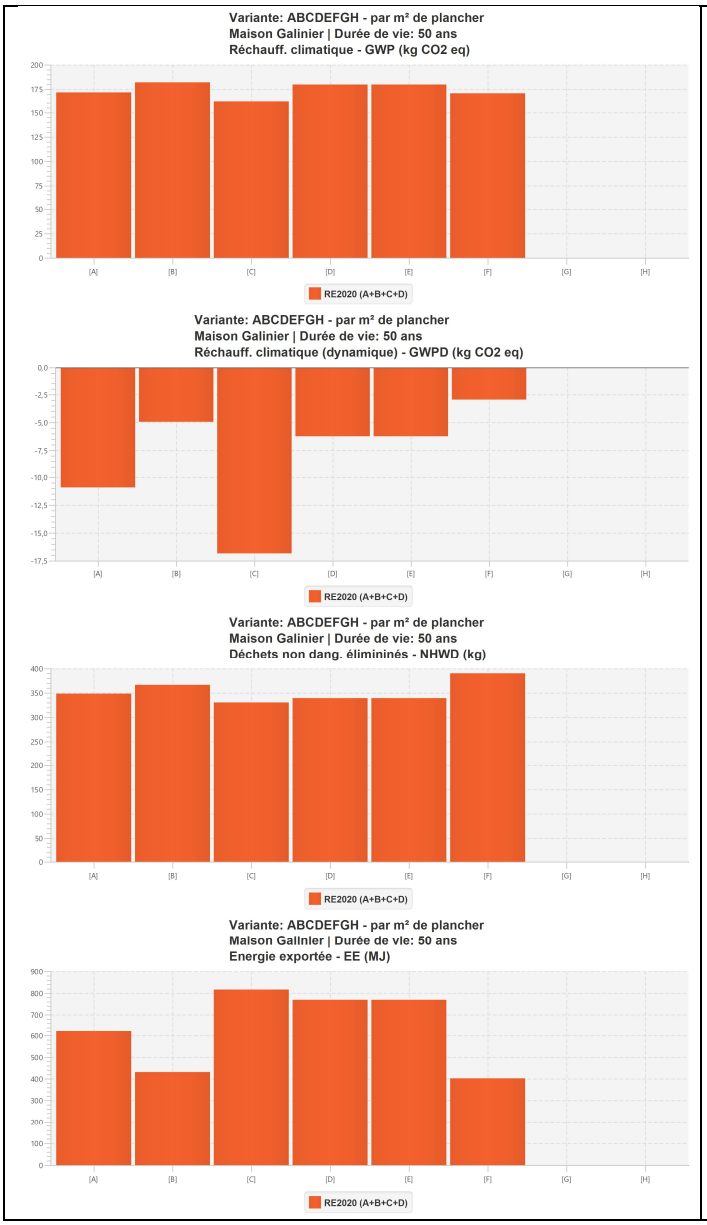
- Les variations d'impact par m² de SDP, par matériau cible et par scénario de fin de vie pour les indicateurs jugés les plus pertinents (Contribution au réchauffement climatique avec calcul statique et dynamique, déchets non dangereux éliminés, énergie exportée).
- L'évaluation des impacts :
    - Cumulés sur l'ensemble des phases du cycle de vie (A+B+C+D).
    - Pour les principales étapes du cycle de vie dont seules les phases C et D sont impactées par les scénarii de fin de vie.

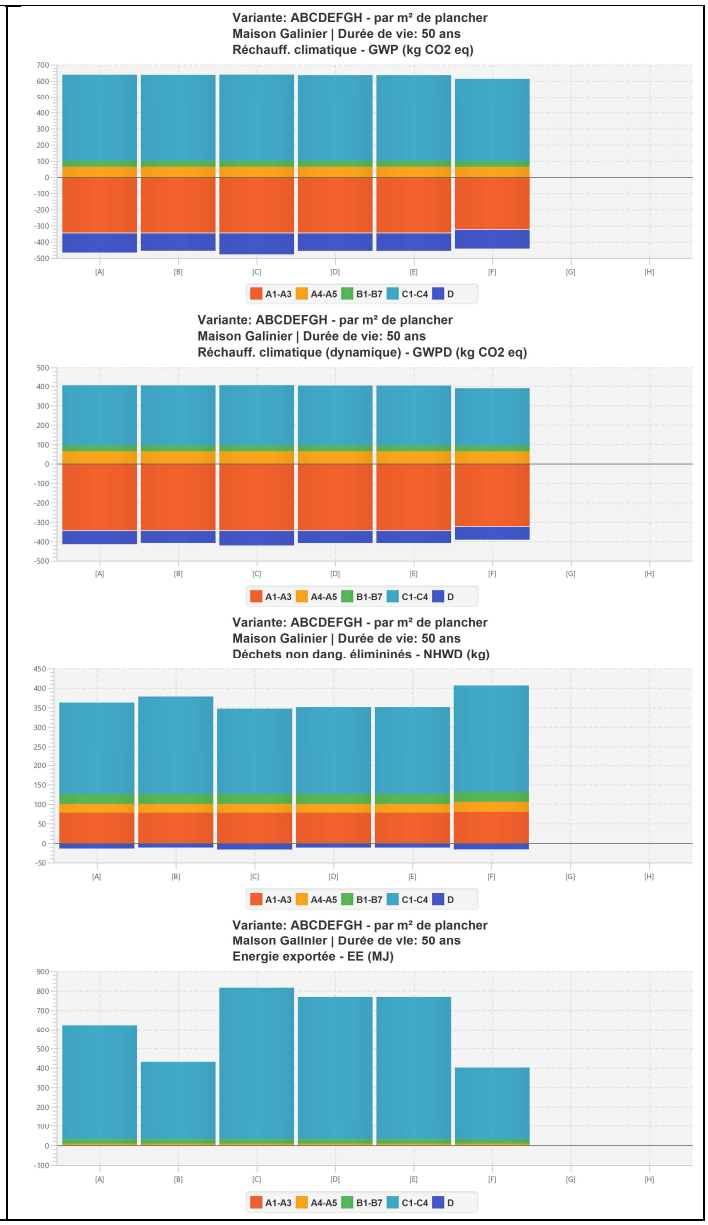
3.4.3.1. Chanvre : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux d'une maison individuelle





3.4.3.2. Fibre de bois : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux d'une maison individuelle



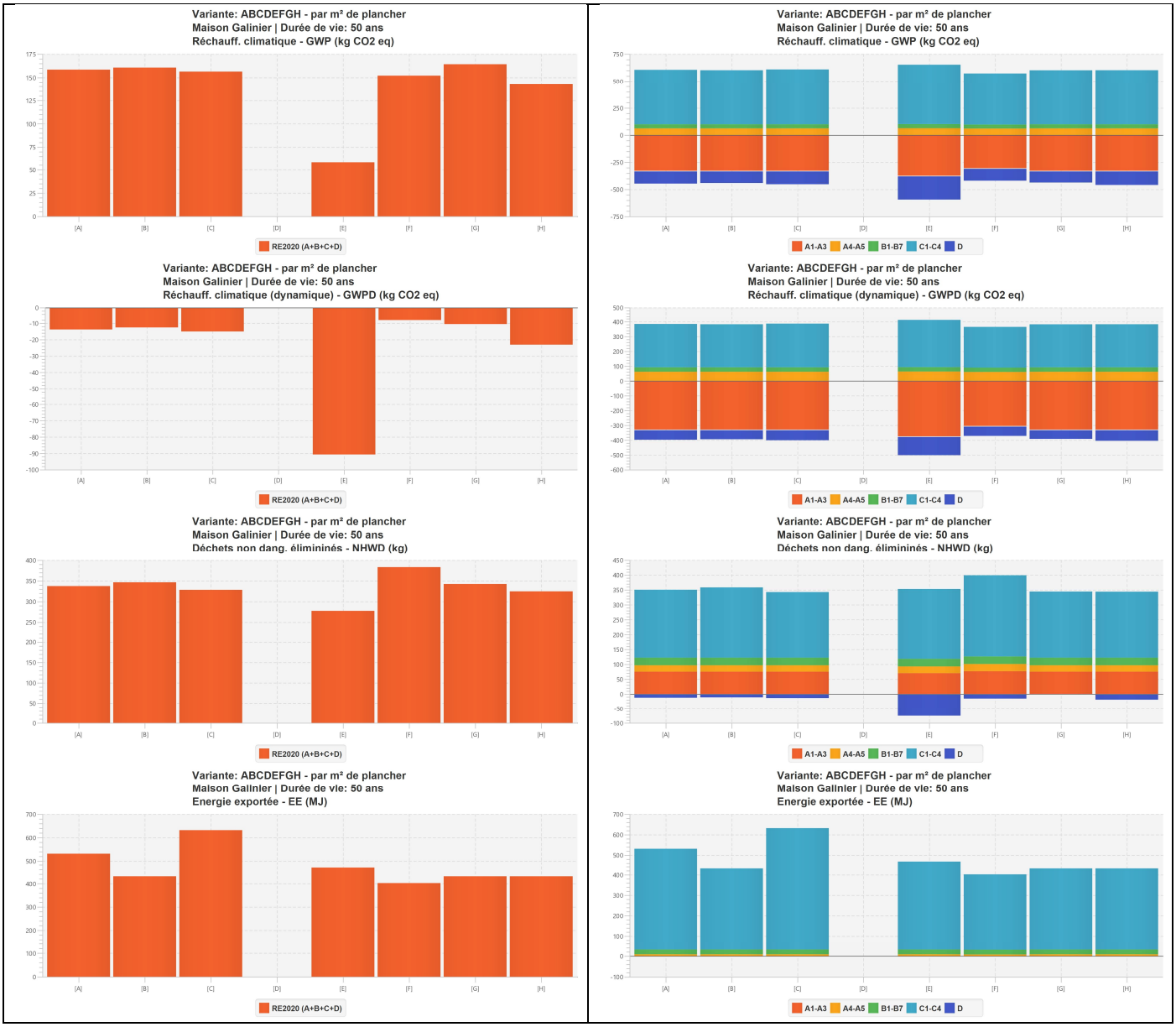


3.4.3.3. Isolants mixtes : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux d'une maison individuelle

3.4.3.4. Ouate de cellulose : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux d'une maison individuelle

3.4.3.5. Paille : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux d'une maison individuelle

3.4.3.6. Textile : impact de la fin de vie sur l'ACV des matériaux d'une maison individuelle



3.4.4. Impact de la fin de vie sur l'ACV d'une maison individuelle par matériau cible et par m² de SDP

Les figures ci-après permettent de comparer indicateur par indicateur :

- Les différences d'impacts par scénario de fin de vie et par matériau cible.
- L'importance spécifique du matériau cible (en % du total) dans l'ACV de l'ensemble des matériaux du bâtiment.

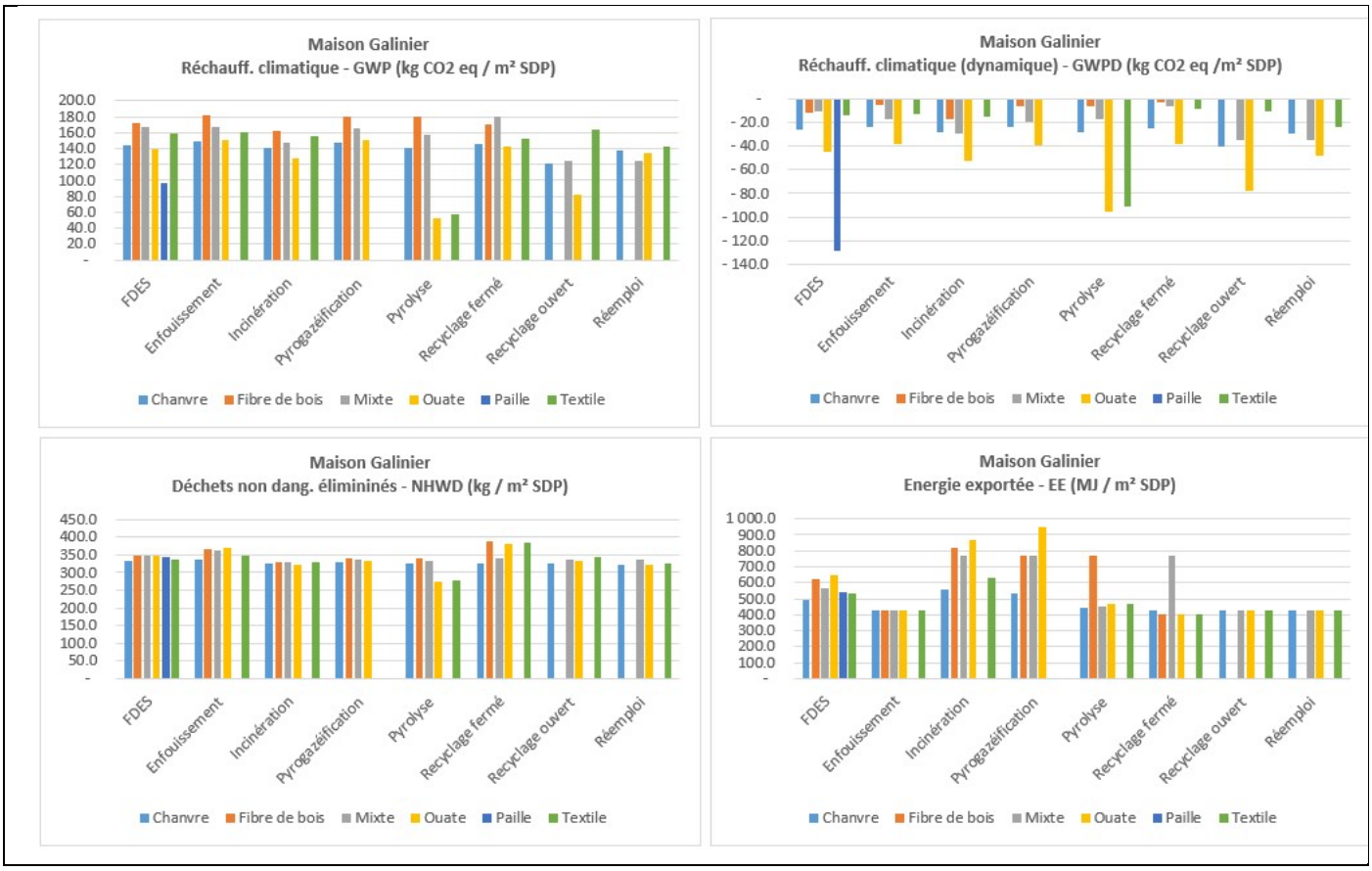


Figure 5 : ACV des éléments constructifs d'une maison individuelle par matériau cible et indicateur.

Indicateur	Matériau	FDES	Enfouissement	Incinération	Pyrogazéification	Pyrolyse	Recyclage fermé	Recyclage ouvert	Réemplo
Maison Galinier Réchauff. climatique - GWP (kg CO2 eq / m² SDP)	Chanvre	144.9	148.6	141.2	147.9	140.2	145.7	121.4	138.2
	Fibre de bois	171.6	181.9	161.4	179.7	179.7	170.7	-	-
	Mixte	167.2	167.2	147.5	164.8	156.7	179.7	125.3	125.3
	Ouate	139.5	151.3	127.2	150.0	52.5	142.5	81.9	134.5
	Paille	96.3							
	Textile	158.4	160.6	156.3	-	57.8	152.0	164.2	142.4

Indicateur	Matériau	FDES	Enfouissement	Incinération	Pyrogazéification	Pyrolyse	Recyclage fermé	Recyclage ouvert	Réemplo
Maison Galinier Réchauff. climatique (dynamique) - GWPD (kg CO2 eq /m² SDP)	Chanvre	- 25.4	- 23.3	- 27.6	- 23.7	- 28.2	- 25.0	- 40.7	- 29.3
	Fibre de bois	- 10.9	- 5.0	- 16.8	- 6.3	- 6.3	- 3.0	-	-
	Mixte	- 10.8	- 16.8	- 28.8	- 18.8	- 16.9	- 6.3	- 35.1	- 35.1
	Ouate	- 44.8	- 38.0	- 51.9	- 38.7	- 95.0	- 37.7	- 78.1	- 47.7
	Paille	- 128.3							
	Textile	- 13.9	- 12.7	- 15.1		- 90.8	- 8.1	- 10.6	- 23.2

Indicateur	Matériau	FDES	Enfouissement	Incinération	Pyrogazéification	Pyrolyse	Recyclage fermé	Recyclage ouvert	Réemplo
Maison Galinier Déchets non dang. éliminés - NHWD (kg / m² SDP)	Chanvre	331.6	337.7	325.5	328.5	326.0	326.3	327.1	322.6
	Fibre de bois	348.4	366.4	330.3	339.2	339.2	390.1	-	-
	Mixte	347.2	363.9	329.3	337.5	333.8	339.2	335.7	335.7
	Ouate	345.9	370.2	321.7	332.8	274.6	381.3	333.2	322.6
	Paille	342.5							
	Textile	337.3	346.4	328.2		277.3	383.0	342.3	324.5

Indicateur	Matériau	FDES	Enfouissement	Incinération	Pyrogazéification	Pyrolyse	Recyclage fermé	Recyclage ouvert	Réemplo
Maison Galinier Energie exportée - EE (MJ / m² SDP)	Chanvre	493.8	430.8	556.7	530.8	444.2	430.8	430.8	430.8
	Fibre de bois	622.9	430.8	815.8	768.5	768.5	401.7	-	-
	Mixte	567.8	430.8	766.2	765.8	451.5	768.5	430.8	430.8
	Ouate	650.7	430.8	870.6	952.0	469.7	401.7	430.8	430.8
	Paille	537.6							
	Textile	530.8	430.8	631.5		468.0	401.7	430.8	430.8

Figure 6 : ACV des éléments constructifs bâtiment d'une maison individuelle par matériau cible et indicateur

Figure 7 : Part du matériau cible dans l'ACV des éléments constructifs d'une maison individuelle selon l'indicateur

3.4.5. Analyse des résultats obtenus à l'échelle d'une maison individuelle

Rappel : la maison individuelle modélisée dans cette étude est à ossature bois et remplissage isolant en matériaux biosourcés. Cette option constructive a notamment été employée pour des raisons de légèreté de l'édifice dans une zone à argiles gonflantes.

Les principaux enseignements que l'on peut en tirer sont les suivants :

- L'influence des matériaux isolants biosourcés dans l'impact général d'un système constructif à ossature bois est élevé car ils y sont largement représentés.
- Des différences assez nettes apparaissent entre les matériaux cibles.
- Le matériau paille qui est très peu transformé réduit très significativement les valeurs de l'indicateur sur le changement climatique.
- L'examen des impacts des matériaux cible (hors paille) selon les scénarii de fin de vie montre :
    - Des différences relativement faibles entre différents scénarii pour le chanvre et dans une moindre mesure pour les isolants mixtes.
    - Des différences moyennes entre différents scénarii pour la fibre de bois.
    - Des différences nettes entre différents scénarii pour la ouate de cellulose et le textile (notamment en cas de pyrolyse).
    - Du point de vue de l'indicateur d'énergie exportée, la fibre de bois, les isolants mixtes et les textiles présentent les gains les plus significatifs.

4. Conclusion générale

L'examen et la comparaison de 38 variantes de couples matériaux d'isolation / scénario de fin de vie pour un même bâtiment a été d'autant plus lourd à réaliser que ceci a été effectué sur 3 bâtiments différents soit 114 modélisations !
Les grandes tendances qui se dégagent sont les suivantes :

- L'impact de la fin de vie des matériaux isolants biosourcés est d'autant plus net que le système constructif emploi du bois pour sa structure.
- La maison individuelle à ossature bois examinée ici voit ses impacts environnementaux nettement réduits pour des couples indicateurs d'impacts / scénarios de fin de vie fortement corrélés (pyrogazéification / exportation d'énergie par exemple).
- Du point de vue des GES :
    - Le matériau paille se détache nettement des autres à la fois du fait de sa masse volumique supérieure à celles des autres isolants examinés ici et par son épaisseur (36cm).
    - La pyrolyse, le recyclage ouvert et le réemploi sont des solutions vertueuses.
- Il n'apparait pas de différences globales nettes (hors paille pour des raisons évoquées précédemment) entre les différents isolants biosourcés comparés ici.

Le scénario de fin de vie « idéal » d'un matériau biosourcé ne doit donc pas être recherché par rapport à l'échelle d'un bâtiment mais plutôt au niveau de l'organisation de la filière à l'origine d'un matériau. Cette étude confirme donc que les efforts doivent porter sur une massification / simplification / standardisation de la fin de vie d'une famille de matériau ainsi que en amont sur une éco-conception des produits isolants visant à terme à réduire leurs impacts en fin de vie.

SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
SDP	Surface De Plancher

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols… - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'**ADEME**

FAITS ET CHIFFRES
L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.

CLÉS POUR AGIR
L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.

ILS L'ONT FAIT
L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.

EXPERTISES
L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard

HORIZONS
L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Etude des Scénarios en fin de vie des isolants biosourcés

La nouvelle réglementation environnementale du bâtiment “RE2020” va entrer en vigueur à compter de juillet 2021. Elle intègre des évolutions extrêmement importantes qui devraient à terme profondément modifier le secteur de la conception et de la construction et faire évoluer la nature des produits et matériaux de construction les plus employés en faveur des isolants biosourcés

Le projet souhaite apporter des connaissances techniques et scientifiques sur ces matériaux et des recommandations vis-à-vis de leur fin de vie en analysant l’impact des différents scénarios de traitement lors de leur fin de vie sur leur analyse de cycle de vie et sur leur bâtiment complet

Cette étude apporte des premiers enseignements sur les scénarios de gestion en fin de vie de différents types d’isolants biosourcés. Elle évalue l’impact des différents scénarios en fin de vie dans leur analyse de cycle de vie global de l’isolant biosourcé et sur un bâtiment complet